سلسلة الكتب الجامعية المترجمة - العلوم الأساسية

5

بول ج. هويت
جون أ. سوشكوي
ليسلي أ. هويت

مفاهيم العلوم الفيزيائية

المملكة العربية السعودية
وزارة التعليم العالي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION

العبيكان
Obeikan

مفاهيم

العلوم الفيزيائية

بول ج. هويت

جون أ. سوشكوي ليسلي أ. هويت

المملكة العربية السعودية
وزارة التعليم العالي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION

العبيكان
Obeikan

طبيعة العلم

المقدمة

موجز تاريخ التقدم في العلم

الرّياضيّات والعلوم الطبيعية المفاهيمية

الطّرائق العلميّة

الاتجاه العلمي

محدودية العلم

العلم والفن والدّين

التكنولوجيا؛ الاستخدام العملي للعلم

العلوم الطبيعية: الفيزياء، والكيمياء، وعلوم الأرض، والفلك

النظرة الصّائبة

■ العلـم هـو نتـاج الفضول البشـري حول كيفية سـير الكـون؛ إنّه كمّ هائـل من المعرفة المنظمـة؛ حيث يصف التنظيم في الطبيعة وأسبابه. إنّ العلم نشاط بشري متواصل يمثل الجهود الجماعية والاكتشـافات والحكمة عند الجنس البشري، كما أنّه نشـاط ملتزم بتجميع المعرفة حول العالم وتنظيمها وتكثيفهـا بنظريات وقوانيـن خضعت للتجربة. وفي دراسـتنا للعلم، نتعلم عن قواعد الطبيعة؛ كيف ترتبط الأشـياء بعضها ببعض؟ وكيف أنّ الأنماط هي سـبب كلّ مـا نراه من حولنا. إنّ أيّ نشـاط - مهما كان، سـواء لعبة رياضية، أو لعبة حاسوب، أو حتى لعبة الحياة- ذو فائدة إذا فهمنا قواعده. إنّ معرفة قواعد الطبيعة ذات أهمية بالغة.

تعـود بداية العلم إلى ما قبـل التاريخ المكتوب وذلك عندما اكتشف الناس تكرار الأنماط في الطبيعة.

ولاحظوا أنماط النجوم في السماء في أثناء الليل، وأنماط الطقس، وأنماط الهجرة عند الحيوان. وعرف الناس من هذه الأنماط كيفية التنبؤ، مما مكنهم من السيطرة الجزئية على محيطهم. لقد أسس العلم على التفكير المنطقي حول العالم الطبيعي.

العلم هو طريقة معرفة العالم وفهم ما يدور فيه.

■ موجز تاريخ التقدم في العلم

لقد تقدم العلم تقدمًا عظيمًا عند اليونان في القرنين الثالث والرابع قبل الميلاد، ثمّ انتشر في بلدان المتوسط كلّها. وقد توقف التقدم العلمي تقريبا في أوربا عند سقوط الإمبراطورية الرومانية في القرن الخامس الميلادي؛ حيث دمرت القبائل البربرية كلّ شيء في طريقهم تقريبًا للسيطرة على أوربا. واستسلم العقل للكنيسة، مما أدى إلى ما عرف بعصور الظلام. في تلك الفترة، كان الصينيون وسكان الجزر الآسيويون يرسمون خرائط النجوم والكواكب. وعند مجيء الإسلام، طور العرب الرّياضيّات، وتعلموا كيفية صناعة الزجاج، والورق، والمعادن ومواد كيميائية مختلفة. وأعيد إدخال العلوم اليونانية إلى أوربا عن طريق التأثير الإسلامي الذي سيطر على إسبانيا خلال القرون العاشر والحادي عشر والثاني عشر. وظهرت الجامعات في أوربا في القرن الثالث عشر. وقد غير اكتشاف البارود التركيب السياسي والاجتماعي في أوربا في القرن الرابع عشر. وشهد القرن الخامس عشر مزج الفن والعلوم بطريقة رائعة على يد ليوناردو دافنشي Leonardo da Vinci، وتطورت الأفكار العلميّة خلال القرن السادس عشر مع قدوم الطباعة.

لقد أثار الفلكي البولندي نيوكلاس كوبرنيكس Nicolaus Copernicus في القرن السادس عشر جدلًا واسعًا عندما نشر كتابًا مقترحًا أنّ الشّمس ساكنة، وأنّ الأرض تدور حولها. وقد تناقضت هذه الأفكار مع النظرة السائدة التي ترى أنّ الأرض هي مركز العالم. كما تناقضت هذه الأفكار مع تعاليم الكنيسة، وقد منعت هذه الأفكار مدة 200 سنة. كما سجن الفيزيائي الإيطالي جاليليو جاليلي Galileo Galilei لتبسيطه نظرية كوبرنيكس، ولإسهاماته الأخرى في التفكير العلمي. وبعد قرن، لاقت الأفكار الكوبرنيكية القبول.

لقد حدثت هذه الدورات زمنًا بعد زمن. ففي أوائل عام 1800 تعرض الجيولوجيون إلى إدانة عنيفة لأنهم اختلفوا مع حساب الخلق في كتاب النشوء. ولاحقًا في القرن نفسه، قبلت الجيولوجيا. ولكن أدينت نظريات التطور ومنع تعليمها. لكلّ عصر مفكرون ثوريون، يُسخَرُ منهم، ويدانون، وقد يعدمون، ثم تظهر أهميتهم في الارتقاء بظروف الحياة الإنسانية. «عند كلّ تقاطع في الطريق التي تؤدي إلى المستقبل، تُقاوم كلّ روح تقدمية بألف يحرسون الماضي».*

لمعلوماتك

■ في عصر ما قبل كوبرنيكس، نُظر إلى الشمس والقمر على أنهما كواكب. وقد تغير ذلك عندما اعتبر كوبرنيكس الشمس موقعًا مركزيًّا بالنسبة إلى الأرض، عندئذٍ فقط، اعتبرت الأرض كوكبًا كغيرها. وبعد أكثر من 200 عام، في عام 1781م، أضاف مراقبو التلسكوب أورانوس إلى قائمة الكواكب. ثم أضيف نبتون في عام 1846م. ثمّ أضيف بلوتو عام 1930م. ثم ألغي اعتباره كوكبًا في عام 2006م.

■ الرّياضيّات والعلوم الطبيعية المفاهيمية

لقد تقدم العلم وكذلك الظروف الإنسانية تقدمًا دراميًّا كبيرًا بعد أن تكامل العلم والرّياضيّات قبل نحو أربعة قرون. وعندما يعبّر عن الأفكار العلميّة بمصطلحات رياضية تصبح واضحة. وتزودنا معادلات العلم المكثفة بتعابير موجزة للعلاقات بين المفاهيم. إنّ المعادلات لا تحتوي على المعاني المتعددة التي غالبًا ما تشوّش نقاش الأفكار المستخدمة في اللغة اليومية.

تعود بداية العلم إلى ما قبل التاريخ المكتوب، وذلك عندما اكتشف الناس تكرار الأنماط في الطبيعة.

للعلماء حاجة عميقة الجذور إلى معرفة "لماذا؟" و"ماذا يهم؟". والرّياضيّات هي الأداة الأساسية لمعالجة هذه المسائل.

* من كتاب واجبنا الاجتماعي "Our Social Duty" from Count Maurice Maeterlinck's

وعند التعبير عن الاكتشافات في الطبيعية رياضيًّا يسهل التأكد منها أو تفنيدها بالتجربة. يظهر البناء الرياضي للفيزياء في المعادلات العديدة التي ستطلع عليها في هذا الكتاب. إنّ هذه المعادلات دليل على التفكير الذي يظهر الارتباطات بين المفاهيم في الطبيعة. لقد أدت الطّرائق الرياضية والتجريب إلى نجاح عظيم في العلم.*

العلم طريقة للتعلم؛ كيف نعرف الأشياء؟ وما الذي لا نعرفه؟ وإلى أي مدى تكون الأشياء معلومة (لا شيء معلوم بالمطلق)؟ كيف نعالج الشّك وعدم اليقين؟ علام تستند الدلائل؟ كيف نفكر في الأشياء بحيث نستطيع الحكم عليها؟ وكيف نميز بين الحقيقة وما يبدو حقيقة - رتشارد فاينمان Richard-Feynman-

الطّرائق العلميّة

لا توجد طريقة علمية وحيدة، ولكن هناك سمات أساسية في طريقة قيام العلماء بعملهم. وعلى الرغم من عدم وجود كتاب مناسب يصف **الطريقة العلميّة**، إلا أنّ بعض الخطوات التالية أو جميعها قد تكون مشتركة مع الطريقة التي يؤدي بها معظم العلماء عملهم.

1. *الملاحظة:* لاحِظ العالم الطبيعي من حولك بدقة. عرّف المسألة أو اللغز بوصفها ملاحظة غير مفهومة.
2. *السّؤال:* صغْ تخمينًا بارعًا – **فرضية** – للإجابة عن السّؤال.
3. *التنبؤ:* تنبأ بالتبعات التي يمكن ملاحظتها إذا كانت الفرضية صحيحة. على ألا تغيب هذه التبعات إذا كانت الفرضية غير صحيحة.
4. *فحص التنبؤات:* أجر التجارب لترى ما إذا كانت التبعات المتنبأ بها صحيحة.
5. *استنتج:* استنبط أبسط قاعدة عامة تنظم الفرضية، بحيث تتنبأ بالآثار والنتائج المتنبأ بها، والنتائج التجريبية.

وعلى الرّغم من أن هذه الخطوات جذابة إلا أنّ كثيرًا من التقدم في العلم نجم عن طريقة التجريب والخطأ، وهو تجريب دون فرضيات، بل مجرد اكتشاف بالصدفة بعقل مدرّب جيدًا. إنّ نجاح العلم يعتمد على توجه مشترك بين العلماء أكثر من اعتماده على طريقة معينة. وهذا هو اتجاه التقصي، والتجريب، والتواضع؛ أي الاستعداد للاعتراف بالخطأ.

الاتجاه العلمي

من المألوف التفكير بالحقيقة كشيء غير متغير ومطلق. ولكن الحقيقة في العلم هي عادة أفضل توافق بين الملاحظين الأكْفاء الذين يجرون سلسلة من التجارب للظاهرة نفسها. فعلى سبيل المثال، على الرغم من اعتبار أنّ الناس كانوا يعتبرون الكون ثابتًا ودائمًا يومًا ما، فإننا نعتبر الكون الآن متمددًا ومتطورًا وفي المقابل، فإن الفرضية العلميّة، عبارة عن تخمين بارع لا يُسلّم به على أنه حقيقة حتى يستند إلى التجربة. وعندما تفحص النظرية مرة تلو الأخرى ولا تنقض، فعندئذ يمكن تعريفها بأنها قانون أو *مبدأ*.

أما إذا وجد عالم دليلًا يناقض فرضية أو قانونًا أو مبدأ فإنّ الروح العلميّة تتطلب تغيير الفرضية أو إسقاطها (ما لم يثبت خطأ الدليل الناقض بالاختبار – وهذا يحدث أحيانًا). فعلى سبيل المثال، ادعى الفيلسوف اليوناني العبقري أرسطو *Aristotle* (384-322 BC) أن سرعة سقوط الأجسام تتناسب مع أوزانها. لقد عوملت هذه الفكره على أنها حقيقه لنحو 2000 سنة؛ بسبب ما كان يتمتع به أرسطو من سلطة عليا. إلا أن جاليليو بيّن خطأ زعم أرسطو هذا بتجربةٍ واحدة، مثبتًا أنّ كلًّا من الأجسام الثقيلة والخفيفة تسقط بالسرعة نفسها تقريبًا عندما أسقط أجسامًا مختلفة الكتل من برج بيزا المائل. واستنادا إلى المنهج العلميّ، فإنّ تجربة واحدة مؤكدة تتفوق في أهميتها على أي سلطة، بغض النظر عن سمعة الأتباع والمؤيدين أو عددهم لادعاء ما.

* تميز بين البناء الرياضي للعلم والتدريب الرياضي لحلّ المسائل – اهتمام معظم المسافات، غير المفاهيمية. لاحظ أنّ هناك عددًا من المسائل أقلّ من التمارين الرياضية في نهاية الفصول في هذا الكتاب. إنّ التركيز هو على الاستيعاب وليس على الحساب.

إذن الحجة المستندة إلى السلطة ذات أهمية قليلة في العلم الحديث.*

على العلماء تقبل نتائج تجاربهم حتى وإن كان هذا يتناقض مع رغباتهم. كما أنّ عليهم السعي للتمييز بين ما يجدونه حقيقة وما يرغبون في إيجاده. فالعلماء لديهم ميل كبير إلى خداع أنفسهم كمعظم الناس.** يميل الناس عادة الى تبني قواعد عامة، وعقيدة والإيمان بأفكار وفرضيات دون اختبار صحتها بدقة، كما يتمسكون بها فترة طويلة بعد أن تكون بلا معنى، ويعدّ هذا خطأ، أو على الأقل موضع تساؤل. إنّ أكثر الفرضيات انتشارًا كانت على الأغلب قائمة على الشكّ. وعند تبني فكرة ما، ينظر باهتمام إلى الحالات التي تؤيدها، في حين تطرح الحالات التي تنقضها جانبًا، أو يقلل من شأنها، وغالبًا ما تهمل.

يستخدم العلماء كلمة *نظرية* بطريقة تختلف عن استعمالها في الحديث اليومي؛ ففي الحديث اليومي لا تختلف النظرية عن الفرضية، على أنّ النظرية افتراض لم يتم التأكد منه. وفي المقابل، فإنّ **النظرية العلميّة** بناء متراكم وهائل من المعلومات التي تشمل فرضيات مجرّبة، وتم التحقق منها حول أوجه معينة من العالم الطبيعي. فعلى سبيل المثال، يتكلم الفيزيائيون عن نظرية الكوارك للنوى الذرية، في حين يتكلم علماء الكيمياء عن الروابط الفلزية في المعادن، إلى جانب علماء الأحياء الذين يتحدثون عن نظرية الخلية.

إنّ نظريات العلم غير ثابتة، أي أنّها متغيرة؛ لأنّها تتطور عبر مراحل من إعادة التعريف والتنقيح. فعلى سبيل المثال، نقحت نظرية الذرة مرارًا كلما شوهد سلوك ذري جديد خلال مئة سنة مضت. وبالمثل نقح الكيميائيون نظريتهم عن طريقة ترابط الجزيئات بعضها مع بعض، وكذلك فعل علماء الحياة بنظرية الخلية. إن تنقيح النظريات قوة للعلم ولا ضعف فيه؛ حيث إنّ الكثير من الأفراد يشعرون أنّ تغيير أفكارهم علامة ضعف فيهم. ومن هنا، يجب على العلماء الأفذاذ أن يكونوا خبراء في تغيير أفكارهم. إنّهم يغيرون أفكارهم فقط، عندما يواجهون بأدلة تجريبية مؤكدة، أو عندما تجبرهم فرضية بسيطة مفاهيميًّا إلى تبنّي وجهة نظر جديدة. إنّ تحسين المعتقدات أفضل من الدفاع عنها. وتُعتمد الفرضيات الأفضل عند استنادها إلى دليل تجريبيّ.

وبعيدًا عن عملهم، فإنّ العلماء ليسوا أكثر أمانة أو أخلاقًا من معظم الناس بالوراثة. ولكن طبيعة عملهم تفرض أن تكون الأمانة عندهم ذات أهمية قصوى. إنّ القاعدة الأساس في العلم هي أنّ الفرضيات جميعها يجب أن تكون قابلة للاختبار، أي أن تكون عرضة للشك على الأقل من حيث المبدأ. أمّا التخمينات التي لا يمكن فحصها فلا تعدّ علمية. وهي ذات أثر طويل المدى في الالتزام بالأمانة - الاكتشافات الواسعة الانتشار بين الأصدقاء من العلماء تتعرض عادة لفحوص أكثر. وعاجلًا أم آجلًا، ستكتشف هذه الأخطاء (أو الخداع) وكذلك الأمنيات والرغبات. فالعالم الكاذب لا يحصل على فرصة أخرى في مجتمع العلماء. إن عقوبة الخداع هي العزل المهني. كما أنّ الأمانة العلمية مهمة جدًّا لتقدم العلم، ومن ثم يصبح فيها مصلحة ذاتية للعلماء. وهناك خداع قليل نسبيًّا في هذا المجال بسبب تعدّد الاحتمالات. إنّ تحقيق الأمانة نادر في حقول الدراسة؛ إذ ليس من السهولة إثبات الصواب أو الخطأ.

التجربة هي التي تقرر ما هو صحيح في العلم وليس النقاش الفلسفي.

يجب أن تختبر النظرية بالتجربة قبل قبولها، وأن تقوم بتنبؤ أو أكثر، مختلف عما تنبأت به النظريات الأخرى.

وفي العلم، يعدّ الوصول إلى وسائل لإثبات خطأ فكرة ما أكثر أهمية من توافر وسائل لإثبات صحتها. وهذا عامل أساس يميز العلم من غيره. وقد يبدو هذا غريبًا للوهلة الأولى؛ لأنّ اقتناعنا بشيء ما من حولنا يدعونا إلى إيجاد وسائل لإثبات صحته. وهذا عكس الفرضيات العلميّة التي إن أردت أن تميز ما إذا كانت علمية، فحاول أن تجد طريقة لإثبات خطئها. وإن لم يكن هناك مجال لفحص احتمالية خطئها، فالفرضية عندئذ لا تكون علمية. لقد عبّر ألبرت أينشتاين *Albert Einstein* عن ذلك بجلاء بقوله: «لا يوجد عدد محدد من التجارب لإثبات الصحيح، ولكن تكفي تجربة واحدة فقط لإثبات الخطأ».

---

* لكن الاستناد إلى الجمال له قيمة في العلم. ففي العصر الحديث، ناقضت نتائج التجربة أكثر من مرة نظرية جميلة، وبعد بحث وتمحيص، تبين أنّ التجارب كانت غير صحيحة. وهذا عزز إيمان العلماء أنّ الوصف النهائي الصحيح للطبيعة يتضمن تعابير موجزة واقتصادًا في المفاهيم- مزيج يستحق أن يسمى جمالا.

** ليس كافيًا أن تدرك أن الناس قد يحاولون خداعك، بل الأكثر أهمية أن تكون حذرًا من ميلك أنت إلى خداع نفسك.

خذ فرضية عالم الحياة لشارلز داروِن Charles Darwin، وهي أن أشكال الحياة تطورت من الأبسط إلى الأشكال الأكثر تعقيدًا. يمكن إثبات خطأ هذه الفرضية إذا تمكن علماء الإحاثة من العثور على أشكال معقدة من الحياة قبل نظيرتها النسخة الأبسط. وخذ أيضًا فرضية أينشتاين التي تشير إلى أنّ الضوء ينحني من الجاذبية. حيث يمكن إثبات خطأ هذه الفرضية إذا شوهد شعاع ضوء نجم يمس الشمس، في أثناء كسوفها لا ينحني عن مساره العادي. لقد وجد أنّ أشكال الحياة الأبسط تعقيدًا سبقت نظيراتها الأكثر تعقيدًا. كما أثبت أنّ ضوء النجم ينحني عند مروره بالقرب من الشمس، وهذا يؤيد الفرضيتين المذكورتين. إذن، عندما تثبت الفرضية أو الادعاء العلمي، فهذا مفيد وإضافة جديدة إلى المعرفة.

خذ الفرضية الآتية: "يحدد اصطفافُ الكواكب في السماء الزمنَ الأفضل لاتخاذ القرارات". إنّ كثيرًا من الناس يعتقدون بذلك ولكن هذه الفرضية ليست علمية؛ لأننا لا نستطيع إثبات خطئها ولا إثبات صحتها أيضا. فهي مجرد تخمين ليس إلا. وبالمثل، فإنّ فرضية وجود حياة ذكية على كواكب أخرى في مكان آخر من الكون، غير علمية. على الرغم من إمكانية إثبات صحتها بالتحقق من وجود حياة ذكية في لحظة واحدة في مكان ما من الكون. ولكن لا توجد طريقة لإثبات خطئها إذا لم يوجد على الإطلاق حياة ذكية، فيما لو بحثنا في الأماكن البعيدة في الكون لعصور جيولوجية ولم نجد حياة هناك. فهذا لا يثبت عدم وجودها "في مكان آخر". وعليه، فالفرضية التي يمكن إثبات صحتها، ولكن لا يمكن إثبات خطئها، ليست فرضية علمية. إنّ كثيرا من مثل هذه العبارات منطقية جدّا ومفيدة، ولكنها تقع خارج مجال العلم.

يعبر عن جوهر العلم بسؤالين هما: كيف لنا أن نعرف؟ وما الدليل الذي يثبت أن هذه الفكرة خطأ؟ إنّ التأكيد دون دليل لا يعدّ علميًّا، ويمكن رفضه دون دليل.

■ نقطة فحص

أيّ العبارات التالية تعدّ فرضية علمية؟

(أ) الذرات أصغر جسيمات المادة الموجودة.

(ب) توجد مادة نفاذة في الفضاء لا يمكن اكتشافها.

(ج) ألبرت أينشتاين هو أهم فيزيائيّ في القرن العشرين.

هل كانت هذه إجابتك؟

العبارة (أ) فقط هي العلمية؛ لأنّ هناك إمكانية لإثبات خطئها. فالعبارة ليست قابلة للبرهنة على أنها غير صحيحة فقط، ولكن تم إثبات خطئها. أمّا العبارة (ب) فلا توجد هناك إمكانية لاحتمالية خطئها. ولهذا، فهي غير علمية. وينطبق هذا على كلّ مبدأ أو مفهوم لا يمكن اختبار خطئه إن كان غير صحيح. إنّ بعض العلماء الكاذبين ومدعي المعرفة لا يعتمدون أيّ فحص لاحتمالية خطأ فرضياتهم. العبارة (ج) هي عبارة تقريرية لا تخضع لاختبار لإثبات احتمالية خطئها. فإنْ لم يكن أينشتاين أهم فيزيائي، فكيف يتسنّى لنا معرفة ذلك! لاحظ أنّ مثل هذه العبارة مفضلة عند مدّعي العلم؛ بسبب الهالة العلمية له عادة. وعليه، فلا تندهش مستغربا أن اسما مثل أينشتاين، أو أيّ شخص ذا مكانة مرموقة يكون على ألسنة الدجالين الراغبين بجلب الاحترام لأنفسهم ولوجهات نظرهم. إذن، في الحقول جميعها، من الحكمة أن تشك في الأشخاص الذين ينسبون الفضل لأنفسهم مستعينين بسلطة الآخرين.

يحتاج كلّ واحد منا إلى مصفاة للمعرفة للتمييز بين الحقيقة وما يبدو كحقيقة. إن العلم هو أفضل مصفاة للمعرفة، فهو الذي يفسّر العالم الطبيعي.

محدودية العلم

يتعامل العلم مع الفرضيات التي يمكن فحصها فقط. ومجاله محصور في العالم الطبيعي الملاحظ. وعلى الرغم من أن الطّرائق العلميّة يمكن استخدامها لكشف زيف مختلف الادعاءات الخارقة، إلّا أنّها لا تستطيع تفسير دلائل تتعلق بما وراء الطبيعة. إن مصطلح ما وراء الطبيعة يعني حرفيًّا "ما وراء الطبيعة". يعمل العلم ضمن الطبيعة، وليس وراءها. كما أنّ العلم لا يستطيع إجابة الأسئلة الفلسفية مثل: "ما هدف الحياة"؟ أو الأسئلة الدينية مثل: "ما طبيعة الروح البشرية". ومع أن هذه الأسئلة شرعية ويمكن أن تكون ذات أهمية كبيرة لنا، إلا أنّها تعتمد على خبرات الشخص الذاتية، ولا تؤدي إلى فرضيات يمكن تجريبها. إنّ هذه الأسئلة وأشباهها تقع خارج مجال العلم.

العلم والمجتمع

العلم الكاذب

حتى يصنّف الادعاء بأنه علمي، يجب أن تتوافر فيه معايير معينة. على سبيل المثال، يجب أن تتكرر النتائج نفسها فيما لو قام بالتجربة علماء آخرون محايدون لا يعنيهم إثبات صحتها ولا إثبات خطئها. وأن تتعرض البيانات وتفسيراتها اللاحقة للتدقيق المباشر في بيئة اجتماعية تسمح بأخطاء علمية غير مقصودة، وترفض الغش أو الخداع. وأي عمل لا يتضمن مثل هذه الخصائص يسمّى **علمًا كاذبًا** والذي يعني حرفيًّا علمًا زائفًا. وفي عالم العلم الكاذب يقلل من قيمة أثر الشك وكذلك من اختبار احتمالية خطأ الفرضية ورفضها.

إنّ الأمثلة على العلم الكاذب كثيرة. ومثال ذلك علم التنجيم الذي هو نظام اعتقاد قديم يفترض أن مستقبل الأشخاص يتحدد بموقف الكواكب والأجرام السماوية وحركتها. ويستند هذا التنجيم إلى تنبؤات مبنية على الملاحظات الفلكية البارعة. ومع ذلك، فإنّه لا يعدّ علما؛ لعدم وجود صحة للادعاء القائل بأن موقع الأجرام السماوية يؤثر في الأحداث الشخصية للناس. أضف إلى ذلك أنّ قوة الجاذبية التي تؤثر بها الأجرام السماوية في الشخص أقلّ كثيرًا من الجاذبية التي تؤثر بها الأجسام التي توجد في البيئة الأرضية كالأشجار، والمقاعد، والناس، وألواح الصابون، إلى آخره. والأكثر من ذلك أن تنبؤات علم التنجيم لم تتحقق بعد. وعليه، لا يوجد دليل واحد على أن علم التنجيم صحيح.

ولمزيد من الأمثلة على العلم الكاذب، شاهد التلفاز. سوف تجد دعايات كثيرة لمنتجات هذا الصنف من العلم. انتبه لعلاجات الأمراض المزمنة مثل الصلع، والسمنة، والسرطان والقضاء على الجرائم ببعض المنظفات على وجه التحديد. وعلى الرغم من أن العديد من هذه المنتجات يعمل على أساس علمي، إلا أنّ بعضها مبني على أساس العلم الكاذب. فاحذر أيها المستهلك!

إن الإنكار ميزة يختص بها بنو البشر. وهذا يفسر سبب رواج العلم الكاذب وازدهاره. فالعديد من العلماء الكاذبين لا يعترفون أنّ علمهم كاذب. وخذ على سبيل المثال الذين يعالجون المرضى عن بعد، معتقدين بقدرتهم على شفاء الناس من لا يمكن التواصل معهم إلا من خلال البريد الإلكتروني، أو مبادلات بطاقة الاعتماد.

ومن الممكن إيجاد دليل بالصدفة يدعم مزاعمهم. إن أثر الدواء المهدئ الذي ناقشناه في البند 2.8، يمكن أن يتفوق على أثر كثير من العلاجات الطبية. ومن ناحية الجسم البشري، فإنّ ما يحدث غالبًا هو ما يعتقد الناس بأنه سيحدث، وذلك بسبب الارتباط الفيزيائي بين العقل والجسد.

وكما أسلفنا عن الممارسات الدونية العديدة للعلم الكاذب، يوجد اليوم في الولايات المتحدة أكثر من 20,000 منجم. هل يستمع الناس لهؤلاء المنجمين للتسلية أم يتخذون قرارات مهمة بناءً على التنجيم؟ يمكن أن نخسر مالنا بالاستماع لهؤلاء المنجمين الكاذبين، والأسوأ هو إمكانية أن يصبح من يتعامل معهم مريضا؛ فالتشويش الذهني خطر محتمل هنا.

وفي الوقت نفسه، أظهرت نتائج اختبارات المعرفة العلميّة عند عامة الأفراد في أمريكا أن معظمهم يفتقر إلى الإدراك الأساسي للمفاهيم الرئيسة للعلم؛ فهناك 63% من الأمريكيين البالغين يجهلون سبب انقراض الديناصورات قبل ظهور الإنسان الأول، وأنّ 75% لا يعرفون أن المضادات الحيوية هي التي تقتل البكتيريا وليس الفيروسات، كما أنّ 57% لا يعرفون أن الإلكترونات أصغر من الذرات. إذن، هناك فجوة واسعة بين الذين عندهم حس واقعي نحو قدرات العلم والذين لا يفهمون طبيعة العلم، ومفاهيمه الأساسية. و الأسوأ من ذلك أنهم يرون المعرفة العلميّة معقدة للغاية، ولا يمكن فهمها.

العلم وسيلة مهمة جدًّا لفهم العالم الفيزيائي، ويمكن الاعتماد عليه بشكل كامل كوسيلة لتحسين ظروف الإنسان أكثر كثيرًا من الاعتماد على العلم الكاذب.

العلم والفن والدين

أخذ البحث عن فهم أعمق للعالم من حولنا عدة أشكال، منها العلم، والفن، والدين. فالعلم نظام نكتشف من خلاله الظواهر الطبيعية ونسجلها، ونفكر في التفسيرات المحتملة لهذه الظواهر. أمّا الفن فمعنيّ بالتحليلات الشخصية والتعبير الإبداعي. في حين يبحث الدين في المصادر، والأسباب ومعنى كلّ ذلك. وباختصار، فإنّ العلم يسأل: كيف؟ أمّا الفن فيسأل: من؟ في حين يسأل الدين: *لماذا؟*

يتعلق الفن بالجمال الكوني. ويتعلق العلم بالترتيب الكوني. أمّا الدين فيتعلق بالغاية الكونية.

يشترك العلم والفن في أشياء معينة؛ ففي الأدب، نبحث عن الممكن في الخبرة الإنسانية. ندرس عن العواطف، مثل الحب والكره، حتى لو لم نختبرهما. كما أنه يصف خبراتنا ويقترح ما هو ممكن لنا. وبالمثل، ترشدنا المعرفة العلميّة إلى ما هو محتمل في الطبيعة. كما أنّ هذه المعرفة العلميّة تساعدنا على تنبؤ الاحتمالات الممكنة في الطبيعة حتى قبل أن نختبرها. إنها تزودنا بطريقة لربط الحوادث من خلال استنباط العلاقات بينها وفيها، ومن ثمَّ القيام بربط منطقي بين مختلف الأحداث الكبيرة في الطبيعة من حولنا. وفي حين يفتح الفن لنا آفاق فهمنا لأنفسنا، فإنّ العلم يفتح آفاق فهمنا لبيئتنا.

وهناك تشابه آخر بين العلم والدين أيضا. فالحافز في كليهما، على سبيل المثال، هو حب الاستطلاع للطبيعة. وكلاهما ذو تأثير عظيم في المجتمع. فعلى سبيل المثال، أدى العلم إلى الاختراعات التقنية المفيدة، في حين يزودنا الدين بقواعد للعديد من الخدمات الاجتماعية. ولكن العلم والدين مختلفان في الأساس؛ فإذا كان العلم يهتم بفهم العالم الطبيعي، فإنّ الدين يهتم بالروحانيات، مثل المعتقد والإيمان. وحيث إن الحقيقة العلميّة مسألة تمحيص من قبل الأفراد، فإنّ الدين مسألة شخصية بحتة. ولهذه الاعتبارات، فالعلم والدين مختلفان كالاختلاف بين التفاح والبرتقال، ولا يناقض أحدهما الآخر. وقد يعمل كلّ من العلم والفن والدين معًا. ولهذا، يجب ألا نشعر بأن علينا اختيار أحدهما على حساب الآخر.

إن كون العلم والدين يعملان معًا بانسجام يستحق تأكيدًا خاصًّا. فعندما ندرس طبيعة الضوء لاحقا في هذا الكتاب، سنعالج الضوء أولا على أنه موجة ثم جسيم. وللوهلة الأولى، قد تبدو الموجة مناقضة للجسيم. ويمكنك الاعتقاد أنّ الضوء يمكن أن يكون موجة أو جسيما، وأن عليك الاختيار بينهما. ولكن ما اكتشفه العلماء هو أنّ موجات الضوء وجسيماته مكمل أحدهما للآخر. وعندما تأخذ هاتين الفكرتين معا، فإن فهمنا للضوء يزداد عمقا. وبطريقة مشابهة، فإنّ الذين يعتقدون أن عليهم الاختيار بين الإيمان بالدين أو الإيمان بالعلم، إما أنهم لا يعرفون الطبائع الحقيقية للعلم أو الدين أو أنّهم مضللون حول هذا. وما لم يكن فهم الشخص سطحيًّا في أحدها أو كليهما، فليس هناك تناقض بين أن يكون الشخص متدينا في نظام معتقداته وأن يكون، في الوقت نفسه، علميا في فهم العالم الطبيعي.*

إنّ العديد من الناس مشوشون بسبب عدم معرفتهم الإجابات عن الأسئلة الدينية والفلسفية. ولكن الرسالة المهمة من العلم هي أنّ عدم اليقين مقبول. على سبيل المثال، في الفصل 15 سنعلم أنه من غير الممكن أن نعرف بشكل تام كلًّا من الزخم والموقع لإلكترون في الذرة. وكلما ازدادت معرفتك بأحدهما (الموقع أو الزخم) نقصت معرفتك عن الآخر. إنّ الشّكّ جزء من العملية العلميّة؛ فمن المقبول، مثلا، ألا تعرف الإجابات عن الأسئلة الأساسية: لماذا ينجذب التفاح إلى الأرض؟ لماذا تتنافر الإلكترونات؟

* بالطبع، هذا لا ينطبق على بعض المتدينين المتطرفين الذين يؤكدون بإصرار أنه لا يمكن لأحد أن يجمع كلا من العلم والدين معًا.

لماذا يتفاعل المغناطيس مع غيره من المغانط؟ لماذا هناك كتلة للطاقة؟ لا يعرف العلماء في أعماقهم إجابات هذه الأسئلة – على الأقل حتى الآن. نحن نعرف الكثير عن أين نحن، ولكننا لا نعرف شيئا عن لماذا نحن. وإذا كان الخيار بين عقل مغلق وإجابات سهلة من جهة، وعقل منفتح وعقلية استكشافية دون إجابات من جهة أخرى، فإنّ معظم العلماء سيختارون الخيار الثاني. وعلى العموم ، فإنّ العلماء مرتاحون في أنهم لا يعرفون.

إن الاعتقاد بوجود حقيقة واحدة يمتلكها من يقولها فقط هو أصل الشر في العالم.
ماكس بورن –Max Born-

■ **نقطة فحص**

أيّ الأنشطة التالية يتعلق بأعظم تعبير إنساني عن العاطفة والموهبة والذكاء ؟
(أ) الرسم والنحت (ب) الأدب (جـ) الموسيقى (د) الدين (هـ) العلم.

هل كانت هذه إجابتك؟

جميعهم. في هذا الكتاب، سلطنا الضوء على العلم كنشاط إنساني ساحر يتشارك فيه أفراد عديدون. وبالأدوات العصرية، والمعرفة، وكيفية عمل الأشياء، وصل العلماء إلى أبعد من ذلك، واكتشفوا أكثر مما اكتشفه أسلافهم عن أنفسهم وعن بيئتهم. وكلما عرفت أكثر عن العلم، ازددت حبًّا للأشياء من حولك. وهناك علم في كلّ شيء تراه، وتسمعه، وتشمه، وتتذوقه، وتلمسه!

■ التكنولوجيا؛ الاستخدام العملي للعلم

يختلف العلم أيضًا عن التكنولوجيا. ففي حين يُعنى العلم بجمع المعرفة وتنظيمها، فإنّ التكنولوجيا تسمح للبشر باستخدام تلك المعرفة لأغراض عملية، وتزود العلماء بالأجهزة التي يحتاجون إليها للقيام بأبحاثهم.

التكنولوجيا سيف ذو حدين: قد تكون نافعة وقد تكون ضارة. فعلى سبيل المثال، نحن نمتلك التكنولوجيا لاستخلاص الوقود الأحفوري من الأرض ثم حرقه لإنتاج الطاقة. لقد استفاد المجتمع من إنتاج الطاقة من الوقود الأحفوري بطرق كثيرة في مجالات شتى. ولكن في المقابل، فإنّ حرق الوقود الأحفوري يلوّث البيئة. من السهل إلقاء مسؤولية التلوث على التكنولوجيا، وعلى نفاد المصادر، وحتى على زيادة السكان. إن تحميل التكنولوجيا هذه المشكلات كتحميل السكين السبب في عملية الطعن. إن البشر هم الذين يستخدمون التكنولوجيا، وهم المسؤولون عن كيفية استخدامها.

ومن المفرح أننا نملك التكنولوجيا لحلّ العديد من مشاكل البيئة. ومن المتوقع أن يشهد القرن الحادي والعشرين تحوّلًا في استخدام الوقود الأحفوري إلى مصادر الطاقة المستدامة. نحن نعيد تدوير نتاج النفايات بطرق أفضل وحديثة. ففي بعض أنحاء العالم، حدث تقدم في الحدّ من النّموّ السّكانيّ، وهو التهديد الجدي الذي يؤدي إلى تفاقم كلّ مشكلة تواجه البشرية اليوم. وتعزى الصعوبة في حلّ المشاكل العصرية إلى ممانعة المجتمعات أكثر مما تعزى إلى عدم كفاءة التكنولوجيا؛ إنّها أداتنا، وأنّ ما نفعله بهذه الأداة يعود لنا. إن المستقبل الواعد للتكنولوجيا هو عالم نظيف وصحي. كما أنّ التطبيقات الحكيمة للتكنولوجيا تمكننا من تحسين الظروف الحياتية على الأرض.

تقييم الخطر

يلازم مزايا التكنولوجيا المتعددة أخطار كثيرة: فاستخدام الأشعة السينية لأغراض التشخيص الطبي، على سبيل المثال قد يسبب السرطان. ولكن عندما تكون مخاطر استخدام التكنولوجيا أكثر من فوائدها، فيجب أن يكون هذا الاستخدام نادرًا أو معدومًا.

تتغير الأخطار تبعًا لاختلاف الحالات: فالأسبرين مفيد للبالغين، ولكن يمكن أن يسبب حالات ميتة للأطفال الصغار بما يعرف بمرض ريز *Reyes*. إن رمي النفايات في نهر محلي يمكن أن يسبب خطرًا طفيفًا لقرية تقع عند أعلى النهر، ولكنه يسبب مشاكل صحية للقرى التي تقع عند أسفله. وبالمثل، فإنّ تخزين النفايات المشعة تحت الأرض قد يكون قليل الخطورة في الوقت الحاضر، ولكن هذا التخزين سيشكل خطرًا كبيرًا على أجيال المستقبل إذا ما تسربت هذه الإشعاعات إلى المياه الجوفية. إذن، فالتكنولوجيا تتضمن مخاطر مختلفة تبعا للمجموعات المختلفة، مثلما تتضمن فوائد مختلفة كذلك. وتشير النقاشات الساخنة عدة أسئلة مثل: ما العلاجات التي يجب أن تباع للجمهور؟ وكيف يمكن وصفها؟ هل يجب تشعيع الغذاء حتى نقضي على سمّيته، على الرغم من أنّ هذا التشعيع يقتل أكثر من 5000 أمريكي سنويًا؟ ومن هنا، فعندما تقرر السياسات العامة يجب الأخذ في الحسبان المخاطر المحتملة على أفراد المجتمع كافة.

إنّ أخطار التكنولوجيا لا تظهر دائمًا على الفور؛ ومثال ذلك أنّ أحدا لم يدرك أخطار مخلفات احتراق البترول جميعها عندما اختير كوقود للسيارات في بداية القرن الماضي وفق رؤية برنامج وثائقي أشار إلى أنّ الكحول المستخرج من الكتلة الحيوية سيكون خيارًا ممتازًا بيئيًا. ولكنه مُنع بسبب احتجاجات الحركات المانعة النشطة في هذه الأيام.

ولأننا الآن أكثر انتباها للتكلفة البيئية من احتراق الوقود الأحفوري، فإنّ الوقود الحيوي يكتسب أهمية، ولكن ببطء. لذا، من المهم الانتباه إلى المخاطر القصيرة الأمد للتكنولوجيا وكذلك البعيدة الأمد.

يجد الناس صعوبة كبيرة في تقبل استحالة انعدام الخطر؛ فلا يمكن صنع طائرات آمنة تمامًا. ولا يمكن تصنيع أغذية جاهزة خالية من السموم بالكامل أيضًا، فحتى الغذاء سام بدرجة ما. كما أنك لا تستطيع الذهاب إلى الشاطئ دون توقع خطر الإصابة بسرطان الجلد، مهما كانت كمية واقي الشمس الذي وضعته لتفادي ذلك. إلى جانب أنّك لا تستطيع تجنب الإشعاعات لأنها موجودة في الهواء الذي تتنفسه، وفي الغذاء الذي تأكله. وهذه الحالة موجودة منذ أن مشى أول إنسان على وجه الأرض. حتى أنظف المطر يحتوي على الكربون-14، وكما هي أجسامنا بين كل نبضة في قلوبنا، يحدث دائما نحو 10,000 انحلال إشعاعي طبيعي في جسمنا. وقد تختبئ في التلال، وتتناول الغذاء الطبيعي تماما، وتستخدم المعقمات على الدوام، ومع ذلك كلّه قد تلقى حتفك بالسرطان الذي تسببه الإشعاعات المنبعثة من داخل جسمك. إن احتمالية الموت النهائي هي 100%؛ لا نجاة لأحد.

يساعد العلم في تحديد الاحتمال الأقوى. ومع تحسن أدوات العلم، فإن تقييم الاحتمال الأقوى قد اقترب جدًا من تحقيق الهدف. ومع هذا، فإن تقبل المخاطر يبقى موضوعًا يجب أخذه في الحسبان من قبل المجتمع. إنّ رغبة المجتمع في تحقيق هدف خال من الخطر تمامًا ليس غير عملي فحسب بل هو أناني. إن أي مجتمع لا يقبل درجة من الخطورة سوف يخسر حاضره ومصادره الاقتصادية المستقبلية. لذا، يجب القبول بدرجة قليلة من الخطورة، وعمل كل ما يستطاع لجعلها في الحد الأدنى ضمن الظروف. المجتمعات التي لا تقبل بالمخاطر لا تجني الفوائد.

العلوم الطبيعية: الفيزياء، والكيمياء، وعلوم الأرض، والفلك

يكافئ العلم اليوم ما كان يعرف بالفلسفة الطبيعية. *الفلسفة الطبيعية* هي دراسة الأسئلة التي لم تجد إجابة عن الطبيعة. وعندما وجدت هذه الأجوبة، أصبحت جزءًا مما يعرف بالعلم. تنقسم دراسة العلم اليوم إلى دراسة الأشياء الحية منها وغير الحية، أي علوم الحياة والعلوم الطبيعية. تتفرع علوم الحياة إلى مجالات مثل الأحياء الجزيئية، الميكروبيولوجي، والأيكولوجي. في حين تنقسم العلوم الطبيعية إلى مجالات الفيزياء، والكيمياء، وعلوم الأرض، والفلك.

وسنورد بعض التعريفات لتوضيح الأقسام الأساسية للعلم: فالفيزياء هي دراسة مفاهيم مثل الحركة، والقوة، والطاقة، والمادة، والحرارة، والصوت، والضوء، ومكونات الذرة. أمّا الكيمياء فتستند إلى الفيزياء، وتعلمنا كيفية تجمع المادة، وكيفية اتحاد الذرات لتكوين الجزيئات، وكذلك كيفية اتحاد الجزيئات لصنع الأشياء التي حولنا. إنّ تطبيق الفيزياء والكيمياء على الأرض، والعمليات التي تتم فيها يشكل علم الأرض- الجيولوجيا، وعلم الأرصاد الجوية، وعلم المحيطات.

الجزء الأوّل

الفيزياء

1

أنماط الحركة والاتّزان

■ قبل أكثر من ألفي عام، فهم علماء اليونان بعض الفيزياء كما نفهمها اليوم. لقد كان لديهم معرفة جيدة عن فيزياء الأجسام الطّافية وبعض خصائص الضَّوء، ولكنهم وقعوا في حالة من الإرباك فيما يتعلق بالحركة. لقد كان أرسطو أحد الأوائل الذين درسوا الحركة جدّيًّا، حيث كان أحد الفلاسفة المميزين في اليونان القديمة. وقد حاول توضيح الحركة عن طريق تصنيفها.

1.1 أرسطو والحركة

2.1 مفهوم جاليليو في القصور الذّاتيّ

3.1 الكتلة ـ مقياس القصور الذّاتيّ

4.1 القوّة المحصّلة

5.1 قاعدة الاتّزان

6.1 قوة الدّعم

7.1 الاتّزان التّحريكيّ (الاتّزان الدّيناميكيّ)

8.1 قوة الاحتكاك

9.1 السرعتان؛ القياسيّة والمتّجهة

10.1 التّسارع

لمعلوماتك

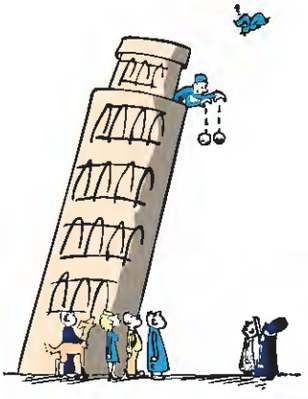
■ بدلًا من قراءة فصول هذا الكتاب بتأنٍّ، جرّب القراءة بسرعة ولكن أكثر من مرة. إنك تتعلم الفيزياء بشكل أفضل عندما تعيد القراءة بشكل متكرر. ففي كلّ مرة سيتولد لديك فهم أفضل. وإن لم تستطع فهم بعض الأشياء مباشرة فلا تقلق. فالمهم هو الاستمرار في القراءة وإعادتها.

■ 1.1 أرسطو والحركة

قسّم أرسطو *(Aristotle)* الحركة إلى نوعين: *طبيعية وغير طبيعية (عنيفة)*. فالحركة الطّبيعيّة مرتبطة بطبيعة الأجسام. مثل جسيمات خفيفة كدخان متصاعد. وأجسام ثقيلة كسقوط صخرة. كما أنّ حركة النجوم المشاهدة في ليلة مظلمة هي حركة طبيعية كذلك. ومن جهة أخرى. فإنّ الحركة غير الطبيعية تنتج عن قوى الدفع أو السّحب لجسم ما. لقد اعتقد أرسطو أنّ القوانين الطّبيعيّة يمكن فهمها بالتّفكير المنطقيّ.

لقد أصرّ أرسطو على شيئين. وبقيا دون تحقق لأكثر من ألفي عام: الأول هو أنّ الأجسام الثقيلة. بالضرورة. تسقط أسرع من الأجسام الخفيفة. والآخر هو أنّ الأجسام. بالضرورة. تقع تحت تأثير قوى لتبقى في حالة حركة.

لقد عُكست هذه الأفكار تمامًا في القرن السّادس عشر من قبل جاليليو الذي قام بإجراء تجربة أعظم من المنطق السّائد في ذلك الوقت لاكتشاف القوانين الطبيعية. فقد نقض جاليليو فكرة أنّ الأجسام الثقيلة تسقط أسرع من الأجسام الخفيفة في تجربة برج بيزا المائل المشهورة. وجد من خلال إسقاط أجسام مختلفة الوزن – مستثنيًا تأثير مقاومة الهواء – أنّ هذه الأجسام تسقط على الأرض بالتّزامن.



الشكل 1.1

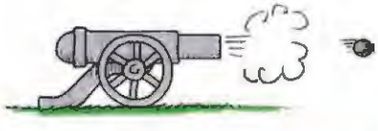
تجربة جاليليو المشهورة.

■ نقطة فحص

هل من الحصافة التفكير بأنّ الأرض كما هي في الموقع المناسب. وأنّ القوّة المحركة لها لا تُصدّق كما تصوّر ذلك أرسطو. وكذلك أنّ الأرض في حالة سكون في هذا الكون؟ (فكّر. وضع إجابتك. ثم تفحص تفكيرك أدناه.)

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ الفطرة السليمة نسبية تبعًا للوقت والمكان. وتعدّ رؤى أرسطو منطقية ومتوافقة مع المشاهدات اليومية. وما لم تصبح ملمًّا بالفيزياء الواردة في هذا الكتاب. فإنّ تصورات أرسطو فيما يتعلق بالحركة تتفق والفطرة السليمة (مقبولة من العديد من أُناس غير متعلمين في هذه الأيام). ولكن. كلما تزودت بمعلومات جديدة حول قوانين الطبيعة. فإنك غالبًا ما تجد الفطرة السّليمة ترتقي فوق تفكير أرسطو طاليس.



الشكل 2.1

هل من قوة تجعل قذيفة المدفع تستمر في الحركة بعد أن تغادر فوهة المدفع؟

أرسطو طاليس (Aristotle) (322-384 قبل الميلاد)

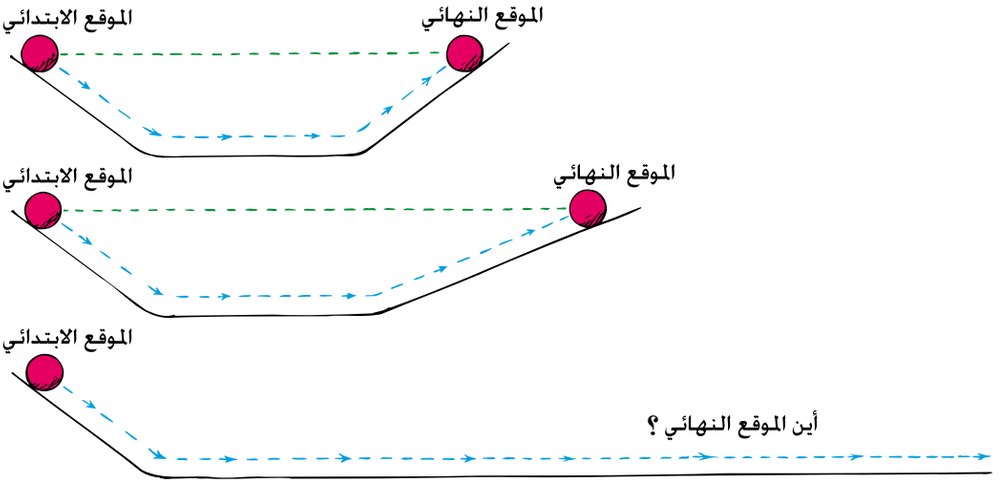
كان أرسطو أبرز فيلسوف علمي وتربويّ في عصره. ولد في اليونان. وهو ابن الطبيب الشّخصيّ لملك مكدونيا. دخل أرسطو أكاديمية أفلاطون في سنّ السّابعة عشرة حيث عمل وتعلم مدة عشرين سنة. حتى وفاة أفلاطون. وقد أصبح بعد ذلك معلّمًا لابن الإسكندر الكبير. ثمّ أسس مدرسته الخاصة بعد ذلك بثماني سنوات. كان هدف أرسطو تنظيم المعرفة المتوافرة في حينه. كما نظم إقليدس الهندسة. لقد قدم أرسطو ملاحظات حرجة. وجمع عينات. كما أنه جمع المعلومات المتوافرة عن العالم الفيزيائي (الكون) جميعها. ولخّصها وصنّفها. ولقد أصبح نهجه المنظم منهجًا علميًّا متبعًا في الغرب. وبعد وفاته. حفظت مدوناته في كهف قريب من منزله. ثم بيعت إلى مكتبة الإسكندرية. وبعد ذلك طُمس نتاجه العلمي في معظم أوربا في فترة عصورها المظلمة. كما أنّ أعماله الثقافية فقدت ونسيت. ثم أعيدت في عهد الإمبراطوريتين البيزنطية والإسلامية. ثمّ أعيد إدخال بعض كتبه إلى أوربا خلال القرنين الحادي عشر والثاني عشر. وأعيدت ترجمتها إلى اللاتينية. قامت الكنيسة ذات القوّة المهيمنة سياسيًّا وثقافيًّا في أوربا الغربية بحظر أعمال أرسطو في البداية. ولكنها وافقت على إدماجها في تعاليم الكنيسة بعد ذلك.

2.1 مفهوم جاليليو في القصور الذّاتيّ

اختبر جاليليو (Galileo) فكرته الثورية بالتجربة. لقد لاحظ أنه على السّطح المائل، وبمجرد أن يتحرك جسم ما، فإنه يستمر في حركته ما لم يكن هناك تأثير لقوى أخرى. وبعبارة سهلة، فإنّ **القوّة** هي دفع أو سحب. فضلا عن أنّ القوّة (Force) ضرورية لكي يبدأ الجسم حركته. فقد وجد جاليليو أنه ما دام هناك حركة، فإنه لا ضرورة للقوة لاستمرارها . إلا ضرورة وجود القوّة للتغلب على الاحتكاك (هناك تفصيل حول الاحتكاك في الجزء 8.1). وفي حالة غياب الاحتكاك، فإنّ الجسم المتحرك لا يحتاج إلى قوة للاستمرار في حركته. لقد علّل جاليليو أنّ الكرة المتحركة على سطح أفقي تتحرك إلى الأبد في غياب الاحتكاك. وتتحرك الكرة تلقائيًّا من خلال قصورها الذّاتيّ **(Inertia)**.

لقد كانت هذه بداية العلم الحديث: فبالتجربة وليس بالتأمل الفلسفي تُختبر الحقيقة.

الشّكل 3.1
حركة كرة على سطوح مختلفة.



الشّكل 4.1
كرة تتدحرج أسفل سطح مائل على الجهة اليسرى تؤدي إلى التدحرج إلى الارتفاع نفسه من جهة اليمين. الكرة تتدحرج مسافة أكبر كلما قلت زاوية ميل السّطح إلى اليمين.

جاليليو جاليلي (Galileo Galilei) (1564-1642)

ولد جاليليو في مدينة بيزا (إيطاليا) في السنة نفسها التي ولد فيها شكسبير، وتوفي فيها مايكل أنجلو. درس جاليليو الطب في جامعة بيزا، ثم تحول إلى دراسة الرياضيات. ولقد كان له اهتمام مبكر في الحركة بحيث أصبح يحمل أفكارًا مختلفة عمن حوله ممن تبنوا أفكار أرسطو للأجسام الساقطة. ومن ثمَّ غادر بيزا للتدريس في جامعة بادوا، وأصبح مؤيدًا لنظرية الفلكي البولوني كوبرنيكوس الجديدة في النظام الشمسي. لقد كان جاليليو من أوائل الذين بنوا تلسكوبًا، وأول من وجهه ليلا في اتجاه السماء، حيث اكتشف وجود جبال على القمر، كما اكتشف أقمار كوكب المشتري. وبسبب نشر مكتشفاته باللغة الإيطالية بدلًا من اللاتينية، كما هو متوقع من عالم حسن السمعة، وبسبب اختراع الصحافة المطبوعة أيضًا، فقد أصبحت أفكاره في متناول العديد من الناس. ولكن بعدئذٍ، أصبح منبوذًا من الكنيسة، ومنع من التدريس ومن تبني توجهات كوبرنيكوس. حجز جاليليو نفسه عن الناس قرابة خمسة عشر عامًا. بعد ذلك، نشر بجرأة ملاحظاته واستنتاجاته التي كانت تتعارض مع مبدأ الكنيسة. وكانت النتيجة أنه وجد نفسه مذنبًا. ثم أجبر أن يتبرأ من اكتشافاته. وبعد ذلك أصبح رجلا مسنًّا، عليل الجسد، محبطًا. وحكم عليه بالإقامة المنزلية الجبرية الدائمة. وعلى الرغم من ذلك، أكمل دراساته في الحركة. وقد هُرِّبت كتاباته خارج إيطاليا، حيث تم نشرها في هولندا. لقد تضررت عينا جاليليو مبكرًا بسبب مشاهدته للشمس من خلال التلسكوب، مما سبب له الإصابة بالعمى في 74 من عمره، ثمّ توفي بعد أربع سنوات.

لمعلوماتك

■ ولد كلّ من جاليليو ووليام شكسبير في العام 1564 نفسه. وفي عام 1632 نشر جاليليو أول معالجاته الرياضية في الحركة. بعد ثلاثة عشر عامًا من بلوغ الرحّالة جبل بلايموث.

■ **نقطة فحص**

الكرة التي تتدحرج على سطح مستوٍ تنتهي بالوقوف. كيف استطاع أرسطو تفسير هذا السلوك؟ كيف فسره جاليليو؟ كيف يمكنك تفسيره؟

هل كانت هذه إجابتك؟

كما ذكرنا، فكّر في أسئلة اختبر معلوماتك في هذا الكتاب ***قبل*** أن تقرأ الإجابات. عندما تعُد إجاباتك أولا تجد نفسك قد تعلمت أكثر – أكثر كثيرًا!

يقول أرسطو: من المحتمل أن تقف الكرة لأنها تسعى إلى حالة السكون الطبيعية. أما جاليليو فيقول: من المحتمل أن تتغلب قوة الاحتكاك على توجه الكرة الطبيعي للاستمرار في الحركة – هذا الاحتكاك يتغلب على القصور الذّاتيّ للكرة ويجعلها تقف. يمكنك فقط الإجابة عن آخر سؤال!

■ 3.1 الكتلة – مقياس القصور الذّاتيّ

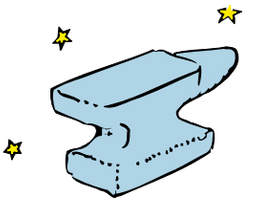
كلّ جسم مادي له قصور ذاتي. كيف يعتمد هذا القصور على كمية المادة – كلما زادت كمية المادة زاد القصور الذّاتيّ. وللدلالة على كمية المادة لجسم ما، نستخدم عبارة الكتلة – كلما زادت كتلة جسم ما – أي كلما زادت كمية المادة – زاد قصورها الذّاتيّ. إنّ **الكتلة** (Mass) هي مقياس القصور الذّاتيّ لجسم مادي.

وبلغة دارجة، فإن الوزن يعني **(Weight)** الكتلة. لذا، نقول إنّ جسمًا ما له كمية أكثر من المادة إذا كان أثقل. هذا لأننا اعتدنا قياس المادة من خلال جذب الأرض لها. ولكن مفهوم الكتلة أساسي أكثر من الوزن؛ فهي كمية أساسية، وهي تغيب تمامًا عن انتباه معظم الناس. ومع ذلك، فإننا نشير أحيانًا إلى الوزن بشكل غير مقصود على أنه القصور الذّاتيّ. فعلى سبيل المثال، إذا حاولت معرفة أيّ من جسمين صغيرين أثقل من الآخر، فإنك ربما تهز كلّا منهما بيديك ذهابًا وإيابًا بطريقة ما بدلا من رفعهما. وبهذا، يمكنك أن تقرر أيّ الجسمين تواجه صعوبة أكبر في تحريكه. وقد تتساءل: أيهما أكبر مقاومة *لتغيير* حركته؟ إنّ ما تقوم به في الحقيقة أنّك تقارن بين القصور الذّاتيّ للجسمين.

من السهل الخلط بين فكرتي الكتلة والوزن. ونستطيع أن نعرف كلًّا منهما كالتالي:

***الكتلة: كمية المادة المتجمعة في جسم ما. وهي كذلك مقياس للقصور الذّاتيّ أو الإبطاء الذي يظهره الجسم استجابة لأيّ جهد لتحريكه أو إيقافه، أو تغيير حالة حركته بأيّ شكل.**

الوزن: القوّة المؤثرة في جسم ما بسبب الجاذبية.



الشّكل 5.1

السندان في الفضاء الخارجي وراء الشّمس على سبيل المثال يمكن أن يكون عديم الوزن، ولكن له كتلة.

الوحدة المعيارية للكتلة هي **الكيلوجرام (Kilogram)**، اختصارًا كجم. أما الوزن فيقاس بوحدات القوّة (مثل الباوندات). إنّ الوحدة العلمية للقوة هي **النيوتن**، وتختصر N، التي سنستخدمها في هذا الكتاب. واختصارها يكتب بحرف كبير نسبة إلى شخص ما.

يتناسب كلّ من الكتلة والوزن معًا طرديًا* . إذا ضاعفنا كتلة جسم ما فإنّ وزنه يتضاعف، وإذا أنقصنا

* يتناسبان طرديًا معًا، يعني انهما يرتبطان معًا بشكل مباشر. فإذا غيّرت أحدهما فإنّ الآخر يتغير بشكل متناسب. ثابت التناسب هو *g*، التّسارع الناتج عن الجاذبية. كما سنرى لاحقًا، الوزن= *mg* (الكتلة x التّسارع الناتج عن الجاذبية) حيث 1كجم (9.8م/ث^2)=9.8 نيوتن. وسنقوم في الفصل الخامس بتطوير تعريف الوزن ليصبح قوة جذب الجسم المؤثرة في ركيزة. (مثال: التأثير في ميزان زنبركي/ نابضي).

الكتلة إلى النصف فإنّ الوزن يقل إلى النصف أيضًا. وبسبب ذلك، فإنّ الكتلة والوزن غالبًا ما يتم استبدال أحدهما بالآخر. كذلك، فإنّ هناك لبسا بين الكتلة والوزن أحيانًا؛ لأنّ من المألوف تقدير كمية المادة في جسم ما (كتلته) بمقدار انجذابه إلى الأرض (وزنه). أما الكتلة فلا تعتمد على الجاذبية. إنّ الجاذبية على سطح القمر، على سبيل المثال، هي أقل كثيرًا منها على الأرض، وأنّ وزنك على سطح القمر أقلّ كثيرًا من وزنك على سطح الأرض. أما كتلتك فهي نفسها في كلا الموضعين.

لا تخلط بين الكتلة والحجم (Volume). عندما نفكر في جسم له كتلة كبيرة فإننا غالبًا ما نفكر في جسم كبير. إنّ كبر حجم جسم ليس بالضرورة طريقة جيدة لتحديد كتلته. أيّ السيارتين تحريكها أسهل من الأخرى: سيارة لعبة تعمل على بطارية أم سيارة ضخمة فارهة؟ وهكذا نجد أن الكتلة ليست وزنًا ولا حجما.

وفيما يلي مثال مناسب للتمييز بين الكتلة والوزن: كرة ثقيلة معلقة بسلك كما في الشّكل 7.1. ينقطع السّلك العلوي عندما يُسحب السّلك السفلي بقوة تزداد تدريجيّا. في حين ينقطع السّلك السفلي عندما يهز بشكل مفاجئ. أيّ الحالتين السّابقتين توضح وزن الكرة، وأيهما توضح كتلتها؟ لاحظ أنّ السّلك العلوي فقط هو الذي يتحمل وزن الكرة. وهكذا، عندما يُسحب السّلك السفلي تدريجيّا فإنّ الشّدّ الناتج عن السّحب ينتقل إلى السّلك العلوي. وعليه، فإنّ مجموع الشّدّ في السّلك العلوي هو عبارة عن قوة سحب مضاف إليها وزن الكرة. وينقطع السّلك العلوي عند الوصول إلى نقطة القطع. ولكن، عندما يهز السّلك السفلي بشكل مفاجئ، فإنّ كتلة الكرة – تميل إلى البقاء في حالة سكون. لذا فإنها تكون مسؤولة عن القطع في السّلك السفلي.

■ **نقطة فحص**

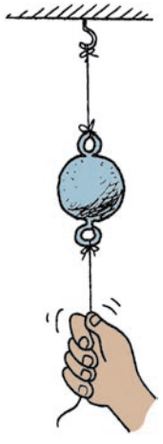
1. هل لقالب حديديّ كتلته 2 كجم قصور ذاتيّ ضعف ما لقالب حديديّ كتلته 1كجم؟ ضعف كتلته؟ ضعف حجمه؟ ضعف وزنه عندما يوزنان في المكان نفسه؟
2. هل لقالب حديديّ كتلته 2 كجم قصور ذاتيّ ضعف ما لعنقود من الموز كتلته 1 كجم؟ ضعف كتلته؟ ضعف حجمه؟ ضعف وزنه عندما يوزنان في المكان نفسه؟
3. كيف تتغير كتلة سبيكة ذهبيّة بتغيّر المكان؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. نعم للأسئلة جميعها؛ فقالب الحديد الذي كتلته 2 كجم له ضعف عدد الذرات. لذا له ضعف الكمية من المادة، أي ضعف الكتلة وكذلك ضعف الوزن. كلا القالبين من المادة نفسها. ولهذا، فإنّ القالب الذي كتلته 2 كجم له ضعف الحجم.
2. لكيلوجرامين من *أيّ شيء* ضعف القصور الذّاتيّ، وكذلك ضعف كتلة كيلو جرام واحد. ولأنّ الكتلة والوزن يتناسبان طرديّا في المكان نفسه، فإنّ وزن كيلوجرامين من شيء ما هو ضعف وزن كيلوجرام واحد من الشيء نفسه. وما عدا الحجم، يكون الجواب للأسئلة جميعها نعم. إنّ الحجم والكتلة يتناسبان معًا فقط في حالة أن يكون نوع المادة هو نفسه؛ أي في حالة أن يكون لهما الكثافة نفسها).(الكثافة هي الكتلة/ الحجم، كما سنشرح في الفصل الخامس.) الحديد أكثف كثيرًا من الموز. وهكذا، فإنّ كيلوجرامين من الحديد تشغل حجمًا أقلّ من حجم كيلوجرام واحد من الموز.
3. ليست على الإطلاق! تتكون من عدد الذرات نفسه بغض النظر عن الموقع. وعلى الرغم من أنّ الوزن يمكن أن يختلف باختلاف الموقع، إلا أن لها الكتلة نفسها في أي مكان. وهذا يبين لماذا نفضل استخدام الكتلة بدلا من الوزن في الدراسات العلمية.

الشّكل 6.1

يجد رائد الفضاء في الفضاء الخارجي صعوبة في هز السّندان العديم الوزن كما هو على الأرض. إذا كانت كتلة السّندان أكبر من كتلته، فأيهما يهز أكثر السّندان أم رائد الفضاء؟



الشّكل 7.1

لماذا تقطع الزيادةُ البطيئة المتتابعة في القوّة المؤثرة نحو الأسفل الحبلَ المتصل مع الكرة من أعلى، في حين تقطع الزيادةُ المفاجئة في القوّة الحبلَ المتصل مع الكرة من أسفل؟

الشّكل 8.1

لماذا لا يسبب الضرب بالمطرقة الأذى لها؟

الشّكل 9.1

1كجم من المسامير يزن 9.8 نيوتن، وهذا يساوي 2.2 باوند.

كيلوجرام واحد يزن 9.8 نيوتن

إنّ حقيبة من أيّ مادة كتلتها كيلوجرام واحد على سطح الأرض تزن 9.8 نيوتن. أما بعيدًا عن سطح الأرض حيث قوة الجاذبية أقل (على سطح القمر مثلا) فإنّ وزن الحقيبة يكون أقلّ.

وما عدا الحالات التي تكون الدقة فيها ضرورية، فإننا نقرب 9.8 إلى 10. وهكذا، فإنّ كيلوجراما واحدا من جسم ما على سطح الأرض يزن 10 نيوتن. إذا كنت تعرف الكتلة بالكيلوجرام وتريد الوزن بالنيوتن، فإنك تضرب عدد الكيلو جرامات في الرقم 10. أمّا إذا كنت تعرف الوزن بالنيوتن، فاقسم على 10 لتجد الكتلة بالكيلوجرامات. وكما ذُكر سابقًا، فإنّ الكتلة والوزن يتناسبان معًا طرديًا.

4.1 القوّة المحصّلة

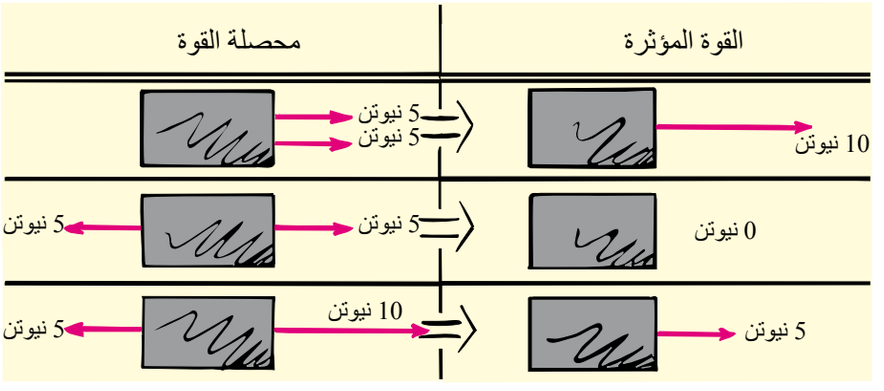
بعبارة بسيطة، القوّة عبارة عن دفع أو سحب. إنّ الأجسام لا تزيد سرعتها ولا تقللها، ولا تغيّر اتجاهها إلا بتأثير قوة. وعندما نقول قوة، فإننا نقصد بذلك القوّة الكلية أو القوّة المحصّلة المؤثرة في جسم ما. وعلى الأغلب هناك أكثر من قوة مؤثرة. فمثلًا عند قذف كرة البيسبول، فإنّ القوى المؤثرة فيها هي الجاذبية، والاحتكاك مع الهواء، وقوة الدفع المؤثرة فيها من العضلات. لذا، فإنّ محصلة القوى المؤثرة في الكرة هي محصلة هذه القوى مجتمعة. وهي محصلة القوى التي تعمل على تغيير حالة حركة الجسم.

فمثلًا، نفترض أنك سحبت صندوقًا بقوة 5 نيوتن (أكثر قليلًا من باوند واحد). إذا قام صديقك بسحب الصندوق نفسه معك، وأثر بقوة 5 نيوتن أيضًا وفي الاتجاه نفسه فإنّ القوّة المحصّلة على الصّندوق عندئذٍ تكون 10 نيوتن. أمّا إذا سحب صديقك الصّندوق نفسه بالقوّة نفسها ولكن في الاتجاه المعاكس، فإنّ القوّة المحصّلة على الصّندوق هي صفر. والآن، إذا قمت بزيادة قوة السّحب إلى 10 نيوتن، وسحب صديقك الصّندوق بقوة 5 نيوتن في الاتجاه المعاكس، فإنّ القوّة المحصّلة تكون 5 نيوتن في اتجاه تأثير قوتك. وهذا واضح في الشّكل 10.1.

القوى في الشّكل 10.1 موضحة بالأسهم. القوى كميات متجهة. والكمية المتّجهة (Vector Quantity) لها مقدار (كمية) وكذلك اتجاه (في أي اتجاه). وإذا تمّ تمثيل الكمية المتّجهة بسهم، فإنّ طول السهم يمثل المقدار (الكمية). في حين يمثل اتجاهُ السهم اتجاهَ الكمية المتّجهة. ويسمى هذا السهم **متجها** (ستجد تفصيلا أكثر فيما يتعلق بالمتجهات في الفصل القادم وكذلك في الملحق ج *في العلوم الفيزيائية المفاهيمية، كتاب التمارين*).

العلاقة بين الكيلوجرام والباوند هي أنّ 1 كجم يزن 2.2 باوند على سطح الأرض. (هذا يعني أنّ 1 باوند يساوي 4.45 نيوتن).

إنّ محصلة القوّة صفر على جسم ما لاتعني أنّ الجسم يجب أن يكون ساكنًا ولكن حالة حركته تبقى دون تغيير. يمكن أن يكون ساكنًا أو متحركًا بانتظام على خطّ مستقيم.



الشّكل 10.1

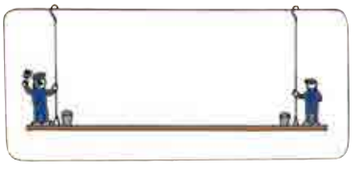
محصلة القوّة.

مقالة شخصية

عندما كنت في المدرسة الثانوية نصحني محام بعدم التسجيل في صفوف العلوم والرياضيات، وأن أركز بدلًا من ذلك على مواهبي الفنيّة الواضحة. لقد أخذت بنصيحته. وبعدها بدأت أهتم بسلسلة الرسوم الهزلية وبالملاكمة. ومع ذلك لم أفُح في أيّ من المجالين وبعد أن أنهيت مدة خدمتي العسكرية، جربت حظي في الرسم الزيتي حيث قادني شتاء بوستن البارد نحو الجنوب إلى ميامي في فلوريدا. وقد كان هذا في سن السادسة والعشرين حيث حصلت على عمل في رسم لوحات الإعلانات. ولقد التقيت بصديق مبدع هو بيرل جراي. ومثلي تمامًا، لم يدرس بيرل الفيزياء مطلقًا في المدرسة الثانوية، لكنه كان شغوفًا بالعلوم بشكل عام، وقد عبّر عن شغفه هذا بإثارة العديد من الأسئلة عندما كنا نرسم معًا.

أتذكر بيرل عندما سألني عن الشّد في الحبال التي تثبّت السّقالة التي نقف عليها. السّقالة هي ببساطة لوح خشبي مستوٍ ثقيل معلق بحبلين. نقر بيرل على الحبل عند جهة السّقالة القريبة منه وطلب إلي فعل الشيء نفسه في الجهة القريبة مني. كان يقارن بين الشد في كلا الحبلين لمعرفة أيهما أكبر. لقد كان بيرل أثقل مني، وقد تنبأ بأنّ الشد في الحبل من جهته أكبر. شبيهًا بسلك القيثارة المشدود بقوة، فإنّ الحبل ذا الشد الأكبر يتوتر بنغمة أعلى. ولأن حبل بيرل له نغمة أعلى يمكن فهم ذلك لأنّ حبله يسند ثقلًا أكبر.

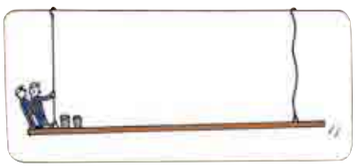
عندما تحركت في اتجاه بيرل لاستعارة ريشة



الرسم، سألني إذا ما قد تغير الشد في كلا الحبلين. هل الشد في الحبل من جهة بيرل يزداد كلما اقتربت منه أكثر؟

لقد اتفقنا سابقًا على أنّ الشد يجب أن يزداد؛ لأنّ مزيدًا من الوزن سوف يتحمله حبل بيرل. ولكن، ماذا عن حبلي أنا؟ هل قلّ الشّدّ به؟ لقد اتفقنا على أنّ هذا هو الحال؛ لأنّ حبلي يتحمل الآن مقدارًا أقلّ من الوزن الكلي. لم أكن أعلم في ذلك الوقت أنني كنت أناقش فيزياء.

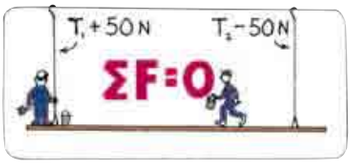
كنت وبيرل نضخم الأمور لندعم آراءنا (كما يفعل الفيزيائيون). إذا وقفنا نحن الاثنين على طرف واحد من السّقالة وانحنينا نحو الخارج، فإنه من السهل التخيل أنّ الطرف الآخر سوف يرتفع كما ترتفع الأرجوحة، وأنّ الحبل الذي يربط الطرف الآخر سوف يرتخي. وعليه، فإنّ الشد في ذلك الحبل يتلاشى. وبعد ذلك، اتفقنا على أنّ الشّدّ في حبلي سوف يقلّ تدريجيًا عندما كنت أتحرك في اتجاه بيرل. فقد كان من الممتع طرح مثل هذه الأسئلة لنرى إن كان بإمكاننا الإجابة عنها.



ولكن هناك سؤال لم نستطع الإجابة عنه، ألا وهو ما إذا كان نقصان الشد في حبلي عندما كنت أتحرك بعيدًا عنه مساويًا لمقدار زيادة الشد في حبل بيرل. فعلى سبيل المثال، إذا نقص الشد في حبلي بمقدار 50 نيوتن، فهل سيزداد الشد في حبل بيرل بالمقدار نفسه أيضا، 50 نيوتن؟

(في ذلك الوقت، كنا نستخدم الباوند، لكننا هنا نستخدم وحدة القوّة، النيوتن). هل سيكون مقدار الزيادة 50 نيوتن بالضبط؟ وإذا كان الحال كذلك، فهل من الممكن أن تكون مجرد صدفه؟ لم أعرف الإجابة عن هذا السؤال إلا بعد سنة عندما تركت أعمال الدهان وذهبت إلى الجامعة لتعلم المزيد من العلوم*، وذلك بسبب المحاكاة التي أجراها بيرل.

لقد تعلمت في الجامعة أنّ أيّ جسم ثابت مثل سقالة الدهان التي عملت عليها مع بيرل هو جسم متزن. لذا، فإنّ محصلة القوى المؤثرة فيه تساوي صفرًا؛ أي أنّ محصلة الشد في الحبال مساوية للوزن بالإضافة إلى وزن السّقالة. إنّ خسارة 50 نيوتن على أحد الطرفين سيتم تعويضها بزيادة 50 نيوتن على الطرف الآخر.

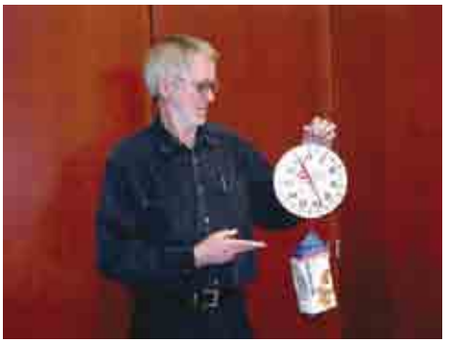


إنّ سرد هذه القصة الحقيقية هو لتوضيح أنّ تفكير المرء يختلف عندما تكون هناك قاعدة توجهه. الآن عندما أنظر إلى أيّ جسم غير متحرك، فإنني أعلم أنّ القوى المؤثرة جميعها فيه يلغي بعضها بعضا.

سوف ننظر إلى الطبيعة بشكل مختلف عندما نعلم قوانينها. إنها تجعل الطبيعة أبسط وأسهل للفهم. ودون قوانين الفيزياء، فإننا نميل إلى الخرافات وسنرى شيئا عجيبا. من المدهش أنّ كلّ شيء متصل بأي شيء آخر على نحو رائع من خلال مجموعة صغيرة من القوانين. وما الفيزياء إلا دراسة قوانين الطبيعة.

* أنا مدين لبيرل جراي للمحاكاة التي قدمها لأنها أعطتني الدافع لإكمال دراستي. لقد توقفت عن الاتصال ببيرل مدة 40 سنة. ثم توصلت إليه عن طريق أحد طلاب صفي في المختبر في سان فرانسيسكو جيسين ويشتير الذي كان عبارة عن مخبر خاص، حيث استطاع العثور على (بيرل) عام 1998. لقد توطدت الصداقة بيننا واستمرت محادثاتنا الشائقة. لقد تعرفت من خلال بيرل إلى قدرتي على التدريس. الآن، تعرفت أيضًا جاكي فريسكو وهو في عمر التسعينيّات حيث يستمر في إلهام الناس نحو مستقبل أفضل من خلال كتبه ومسلسلاته الوثائقية. ومؤخرًا من خلال أحد أفلامه "تصميم المستقبل".

5.1 قاعدة الاتّزان



الشّكل 11.1
بيرل جراي، أول من أوجد قوى الشد، كيس من الطحين وزنه 2 باوند معلق بميزان زنبركي، ويظهر الوزن والشد في الميزان وهو 9 نيوتن تقريبًا.

إذا ربطت حبلا حول كيس يحوي 2 باوند من الطحين، ثم علقته بمقياس زنبركي (الشّكل 11.1)، فإنّ الزنبرك يستطيل حتى تصبح قراءته 2 باوند. يكون الزنبرك في حالة الاستطالة تحت تأثير قوة استطالة تسمى "شد". المقياس الزنبركي تمت معايرته في المختبر ليقرأ القوّة نفسها مثل 9 نيوتن. كل من الباوند والنيوتن وحدة للوزن، كما أنهما وحدتان *للقوة*. كيس الطحين ينجذب في اتجاه الأرض بقوة جذب 2 باوند، وهي تعادل 9 نيوتن. إذا علّقت ضعف كمية الطحين على المقياس نفسه، فستجد أنّ قراءته 18 نيوتن.

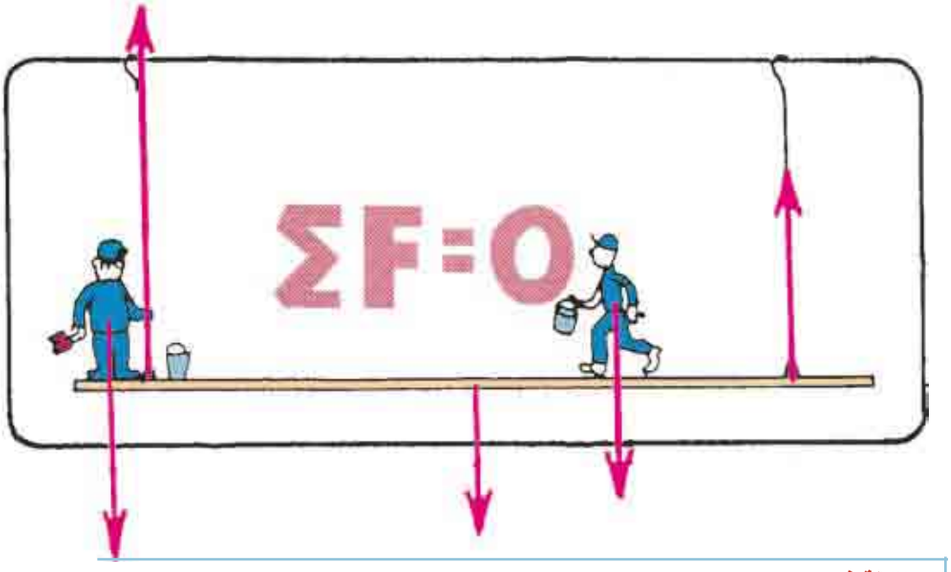
هناك قوتان تؤثران في كيس الطحين: الأولى قوة شد تؤثر نحو الأعلى، والأخرى قوة وزن تؤثر نحو الأسفل. القوتان على الكيس متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، وبالتالي تلغي إحداها الأخرى. وهكذا يبقى الكيس في حالة سكون.

عندما تكون القوّة المحصّلة على شيء ما صفرًا نقول إنّ الجسم في حالة *"اتزان ميكانيكي"**. وبالرموز الرياضية، فإنّ **قاعدة الاتّزان** هي

$$\sum F = 0$$

حيث يشير الرمز $\sum$ إلى "المجموع المتجه"، وF ترمز إلى "القوى" المؤثرة في جسم معلق في حالة سكون، مثل كيس الطحين. وتنصّ القاعدة على أنّ القوى المؤثرة في الجسم في اتجاه الأعلى تتوازن مع قوى أخرى تؤثر نحو الأسفل بحيث يساوي المجموع المتجه صفرًا. (في الكميات المتّجهة يؤخذ في الحسبان الاتجاه. وهكذا، إذا كانت القوى في اتجاه الأعلى موجبة، فإنّ القوى في اتجاه الأسفل تكون سالبة، وعليه يساوي المجموع المحصل صفرًا.)

نلاحظ في الشّكل 12.1 القوى المهمة لبيرل وباول على سقالة الرسم. مجموع قوى الشد نحو الأعلى مساوٍ لمجموع وزنيهما ووزن السّقالة. لاحظ كيف أنّ قيمة متجهين نحو الأعلى تساوي قيمة ثلاثة متجهات نحو الأسفل. والقوّة المحصّلة على السّقالة تكون صفرًا، وهكذا يمكننا القول إنها في حالة اتزان ميكانيكي.



الشّكل 12.1
مجموع المتجهات إلى أعلى يساوي مجموع المتجهات إلى أسفل. $\sum F = 0$ الحمالة الخشبية (السّقالة) في حالة اتزان.

هل يمكنك مشاهدة إثبات أن $\sum F = 0$ في الجسور وكذلك في الإنشاءات التي حولك؟

نقطة فحص

إذا تعلقت بأرجوحة ساكنة، فما الشد في الحبلين العموديين الداعمين للأرجوحة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

الشّدّ في كلّ حبل يجب أن يساوي نصف وزنك. وبهذه الطريقة فإنّ $\sum F = 0$.

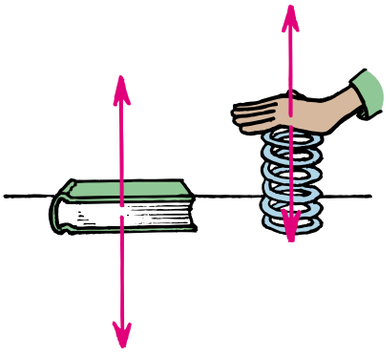
* سنرى في الملحق ب أنّ هناك شرطًا آخر للاتزان الميكانيكي، وهو أنّ محصلة العزوم تساوي صفرًا.

6.1 قوة الدّعم

تأمل كتابًا موضوعًا على سطح طاولة في حالة سكون. إنّ هذا الكتاب يكون في حالة اتزان. ما القوى المؤثرة في الكتاب؟ إحدى هذه القوى ناتج عن الجاذبية – وزن الكتاب. ولأنّ الكتاب متزن، فإنه يجب أن يكون هناك قوة أخرى تؤثر فيه لكي تساوي القوّة المحصّلة صفرًا - قوة نحو الأعلى معاكسة لقوة الجاذبية. إنّ الطاولة تؤثر بمثل تلك القوّة نحو الأعلى، وتسمى **القوة الداعمة**. هذه القوّة الداعمة غالبًا ما تسمى القوّةَ العمودية، ويجب أن تساوي *وزن* الكتاب*. بافتراض أنّ القوّة نحو الأعلى موجبة، فإنّ القوّة نحو الأسفل (الوزن) تكون سالبة، ومجموع القوتين يساوي صفرًا. إنّ محصلة القوّة على الكتاب تكون صفرًا. ويمكن صياغتها بطريقة أخرى كما يلي، $\sum F = 0$.

ولكي تفهم أنّ الطاولة تدفع الكتاب إلى أعلى على نحو أفضل، قارن بحالة ضغط الزنبرك (الشّكل 13.1). إذا دفعت بالزنبرك نحو الأسفل، فتستطيع الشعور بضغط الزنبرك على يدك. وبالمثل، فإنّ الكتاب الموضوع على الطاولة يضغط ذرات الطاولة التي تسلك سلوكًا مشابهًا لزنبركات ميكروسكوبية. يضغط وزن الكتاب على الذرات نحو الأسفل. في حين تضغط الذرات على الكتاب نحو الأعلى. وبهذه الطريقة، فإنّ الذرات المنضغطة تنتج قوة داعمة (عمودية).

عندما تقف على ميزان حمّام، فإنّ هناك قوتين تؤثران في الميزان: الأولى قوة سحب الجاذبية نحو الأسفل، وهي وزنك، والأخرى نحو الأعلى، وهي قوة دفع السّطح نحو الأعلى. حيث تقوم هاتان القوتان بضغط زنبرك مُعايَر لإظهار وزنك (الشّكل 14.1). في الواقع، يظهر الميزان القوّة الداعمة (العمودية). عندما تزن نفسك بميزان في حالة سكون، فإنّ قوة الدّعم ووزنك لهما القيمة نفسها.



الشّكل 13.1
القوّة العمودية نحو الأعلى التي تؤثر بها الطاولة في الكتاب تساوي قوة الجاذبية للأسفل. قوة دفع الزنبرك على يدك تساوي القوّة التي تضغط بها يدك على الزنبرك للأسفل.

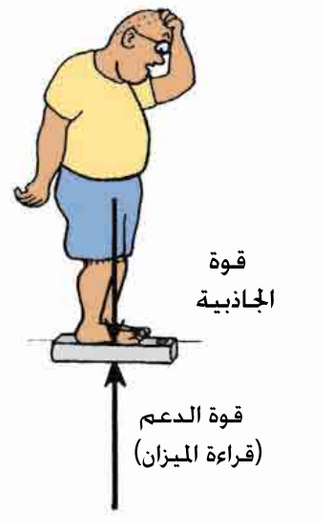
نقطة فحص

افترض أنك تقف على ميزانين بحيث يتوزع وزنك بينهما بالتساوي. فما قراءة كلّ منهما ؟ ما الذي يحدث إذا كنت تقف عليهما بحيث يكون الوزن المؤثر في إحدى القدمين أكبر من الأخرى؟

هل كانت هذه إجابتك؟

مجموع قراءة الميزانين تمثل وزنك. لأنّ مجموع قراءتيهما تساوي القوّة الداعمة من الأرض والتي تعاكس وزنك. وعليه، فإنّ محصلة القوى عليك تساوي صفرًا. وهذا يعني أنّ محصلة المتجه $\sum F = 0$. إذا كنت تقف على كلّ من الميزانين بشكل متساوٍ، فإنّ كلّ ميزان سيقرأ نصف الوزن.

أما إذا كنت منحنيًا على أحدهما أكثر من الآخر، فإنّ أكثر من نصف الوزن يُقرأ على ذلك الميزان، في حين يُقرأ أقلّ من نصف الوزن على الميزان الآخر. ولهذا، يبقى مجموع قراءة الميزانين مساويًا لوزنك. فعلى سبيل المثال، إذا قرأ أحد الميزانين ثلثي وزنك، فإنّ الميزان الآخر يقرأ الثلث الأخير منه. وفي الحالات جميعها، فإنّ $\sum F = 0$.



الشّكل 14.1
قوة الدّعم نحو الأعلى تساوي قوة الجاذبية نحو الأسفل.

7.1 الاتّزان التّحريكيّ (الاتّزان الدّيناميكيّ)

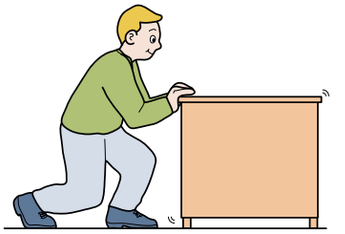
عندما لا يتحرك جسم ما، فإنّ محصلة القوى على هذا الجسم تساوي صفرًا؛ أي أنّ الجسم يكون في حالة اتزان. وبدقة أكثر، نقول إنّ الجسم يكون في حالة اتزان سكوني. إلا أنّ حالة السكون هذه هي إحدى أشكال الاتّزان. فإذا تحرك جسم ما بسرعة ثابتة على خط مستقيم، فإنه يكون أيضًا في حالة اتزان. عندئذٍ، نقول إنه في حالة *اتزان ديناميكي*.

* تؤثر هذه القوّة بشكل متعامد مع السّطح. وعندما نقول "متعامد مع" نقصد بذلك أنه " يصنع زاوية قائمة مع". وعليه، تسمى هذه القوّة بالقوّة العمودية.

وما إن يتحرك الجسم، وإذا لم تؤثر فيه قوة محصلة تغير من حالة حركته، فإنّ سرعته لا تتغير. وعليه، يكون في حالة اتزان حركي. وسواء أكان **الاتّزان سكونيًا** أم حركيًا، فإنّ $\Sigma F = 0$.

ومن المهم معرفة أنه إذا خضع جسم ما لتأثير قوة واحدة فقط، فلا يمكن أن يكون في حالة اتزان سكونيّ أو حركيّ. وأنّ القوّة المحصّلة لا يمكن أن تساوي صفرًا. فقط في حالة عدم وجود قوة على الإطلاق، أو وجود قوتين أو أكثر بحيث تكون محصلتها صفرًا، عندئذ، يمكن أن يكون الجسم في حالة اتزان. ويمكننا تفحص ما إذا كان جسم ما في حالة اتزان وذلك بملاحظة ما إذا كان ذلك الجسم يخضع لتغير في حركته.

لندرس دفع طاولة على أرضية غرفة صفّ دراسي. إذا تم تحريك تلك الطاولة بسرعة ثابتة، دون تغير في حركتها، فإنها تكون متزنة. وهذا يؤكد لنا أنّ هنالك أكثر من قوة تؤثر فيها— مثل قوة الاحتكاك بينها وبين أرضية الغرفة. وحقيقة أنّ القوّة المحصّلة على الطاولة تساوي صفرًا، يعني أنّ قوة الاحتكاك يجب أن تساوي قوة دفعنا للطاولة مقدارًا وتعاكسها اتجاهًا.



الشّكل 15.1
عندما تكون قوة الدفع على طاولة تساوي قوة الاحتكاك بينها وبين الأرض، فإنّ محصلة القوى عليها تكون صفرًا. وعندها، تتحرك الطاولة دون تغيير في السّرعة.

8.1 قوة الاحتكاك

لمعلوماتك

■ سنقوم في الفصل السّادس بشرح الاتّزان الحراري، أمّا في الملحق ب فسنشرح الاتّزان الدّورانيّ.

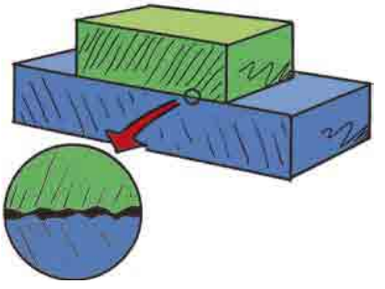
الاحتكاك هو قوة الممانعة التي تعيق الحركة، أو تمنع حركة جسم فوق جسم آخر ملامس له. يحدث هذا عند دلك جسم بشيء آخر*. يحدث الاحتكاك في كلّ من المواد الصلبة والسائلة والغازية. القاعدة المهمة في الاحتكاك أنه يؤثر دائمًا في الاتجاه المعاكس للحركة: فإذا قمت بدفع جسم صلب على سطح نحو اليمين، فإنّ قوة الاحتكاك تؤثر في الجسم في اتجاه اليسار. يقع القارب المندفع إلى الشرق تحت تأثير محركه وتحت تأثير قوة احتكاكه مع الماء نحو الغرب. وعند سقوط جسم نحو الأسفل في الهواء، فإنّ قوة الاحتكاك، **مقاومة الهواء(Air Resistance)**، تؤثر نحو الأعلى. ومرة أخرى للتأكيد: يؤثر الاحتكاك دائمًا في اتجاه معاكس للحركة.

■ **نقطة فحص**

عندما تدفع قطعة أثاث بحيث تنزلق بسرعة ثابتة على سطح غرفة المعيشة (بتعبير آخر تكون في حالة اتزان) فإنّ هناك قوتين أفقيتين تؤثران فيها: الأولى قوة دفعك لها، والأخرى قوة الاحتكاك المؤثرة في الاتجاه المعاكس. أيّ القوتين أكبر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

أيضًا بالنسبة إلى كلتا القوتين فإنهما متساويتان. وإذا افترضت أنّ دفعك موجب، فإنّ الاحتكاك يكون سالبًا. وحيث إنّ قطعة الأثاث المدفوعة متزنة، فهل يمكننا القول إنّ القوتين تندمجان معًا وتساويان صفرًا؟ تعتمد قوة الاحتكاك بين سطحين على نوع المواد المتلامسة ومقدار ضغط بعضها على بعض. وينشأ الاحتكاك بسبب وجود النتوءات السّطحية، وكذلك «لزوجة» الذرات على سطحي المادتين (الشّكل 16.1). إنّ الاحتكاك بين المقعد الذي حُرّك على سطح أملس مشمّع يكون أقل منه بين المقعد وسطح خشن. وإذا كان السّطح مائلا، فإنّ الاحتكاك يكون أقلّ؛ لأنّ ضغط الجسم يكون أقلّ في حالة السّطح المائل (في هذا الفصل لن ندرس السّطوح المائلة).



الشّكل 16.1
ينشأ الاحتكاك بسبب التماس المتبادل للتشوهات في السّطوح المتماسة. حتى السّطوح التي تبدو ملساء، فهي سطوح مشوهة عندما تشاهد في المستوى الميكروسكوبيّ (دون المجهري).

* الاحتكاك ظاهرة في غاية التعقيد. فهو يعدّ تجريبيا (يكتسب من مدى واسع من التجارب) وتنبؤاته تقريبية (كذلك تبنى على التجربة) وهذا عكس معظم مبادئ الفيزياء.

وهكذا فإننا نرى أنه عندما تدفع قطعة أثاث على أرضية الغرفة بحيث تنزلق، فإنّ قوة دفعك وقوة الاحتكاك المعاكسة لها تؤثران في الحركة. وعندما تدفع بقوة أكبر بحيث تتساوى تلك القوّة مع قوة الاحتكاك، فإنّ القوّة المحصّلة على قطعة الأثاث تساوي صفرًا، وبسبب ذلك تنزلق بسرعة ثابتة. لاحظ أننا نتكلم عما تعلمناه حاليًا: أي عدم حدوث تغيير على الحركة عندما تكون $\sum F = 0$.

■ **اختبر معلوماتك**

1. افترض أنك أثرت بقوة 50 نيوتن أفقيًا في طاولة ثقيلة غير متحركة، وموضوعة على أرضيّة صفّ مدرسيّ. تبقى الطّاولة ساكنة، وتشير إلى أنّ 50 نيوتن ليست كافية لتحريكها. كيف تعمل قوة الاحتكاك بين الطاولة وأرضية الصّفّ مقارنة بقوة دفعك؟
2. بدفعك بقوة أكبر – ولنقل 55 نيوتن – بحيث تبقى الطّاولة دون انزلاق. ما قوة الاحتكاك المؤثّرة فيها ؟
3. بدفعك أكثر فأكثر بحيث تتحرك الطاولة. وبمجرد أن تحركت الطاولة وكنت تدفع بقوة 60 نيوتن فإنّ هذا كافٍ لانزلاقها بسرعة ثابتة. ما قوة الاحتكاك المؤثرة فيها ؟
4. ما القوّة المحصّلة على الطّاولة المتحركة إذا كانت قوة دفعك 65 نيوتن، وقوة الاحتكاك بينها وبين أرضية الصّفّ 60 نيوتن.

هل كانت هذه إجابتك؟

1. قوة الاحتكاك هي 50 نيوتن في الاتجاه المعاكس. والاحتكاك يعاكس الحركة التي يمكن أن تحصل في الحالات كلّها. وبما أنّ الطاولة ساكنة، فهذا دليل على أنّ . $\sum F = 0$.
2. تزداد قوة الاحتكاك إلى 55 نيوتن. ومرة أخرى $\sum F = 0$.
3. قوة الاحتكاك 60 نيوتن؛ لأنه عندما تكون الحركة بسرعة ثابتة، فإنّ $\sum F = 0$.
4. القوّة المحصّلة هي 5 نيوتن؛ لأنّ نيوتن $\sum F = 65\ \text{N} - 60\ \text{N}$. في هذه الحالة، تكتسب الطاولة سرعة، تتسارع، كما سنرى.

■ 9.1 السرعتان؛ القياسيّة والمتّجهة

السّرعة القياسيّة

قبل عصر جاليليو، صنّف الناس حركة الأشياء ببساطة إلى"بطيئة" و"سريعة". وقد كانت مثل هذه الأوصاف غامضة. أما جاليليو، فقد كان أول من قام بقياس السّرعة القياسيّة وذلك بمقارنة المسافة المقطوعة مع الزّمن اللازم لقطع تلك المسافة. لقد عرّف **السّرعة القياسيّة (Speed)** بأنها المسافة المقطوعة في وحدة الزّمن المستغرق.

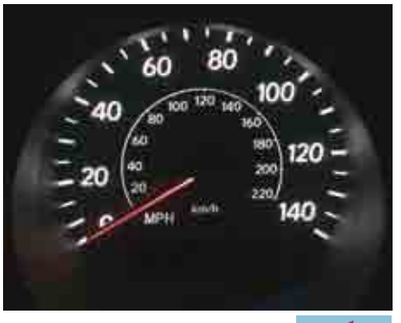
السّرعة القياسيّة = المسافة المقطوعة / الزّمن المستغرق .

فعلى سبيل المثال، إذا قطع سائق دراجة هوائية مسافة 20 كيلو مترًا في ساعة واحدة، عندها تكون سرعته القياسيّة 20 كم/ساعة. أما إذا قطع 6 م في ثانية واحدة، فتكون سرعته القياسيّة 6 م/ث. أي دمج لوحدات المسافة والزّمن يمكن أن يستخدم للسرعة – كيلو متر لكلّ ساعة (كم/ساعة) سنتيمتر لكلّ يوم (سرعة حلزون مريض) أو أي شيء ملائم ومفيد. رمز الشَّرطة المائلة (/) يقرأ "لكلّ" ويعني "مقسوم على". وفي الفيزياء، وحدة القياس المفضلة للسرعة هي متر لكلّ ثانية (م/ث). ويحتوي الجدول 1.1 على مقارنة بين بعض السّرع بوحدات مختلفة.

السّرعة القياسيّة اللحظيّة

إنّ الأشياء المتحركة غالبًا ما تختلف سرعتها. فعلى سبيل المثال، سيارة تتحرك على شارع بسرعة 50 كم/ساعة، ومن ثمَّ تقلّل من سرعتها إلى 0 كم/ساعة عند الإشارة الضوئية الحمراء، وتزيد سرعتها إلى30 كم/ساعة فقط بسبب كثافة السير. ويمكنك أن تعرف سرعة سيارة عند أيّ لحظة بالنظر إلى عداد السّرعة. فالسّرعة عند أيّ لحظة هي *السّرعة اللحظية* .

الشّكل 17.1
كلما زادت المسافة المقطوعة في وحدة الزمن فإنّ الحصان يكون أسرع.



الشّكل 18.1
كلما زادت المسافة المقطوعة في وحدة الزمن فإنّ كانت السيارة أسرع.

عندما تُعطى مخالفة سير بسبب السّرعة، فهل تكون السّرعة المكتوبة على المخالفة هي سرعتك اللحظية أم متوسط سرعتك؟

الجدول 1.1 سُرعة تقريبية بوحدات مختلفة

12 ميل/ساعة = 20 كم/ساعة = 6 م/ث (كرة البولينج)
25 ميل/ساعة = 40 كم/ساعة = 11 م/ث (عدّاء جيد جدًا)
37 ميل/ ساعة = 60 كم/ساعة = 17 م/ث (أرنب سريع)
50 ميل/ ساعة = 80 كم/ساعة = 22 م/ث (تسونامي)
62 ميل/ ساعة = 100 كم/ساعة = 28 م/ث (فهد سريع)
75ميل /ساعة = 120 كم/ساعة = 33 م/ث (كرة خفيفة مقذوفة)
100ميل/ ساعة = 160 كم/ساعة = 44 م/ث (كرة بيسبول مقذوفة)

متوسط السّرعة القياسيّة

عند التخطيط لرحلة بالسيارة، غالبًا ما يرغب السّائق في معرفة زمن الرحلة، ومتوسط السّرعة خلالها. كيف نُعرّف متوسط السّرعة القياسيّة؟

متوسط السّرعة القياسيّة = مجموع المسافة المقطوعة / الزمن المستغرق

يمكن حساب متوسط السّرعة القياسيّة بسهولة. فعلى سبيل المثال، عندما تقطع السيارة مسافة 80 كم في ساعة واحدة، فإنّ متوسط السّرعة القياسيّة يكون 80 كم/ساعة. وبالمثل، عندما تقطع مسافة 320 كم في أربع ساعات.

فإنّ متوسط السّرعة القياسيّة = مجموع المسافة المقطوعة / الزمن المستغرق = 320 كم / 4 ساعة = 80 كم/ساعة.

لاحظ أنه عندما تكون المسافة بالكيلومترات (كم) مقسومة على الزمن بالساعات (ساعة)، فالجواب يكون كيلو متر لكلّ ساعة (كم/ساعة). ولأنّ متوسط السّرعة القياسيّة هو مجموع المسافة المقطوعة مقسومًا على مجموع الزمن المستغرق، فإنّ ذلك لا يشير إلى السرعة اللحظية المتعددة خلال تلك المسافة. إنّ السّرعة اللحظية في معظم الحالات غالبًا ما تكون مختلفة عن متوسط السّرعة.

إذا كنا نعرف السّرعة القياسيّة والزمن المستغرق فإنه يمكن إيجاد المسافة المقطوعة بسهولة. وبإعادة ترتيب بسيط للتعريف أعلاه، فإننا نحصل على أنّ

مجموع المسافة المقطوعة = متوسط السّرعة القياسيّة X الزمن المستغرق

فعلى سبيل المثال، إذا كان متوسط سرعتك في رحلة مدتها 4 ساعات 80 كم/ساعة، فإنّ مجموع المسافة المقطوعة 320 كم.

■ نقطة فحص

1. ما متوسط سرعة حصان يعدو مسافة 100 متر في 8 ثوانٍ؟ وماذا إذا قطع مسافة 50 مترًا في 4 ثوانٍ؟
2. إذا تحركت سيارة بمتوسط سرعة 60 كم/ساعة لمدة ساعة واحدة، فإنها تقطع مسافة 60 كم.
   أ- ما المسافة المقطوعة في 4 ساعات إذا كانت تتحرك بالمعدل نفسه؟
   ب- وفي زمن 10 ساعات؟

هل كانت هذه إجابتك؟

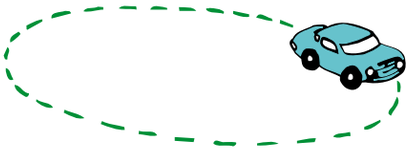
(هل قرأت ذلك وفكرت فيه قبل أن تفسره؟ كما ذكرنا سابقًا، فكّر قبل أن تُجيب. ليس عليك التعلم أكثر، بل التمتع أكثر بالتعلم).

1. في كلتا الحالتين، الإجابة هي 12.5 م/ث:
   متوسط السّرعة القياسيّة = مجموع المسافة المقطوعة/الزمن المستغرق = 100م/8ث = 12.5 م/ث
2. المسافة المقطوعة هي متوسط السّرعة × الزمن المستغرق
   أ. المسافة = 60 كم/ساعة × 4 ساعة = 240 كم
   ب. المسافة = 60 كم/ساعة × 10 ساعة = 600 كم.

السّرعة المتّجهة

عندما نعرف كلّا من مقدار سرعة جسم ما واتجاهه، فإننا نعرف **سرعته المتّجهة (Velocity)**. فمثلا، مركبة تسير بسرعة 60 كم/ساعة نعرف قيمة سرعتها. ولكن عندما نقول إنها تتحرك بسرعة 60 كم/ساعة في اتجاه الشمال، فإننا نحدّد سرعتها المتّجهة. السّرعة القياسيّة (*speed*) تصف سرعة الحركة، في حين تصف السّرعة المتّجهة سرعةَ الحركة واتجاهها. وكما ذُكر سابقًا، فإنّ كمية السّرعة المتّجهة والتي تعين كلًّا من المقدار والاتجاه تسمى كمية متجهة. *السّرعة المتّجهة* هي كمية متجهة. (شرحت المتجهات في الملحق ج . كما أنها فُصلت بشكل مناسب في *كتاب مفاهيم العلوم الفيزيائية، كتاب التمارين*).

إنّ السرعة القياسية الثابتة تعني السّرعة التي لا يزيد مقدارها ولا يقلّ. ومن جهة أخرى فإن السّرعة المتّجهة الثابتة تعني ثباتًا في مقدار السّرعة وفي اتجاهها. إنّ الاتجاه الثابت هو خط مستقيم؛ أي أنّ مسار الجسم ليس منحنيًا. وهكذا ، فإن السّرعة المتّجهة الثابتة تعني حركة على خط مستقيم بسرعة مقدارها ثابت؛ أي حركة دون تسارع.



الشّكل 19.1
على الرّغم من أنّ السيارة يمكنها المحافظة على قيمة سرعة ثابتة على مسار دائري، إلّا أنّها لا تحافظ على سرعة ثابتة. لماذا؟

■ **نقطة فحص**

”تتحرك إحداهن بسرعة قياسية ثابتة وفي اتجاه ثابت“ . صغ العبارة نفسها باختصار.

هل كانت هذه إجابتك؟

”إنها تتحرك بسرعة متجهة ثابتة“ .

السّرعة المتّجهة هي سرعة قياسية مضاف إليها اتجاه.

السّرعةُ كميةٌ نسبيّة

كلّ شيء يكون متحركًا دائمًا. حتى عندما تعتقد أنك جالس، فإنك في الحقيقة تخلق في الفضاء. إنك تتحرك بالنسبة إلى الشّمس والنجوم، مع أنك ساكن بالنسبة إلى الأرض. في هذه اللحظة، تكون سرعتك بالنسبة إلى الشّمس 100,000 كم/ساعة تقريبًا. وهذه السّرعة أيضًا تكون أكبر بالنسبة إلى مركز المجرة.

عندما نشرح السّرعة* أو السّرعة المتّجهة لشيء ما، نقصد السّرعة أو السّرعة المتّجهة بالنسبة إلى شيء آخر. فعلى سبيل المثال، عندما نقول إنّ مكوكًا فضائيًّا يتحرك بسرعة 30,000 كم/ساعة ، فإننا نقصد بالنسبة إلى الأرض أسفل المكوك. أو عندما نقول: سيارة سباق تصل سرعتها إلى 300 كم/ساعة، فإننا نقصد بذلك بالنسبة إلى الطريق. ما لم يذكر غير ذلك، فإنّ السرعة جميعها المشروحة في هذه الكتاب هي بالنسبة إلى سطح الأرض. إذن، فالسّرعة نسبيّة.

■ **نقطة فحص**

تتحرك بعوضة جائعة مع النسيم بسرعة 3 م/ث وهي تشاهدك جالسًا على أُرجوحة. ما سرعتها؟ وفي أيّ اتجاه تحلّق فوقك لكي تتناول غذاءها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

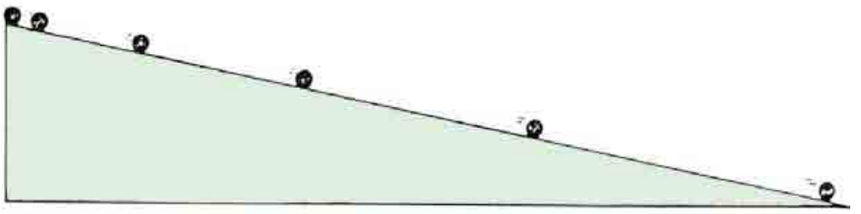
يجب أن تحلّق البعوضة في اتجاهي مَعَ الريح. فعندما تكون فوقي مباشرة يجب أن تطير بسرعة 3 م/ث عكس اتجاه الريح لكي ترفرف ساكنة. وما لم تلسع البعوضة جلدي بقوة عند هبوطها، فإنه يجب عليها الاستمرار في طيرانها بسرعة 3 م/ث لكي تبتعد عن حالة الإجهاد. وهذا يبين لماذا تكون الريح معيقًا فاعلًا للسعها.

الشّكل 20.1
بالرّغم من أنك قد تكون ساكنًا بالنسبة إلى سطح الأرض، إلا أنك متحرك بسرعة 100,000 كم/ساعة بالنسبة إلى الشّمس.

■ 10.1 التّسارع

تخضع معظم الأشياء المتحركة لتغيرات في حركتها. ونقول عندئذٍ إنها تخضع لتسارع. لقد كان جاليليو أول من استنبط مفهوم التّسارع، حيث طّور هذا المفهوم بتجاربه على السّطوح المائلة. لقد وجد أنّ الكرات المتدحرجة نحو أسفل سطح مائل تتدحرج أسرع وأسرع. إنّ سرعتها تتغير وهي تتدحرج. فضلا عن ذلك، فإنّ الكرات المتدحرجة تكتسب مقدار السّرعة نفسه في الفترات الزمنية المتساوية.

* عندما نذكر السّرعة من الآن فصاعدًا، فإننا نعني السّرعة القياسيّة.



الشّكل 21.1
تكتسب الكرة المتدحرجة مقدار السّرعة نفسه في فترات زمنية متساوية. الكرة تحت تأثير تسارع ثابت.

لقد عرَّف جاليليو معدل التغير في السّرعة بأنه **التّسارع (acceleration).***

التّسارع = التغير في السّرعة / الفترة الزّمنيّة

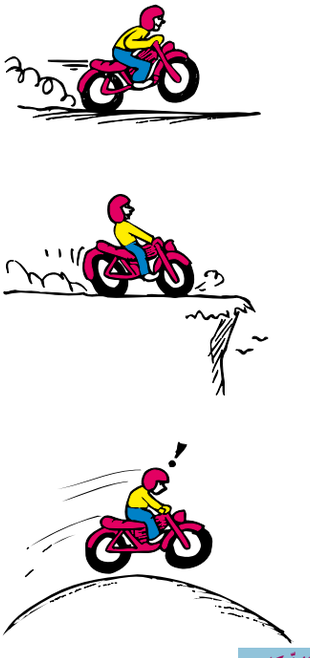
يمكن اختبار التّسارع عندما تكون في سيارة أو حافلة متحركة. عندما يضغط سائق الحافلة على دواسة الوقود، فإنّها تكتسب سرعة. ونقول عندئذٍ إنها تتسارع. وهكذا، يمكننا ملاحظة السّبب في إطلاق تسمية "مسارع" على دواسة الوقود! عندما نضغط على الكوابح، فإنّ العربة تتباطأ. ويعدّ هذا يضًا تسارعا؛ لأنّ سرعة العربة تتغير. وعندما يتباطأ شيء ما، غالبًا ما يسمى ذلك تباطؤا (*decelera-tion*).

هل يمكنك ملاحظة أنّ السّيارة لها ثلاث وسائل تغيّر بها سرعتها هي: دواسة الوقود (المسارع)، والكوابح، وعجلة المقود.

وبمراعاة أنّ سيارة متحركة تزداد سرعتها بازدياد. وبافتراض أنك زدت سرعتك في ثانية واحدة من 30 كم/ساعة إلى 35 كم/ساعة. وفي الثانية الثانية زادت السّرعة من 35 كم/ساعة إلى 40 كم/ساعة وهكذا. لقد قمت بتغيير سرعتك بـ 5 كم/ساعة في كلّ ثانية. إذن
التّسارع = التغير في السّرعة / الفترة الزمنية = 5 كم/ساعة ÷ 1 ثانية = 5 كم/ساعة.ثانية
في هذا المثال، يكون التّسارع 5 كم/ساعة.ثانية (تختصر 5 *km/h.s*).**

لاحظ أنّ وحدة الزمن تظهر مرتين؛ الأولى تعود إلى وحدة السّرعة، والأخرى للفترة الزمنية التي تتغير السّرعة خلالها. ولاحظ كذلك أنّ التّسارع ليس فقط التغير في السّرعة؛ بل إنه التغير في السّرعة لكلّ ثانية أيضا. فإذا تغيرت السّرعة أو اتجاهها أو تغير كلاهما، فإنّ السّرعة المتّجهة تتغير.

إذا انعطفت السيارة حتى ولو لم تتغير سرعتها، فإنها تكون قد تسارعت. ما السّبب في ذلك؟ يحدث التّسارع لأنّ اتجاه السّيارة قد تغيّر. ويُعزى التّسارع هنا إلى التّغير في السّرعة المتّجهة. وعليه، فإنّ التّسارع يشمل التّغيّر في مقدار السّرعة، والتّغيّر في اتجاهها أيضًا، أو التغير في كلٍّ من مقدار السّرعة واتجاهها معًا. الشّكل 22.1 يوضح ذلك.



الشّكل 22.1
نقول إنّ الجسم متسارع إذا كان هناك تغيّرًا في حالة حركته.

* يستعمل الحرّف اليوناني Δ (دلتا) غالبًا رمزا إلى "التغير في" أو "الاختلاف في" باستخدام رمز "دلتا". التّسارع $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ حيث Δv التغير في السّرعة. و Δt التغير في الزمن (الفترة الزمنية). لذا، نرى أنّ $v = at$. وهنالك تفصيل أكثر عن الحركة الخطية في الملحق ب.

** عندما نقسم كم/ ساعة على ثانية (كم/ساعة ÷ ثانية) فإنه يمكن صياغة ذلك بالشّكل الآتي:
كم/ساعة × 1/ث = كم/ساعة.ثانية (بعض الكتب المقررة ترمز إليها بالشّكل م/ث^2 = م/ث.ث = م/ث × 1/ث (والتي يمكن كتابتها أيضًا بالشّكل م/ث/ث أو م.ث$^{-2}$).

الجدول 2.1 السّرعة المكتسبة لسقوط حُرّ ومسافة السقوط

زمن السّقوط (ثانية)	السّرعة المكتسبة (م/ث)	المسافة السقوط (م)
0	0	0
1	10	5
2	20	20
3	30	45
4	40	80
5	50	125

عندما تكون فوق تل فإنّ ذلك يكسبك سرعة كوينشي جونز.

أمسك حجرًا أمام رأسك (وليس عليه!) وأسقطه. إنه يتسارع خلال سقوطه. فإذا كانت القوّة الوحيدة المؤثرة في الجسم الساقط هي قوة الجاذبية. وإنْ لم يكن هنالك أيّ تأثير لمقاومة الهواء فنقول إنّ الجسم في حالة **سقوط حرّ**. للأجسام الساقطة جميعها سقوط حر في الحيز نفسه والتّسارع نفسه. إذا سقط جسم على سطح الأرض بشكل حرّ فإنه يكتسب سرعة بمعدل 10 م/ث في كلّ ثانية. كما هو مدون في الجدول 2.1.

التّسارع = التغير في السّرعة / الفترة الزمنية = 10 م/ث ÷ 1 ث = 10 م/ث^2

إننا نقرأ تسارع السّقوط الحرّ على أنه 10 م لكلّ مربع ثانية. (بدقة أكبر 9.8 م/ ث^2). وهذا هو نفسه عندما نقول إنّ التّسارع هو 10 م في كلّ ثانية. لاحظ مرة أخرى أنّ وحدة الزمن - الثانية - تظهر مرتين؛ تظهر في المرة الأولى في وحدة السّرعة. وفي المرة الأخرى في الزمن الذي تتغير السّرعة خلاله.

■ **نقطة فحص**

تزداد سرعة سيارة من 60 كم/ساعة إلى 65 كم/ساعة في ثانيتين. في حين تتحرك دراجة هوائية من السكون إلى 5 كم/ساعة. أيهما ذات تسارع أكبر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

كلتاهما لهما التّسارع نفسه؛ لأنّ كلّا منهما يكتسب مقدار السّرعة نفسه في الفترة الزمنية نفسها. كلتاهما تتسارع بمقدار 2.5 كم/ساعه.ثانية.

لماذا يكون تسارع جميع الأجسام الساقطة بشكل حرّ هو نفسه؟ ترقّب الجواب عن هذا السّؤال في الفصل الثّالث.

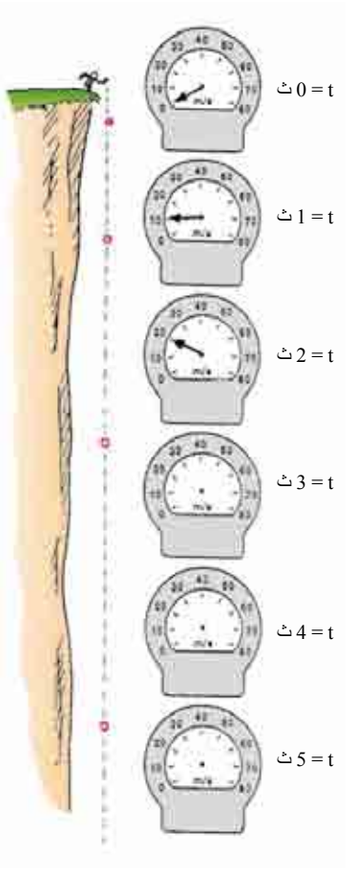
في الشّكل 23.1. يمكن تصور سقوط حرّ لصخرة مثبت فيها عداد سرعة. عندما تسقط الصخرة. فإنّ عداد السّرعة يبين أنّ سرعة الصّخرة تزداد بمقدار 10 م/ث في كلّ ثانية. هذه الكمية 10 م/ث والتي تكتسب في كلّ ثانية هي تسارع الصّخرة. السّرعة المكتسبة والمسافة المقطوعة في السّقوط* موضحة في الجدول 2.1.

* مسافة السقوط خلال السّقوط: d = متوسط السّرعة المتّجهة x الزّمن
d = [(السّرعة الابتدائية + السّرعة النهائية) / 2] x الزّمن

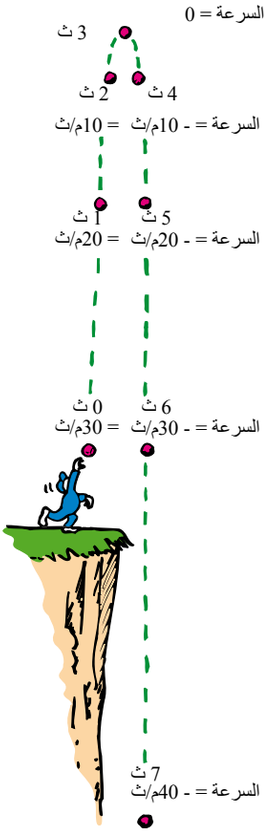
$$d = \frac{0 + gt}{2} \times t$$

$$d = \frac{1}{2}gt^2$$

(لمزيد من التفاصيل: انظر الملحق ب.)



الشّكل 23.1
تخيّل جسمًا ضخمًا يسقط ويتصل به عداد سرعة. بعد كلّ ثانية من زمن سقوط الجسم، تجد أنّ سرعته تزداد بالمقدار نفسه: 10م/ثانية. الرسم التخطيطي لا يحوي عداد سرعة عند الأزمان
t = 3 ث ، و t = 4 ث و t = 5 ث.



الشّكل 24.1
المعدل الزمني لتغير السّرعة في كلّ ثانية هو نفسه.

(تسارع السّقوط الحرّ مفصّل بشكل أكبر في الملحق ب. وفي كتاب *العلوم الفيزيائية المفاهيمية*. كتاب التمارين.) نلاحظ أنّ المسافة المقطوعة في السّقوط الحرّ بدءا من السكون تتناسب بشكل مباشر مع مربع زمن السّقوط. وعلى صورة معادلة فإنّ

$$d = \frac{1}{2}gt^2$$

حركة ما نحو الأعلى ونحو الأسفل موضحة في الشّكل 24.1. الكرة تترك يد الرامي بسرعة 30 م/ث. وتسمى هذه السّرعة السّرعة الابتدائية. في الشّكل يتم استخدام ما هو متفق عليه + نحو الأعلى و – نحو الأسفل. الإشارة السالبة لقيم السّرعة نحو الأسفل تشير إلى الاتجاه نحو الأسفل. الأكثر أهمية هو ملاحظة أنّ فترات المواقع في الثانية الواحدة تعود إلى تغيرات السّرعة بمقدار 10 م/ث.

استخدم أرسطو المنطق ليُرَسّخ أفكاره المتعلقة بالحركة. في حين لجأ جاليليو إلى التجربة. وضح جاليليو أنّ التجربة تسبق المنطق في تفحص المعرفة. كما أنّه كان مهتمًّا بكيفية حركة الأشياء أكثر من اهتمامه بسبب حركها. أما إسحق نيوتن. فقد كان الطريق مهيأ أمامه لكي يكوّن علاقات إضافية عن مفاهيم الحركة.

زمن التحليق

يملك بعض الرياضيين والراقصين مهارات قفز كبيرة. فعندما يقفزون إلى الأعلى، يبدو أنهم معلقون في الهواء، وكأنهم يتحدّون الجاذبية. اسأل أصدقاءك لتقدير وقت التحليق لقفزة كبيرة. ما الوقت الذي يقضيه اللاعب أو اللاعبة في الهواء؟ في الأغلب، سيقضون وقتًا يتراوح بين ثانيتين وثلاث ثوان. أمّا في الواقع، فإنّ الوقت هو أقلّ من ثانية واحدة فقط. إنّ توهّم وقتٍ أطول هو واحد من مجموعة أوهام لدينا تتعلق بالطبيعة.

للناس في العادة مجموعة أوهام لها علاقة بمقدار الارتفاع العموديّ الذي يستطيع الإنسان القفز إليه. معظم زملائك في الصّفّ الدّراسيّ لا يستطيعون القفز أعلى من 0.5 متر. هؤلاء الزملاء يمكنهم بسهولة تجاوز سياج ارتفاعه 0.5 متر. ولكن لتحقيق هذا الهدف؛ فإنّ أجسامهم سترتفع قليلا. إنّ ارتفاع السياج يختلف عن الارتفاع الذي يصل إليه "مركز الجاذبية" للشخص الذي يقوم بالقفز. كما أنّ العديد من الأشخاص يستطيعون تجاوز سياج ارتفاعه متر واحد. ولكن نادرًا ما تجد شخصًا يستطيع دفع مركز جاذبيته إلى ارتفاع متر. حتى أنّ بطل لعبة كرة السلة "مايكل جوردن" لم يستطع رفع مركز جاذبيته لأكثر من ارتفاع 1.25 م على الرغم من أنه يستطيع القفز إلى أعلى من السلة التي ارتفاعها أكثر من 3 أمتار.

إنّ أفضل طريقة لقياس قابلية القفز تتم بالقفز العموديّ. قف وواجه الجدار، واجعل قدميك ملتصقتين بالأرض وذراعيك ممدودتين إلى الأعلى. ضع إشارة على الجدار لتبيّن المدى الذي يمكنك تحقيقه ثم اقفز. ضع إشارة أخرى تشير إلى أقصى ارتفاع يمكنك تحقيقه. المسافة بين هاتين الإشارتين تقيس مقدرتك على القفز العموديّ. إذا كانت هذه المسافة أكثر من 0.6 م فأنت متميّز.

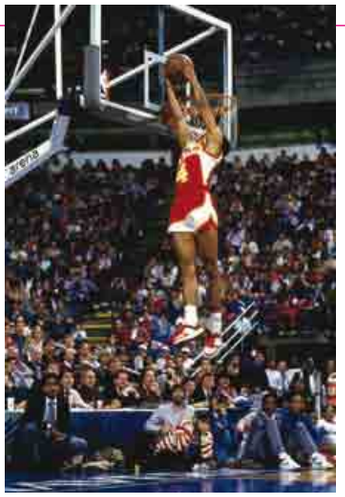
هنا الفيزياء. عندما تقفز إلى الأعلى، فإنّ قوة القفز تؤثر فقط عندما تكون قدماك ملامستين للأرض. كلما زادت هذه القوّة، زادت قوة الإقلاع. وبالتالي، فإنّ هذا يؤدي إلى قفزة أعلى. وفي اللحظة التي تغادر قدماك الأرض، فإنّ سرعتك العمودية تنخفض مباشرةً بمعدل ثابت g، وهو 10 م/ث^2. وعندما تصل إلى أقصى ارتفاع فإنّ سرعتك العمودية تساوي صفرًا. بعد ذلك، فإنك تبدأ الهبوط، وسرعتك في الهبوط تزداد تمامًا بالمعدل g نفسه. إذا هبطت بالوضعية نفسها التي أقلعت بها فإنّ زمن إقلاعك مساوٍ تمامًا لزمن سقوطك؛ وبالتالي فإنّ زمن التحليق مساوٍ لزمني الصّعود والهبوط معًا. وفي أثناء فترة التحليق، لا تؤثر أيّ حركة من حركات اليدين أو القدمين في طول فترته.

وكما هو مشار إليه في الملحق ب، فإنّ العلاقة بين زمن الصّعود أو زمن الهبوط مع الارتفاع العمودي يُحسب بالعلاقة التالية:

$$d = \frac{1}{2} g t^2$$

إذا كان الارتفاع العمودي d معلومًا، فإنّ العلاقة يمكن ترتيبها بحيث تصبح:

$$t = \sqrt{\frac{2d}{g}}$$



إحدى الملاحظات المهمة أنه لا يوجد أيّ لاعب سلة استطاع تجاوز 1.25 م كارتفاع عموديّ. ولمعرفة الوقت الذي استغرقه اللاعب مرتفعًا عن الأرض؛ دعنا نستخدم 1.25م بدلا من d، وكذلك قيمة g الدقيقة ألا وهي 9.8 م/ث^2. لمعرفة زمن الصعود أو زمن الهبوط؛ نصف زمن التحليق (مسار واحد). فنحصل على

$$t = \sqrt{\frac{2d}{g}} = \sqrt{\frac{2(1.25)_{\text{m}}}{9.8_{\text{m/s}^2}}} = 0.50\text{s}$$

ضاعف هذا الزمن (لأنّ هذا الزمن هو زمن اتجاه واحد صعودًا أو هبوطًا) لتجد أنّ زمن التحليق الكليّ هذا 1 ثانية يتجاوز الرقم القياسيّ لأفضل الرياضيين. لقد ناقشنا الحركة العمودية، ولكن ماذا عن القفز السّريع؟ وكما سنرى في الوحدة الرابعة، فإنّ زمن التحليق يعتمد فقط على السّرعة العمودية للاعب لحظة القفز. عندما يكون اللاعب في حالة قفز في الهواء، فإنّ سرعته الأفقية ثابتة، أما سرعته العمودية فتخضع لتسارع. الفيزياء خادعة!

ملخّص المصطلحات

القصور الذّاتيّ Inertia: الخاصية التي تمانع بها الأجسام أيّ تغيّر في حركتها.

الكتلة Mass: كمية المادة في الجسم. وبتعريف أكثر تحديدًا، هي مقياس القصور أو الركود الذي يسلكه الجسم استجابة لأيّ مؤثر يعمل على تحريكه أو إيقافه، أو أيّ تغيير في حالة حركته.

الوزن Weight: بتعبير بسيط، القوّة الناتجة عن الجاذبية على أيّ جسم. وأكثر تحديدًا، فإنه قوة الجاذبية التي يضغط بها جسم ضد السّطح الذي يحمله.

الكيلوجرام Kilogram: وحدة كتلة. كيلو جرام واحد (يرمز إليه كجم) هو لتر واحد من الماء عند درجة حرارة 4°س.

القوّة Force: بتعبير بسيط، دفع أو سحب.

النيوتن Newton: الوحدة العلمية للقوة.
الحجم Volume: مقدار الحيّز الذي يشغله الجسم.
القوّة الصّافية Net force: دمج القوى جميعها التي تؤثر في جسم ما.
الكمّيّة المتّجهة Vector quantity: كمية يلزم لوصفها كلّ من مقدارها واتجاهها.
المتّجه Vector: هو سهم يمثّل مقدار كمية ما واتجاهها.
قاعدة الاتّزان Equilibrium rule: المجموع المتجه للقوى المؤثرة في جسم غير متسارع. وهذا يساوي صفرًا $\Sigma F = 0$
قوة الدّعم Support force: قوة تدعم جسمًا ضد الجاذبية. وغالبًا ما تسمى *القوّة العمودية*.
الاحتكاك Friction: قوة الممانعة التي تعارض الحركة أو محاولة حركة جسم فوق جسم آخر. أو خلال مائع.
مقاومة الهواء Air resistance: قوة الاحتكاك المؤثرة في جسم ما نتيجة حركته في الهواء.
السّرعة القياسيّة Speed: المسافة المقطوعة في وحدة الزمن.
السّرعة المتجهة Velocity: سرعة جسم مع تحديد اتجاه حركته.
التّسارع Acceleration: معدل تغير السّرعة المتّجهة مع الزمن؛ التغير في السّرعة المتّجهة يمكن أن يكون في المقدار أو الاتجاه. أو كليهما. وعادة يقاس بوحدات م/ث^2.
السّقوط الحرّ Free fall: سقوط تحت تأثير الجاذبية فقط - سقوط مع إهمال مقاومة الهواء.
زمن التّحليق Hang time: الزّمن الذي ترتفع خلاله قدم شخص ما فوق السّطح خلال قفزة عموديّة.

أسئلة مراجعة

كل فصل في هذا الكتاب يختتم بمجموعة من أسئلة المراجعة والتمارين. وبعض الفصول تحوي مسائل. صممت ***أسئلة المراجعة*** *بحيث تساعدك على الفهم الشامل، والحصول على أساسيات مادة الفصل. وعليك ملاحظة أنّ الإجابة عن بعض الأسئلة موجودة خلال الفصول. تركز* ***التمارين*** *على التفكير، وليس تذكّر المعلومات. وتهدف إلى فهم التعريفات والمبادئ والعلاقات في مادة الفصل. وفي حالات متعددة يكون الاهتمام بتمارين محددة لمساعدتك على تطبيق الأفكار الفيزيائية في حالات مألوفة. إذا استطعت فقط تغطية بعض الفصول في هذا الكتاب، فمن المتوقع منك الإجابة عن بعض التمارين لكلّ فصل. ويجب أن تكون الإجابات جملا كاملة مع تفصيلات أو رسومات عندما تكون قابلة للتطبيق. إنّ وجود عدد كبير من التمارين يترك لمدرسك خيارات متعددة من الواجبات. أما* ***المسائل*** *فتكون تمارين ذات أساس رياضيّ حيث تساعد الحسابات على استيعاب المفاهيم.*

1.1 أرسطو (Aristotle) والحركة

1. ما اعتقاد أرسطو فيما يتعلق بالسّرعة النّسبيّة لسقوط أجسام ثقيلة وأخرى خفيفة؟
2. هل اعتقد أرسطو أنّ القوى ضرورية لاستمرار حركة الأجسام المتحركة، أم اعتقد أنه بمجرد حركتها فإنها تُحرّك نفسها؟

2.1 مبادئ جاليليو في القصور الذاتي

3. ما فكرة أرسطو التي لم يؤيدها جاليليو من خلال تجارب السّطح المائل؟
4. أيّ طريقتي جاليليو سادت في نشر المعرفة: الفلسفيّة أم التجريبيّة؟
5. ما الاسم الذي أعطي للخاصية التي تقاوم بها الأجسام التغيرات في حركتها؟

3.1 الكتلة ـ مقياس القصور الذّاتيّ

6. أيّ مما يلي يعتمد على الموضع: الوزن أم الكتلة؟
7. أين يكون وزنك أكبر: على الأرض أم على القمر؟ وماذا عن كتلتك؟
8. ما وحدات القياس لكلّ من الوزن والكتلة؟
9. إذا كان وزن كيلوجرام واحد 9.8 نيوتن على الأرض. فهل وزنه على القمر أكثر أم أقلّ ؟

4.1 القوّة المحصّلة

10. ما القوّة المحصّلة على صندوق يُدفع بقوة 50 نيوتن في اتجاه اليمين، وبقوة 20 نيوتن في اتجاه اليسار؟
11. ما الكميتان الضّروريتان لأيّ كمية متجهة؟

5.1 قانون الاتّزان

12. ما القوّة التي تنشأ في حبل نتيجة سحبه من نهايتيه في اتجاهين متضادين؟
13. ما مقدار الشد الناشئ في حبل عموديّ يحمل كيسًا من التفاح وزنه 20 نيوتن وهو في حالة سكون؟
14. ماذا تعني $\Sigma F = 0$ ؟

6.1 قوة الدّعم

15. لماذا تسمى قوةُ الدّعم القوّة العمودية غالبًا؟
16. عندما تزن نفسك على ميزان، فكيف تعمل قوة الدّعم المؤثرة فيك من الميزان بالمقارنة مع قوة الجاذبية بينك وبين الأرض؟

7.1 الاتّزان التّحريكيّ

17. كرة بولنج ساكنة، وكرة أخرى مماثلة تتدحرج أسفل مسار مائل بسرعة ثابتة. أيّهما في حالة اتزان؟ أم أنّ كلتيهما في حالة اتزان؟ وضّح إجابتك.
18. إذا سُحب جسمٌ بسرعة ثابتة، فكيف تعرف مقدار الاحتكاك المؤثر فيه مقارنةً بقوة السحب؟

8.1 قوة الاحتكاك

19. كيف يؤثر اتجاه قوة الاحتكاك مقارنة بالسّرعة لجسم منزلق؟
20. إذا دفعت قطعة أثاث ثقيلة نحو اليمين بحيث انزلقت، فما اتجاه الاحتكاك عليها؟
21. افترض أنك دفعت قطعة أثاث ثقيلة نحو اليمين، ولكن ذلك لم يكن كافيًا لكي تنزلق. فهل هنالك قوة احتكاك تؤثر فيها؟

9.1 السرعتان؛ القياسيّة والمتّجهة

22. ميّز بين السرعتين: القياسيّة والمتّجهة.
23. لماذا نقول إنّ السّرعة المتّجهة هي متجه، أما السّرعة القياسيّة فلا؟
24. إلامَ يشير مقياس السّرعة في العربة: إلى متوسط السّرعة أم إلى السّرعة اللحظية؟
25. كيف يمكنك أن تكون ساكنًا ومتحركًا بسرعة 100,000 كم/ساعة في الوقت نفسه ؟

10.1 التّسارع

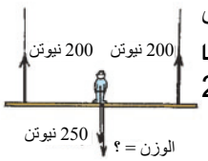
26. ميّز بين السّرعة المتّجهة والتّسارع.
27. ما تسارع جسم يتحرك بسرعة ثابتة؟ وما القوى المحصّلة المؤثرة فيه في هذه الحالة؟
28. ما تسارع جسم يسقط سقوطًا حرًّا على سطح الأرض؟

تمارين

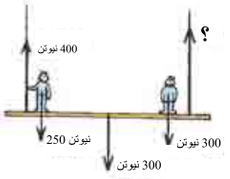
● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

لا تنزعج من عدد التمارين الكبير في هذا الكتاب. إذا كان مقررك يتطلب تغطية عدد من الفصول من هذا الكتاب فإنّ مدرّسك سيحدّد بعض التمارين فقط من كلّ فصل.

1. ● تتحرك الكويكبات في الفضاء لبلايين السنين. ما الذي يجعلها في حركة مستمرة؟
2. ● يحمل مسبار (مجسّ) الفضاء صاروخًا إلى الفضاء الخارجي. ما الذي يجعل المسبار يستمر في حركته بعد أن يترك الصاروخ؟
3. ● تتباطأ كرة البولنج المتدحرجة على مسارها تدريجيًا. كيف فسّر كلّ من أرسطو وجاليليو هذه الملاحظة؟
4. ● ما فكرة أرسطو طاليس التي عارضها جاليليو في تجربة برج بيزا المائل بتجاربه على السّطح المائل؟
5. ● عندما تتدحرج كرة على سطح مائل نحو الأسفل، فإنها تكتسب سرعة بسبب الجاذبية. ولكن عندما تتدحرج نحو الأعلى على السّطح المائل، فإنها تخسر سرعة بسبب الجاذبية. لماذا لا تقوم الجاذبية بدور عندما تتدحرج الكرة على السّطح الأفقيّ؟
6. ● ما الكمية الفيزيائية التي تقيس مقدار القصور الذّاتيّ لجسم ما؟
7. ● أيّهما يملك كتلة أكبر: 2 كجم من صوف وسادة، أم قطعة صغيرة من الحديد ذات 3 كجم؟ أيهما أكبر حجمًا؟ لماذا تختلف إجاباتك؟
8. ● هل يفقد الشخص الذي يتبع حمية كتلةً أم وزنًا؟
9. ● أجرى هيويت تجربة عملية في غرفة الصف وذلك عندما استلقى على ظهره، في حين وُضع سندان حداد على صدره. قام مساعد هيويت بالضرب على السندان بشاكوش قويّ، ومع ذلك لم يتأذّ هيويت. ما وجه الشبه بين الفيزياء في هذه التجربة وتلك الموضحة في الشّكل 8.1؟
10. ● ما كتلتك بالكيلوجرامات؟ ما وزنك بالنيوتن؟
11. ● قوة الجاذبية على القمر (1/6) قوة الجاذبية على الأرض فقط. ما وزن جسم على القمر إذا كانت كتلته 10كجم على الأرض؟
12. ● يبين الشّكل سقالة دهان في حالة اتزان ميكانيكي. والشخص الذي يقف عند منتصفها يزن 250 نيوتن، والشد في كلّ من الحبلين 200 نيوتن. ما وزن السّقالة؟

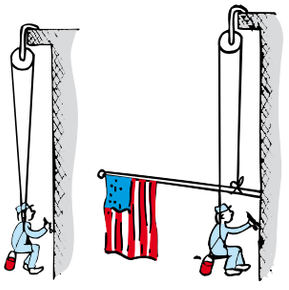


13. ■ سقالة تزن 300 نيوتن، ويقف فوقها عاملا دهان: أحدهما يزن 250 نيوتن، والآخر 300 نيوتن، كما في الشّكل. إذا كانت قراءة الميزان الأيسر 400 نيوتن، فماذا يجب أن تكون قراءة الميزان الأيمن؟



14. ■ نيل نيوتن متعلق بنهايتي حبل، وفي حالة سكون كما في الشّكل. ماذا يجب أن تكون قراءة الميزان مقارنة مع وزنه؟

15. ■ يتأرجح هاري "عامل الدهان" سنة بعد أخرى على كرسي متأرجح. إذا كان وزنه 500 نيوتن، والحبال المجهولة لها نقطة قطع عند 300 نيوتن. لماذا لا ينقطع حبل التعليق المربوط به كما في الشّكل التالي؟ في أحد الأيام، كان هاري يدهن بالقرب من قاعدة سارية علم. وبهدف التغيير، قام بربط النهاية الحرّة للحبل مع قاعدة السارية بدلا من الكرسي المتأرجح، كما في الشّكل الأيمن. لماذا اقتربت نهاية رحلة هاري مبكرًا؟



16. ● إذا انزلق لاعب هوكي على الجليد بسرعة ثابتة، فهل يكون في حالة اتزان ميكانيكيّ؟ لماذا؟ وإن كان الجواب بالنفي فلماذا؟

17. ● إذا كنت تدفع أفقيًا عربة تحمل طاولة مكتبك بحيث انزلقت العربة على السّطح واكتسبت سرعة قليلة، فقارن بين الاحتكاك المؤثر في العربة وقوة دفعك.

18. ● عندما تضع كتابًا على طاولة، فإنّ الطاولة تؤثر للأعلى بقوة في الكتاب. لماذا لا تجعل قوةُ دفع الطاولة على الكتاب إلى الأعلى الكتابَ يرتفع عنها ؟

19. ■ إبريق فارغ وزنه W موضوع على طاولة. ما القوّة الداعمة التي تؤثر من الطاولة في الإبريق؟ وما قوة الدّعم المؤثرة عندما يُملأ الإبريق بماء وزنه W؟

20. ● لكي تحرّك خزانة ثقيلة على أرضية أفقية وبسرعة ثابتة، فإنك تؤثّر بقوة أفقية مقدارها 600 نيوتن. هل قوة الاحتكاك المؤثرة في الخزانة تكون أكبر من 600 نيوتن، أم أقلّ، أم تساويها ؟ وضّح إجابتك.

21. ● افترض أنّ طاولتك داخل غرفة نومك وفي حالة سكون. إذا بدأت أنت وصديقك برفعها، فهل تزيد القوّة الداعمة من الأرض على الطاولة؟ أم تقلّ؟ أم تبقى ثابتة؟ ماذا يحدث للقوة الداعمة على قدمك وكذلك على قدم صديقك؟

22. ● صحّح كلام صديقك الذي يقول: "عربة تدور حول منحنى دائريّ بسرعة متجهة ثابتة 100كم/ساعة".

23. ● ما سرعة الاندماج عندما تصطدم سيارة سرعتها 100كم/ساعة بمؤخرة سيارة أخرى تسير بسرعة 98 كم/ساعة وفي الاتجاه نفسه؟

24. ● أنت موجود داخل سيارة تتحرك بسرعة معروفة، وتلاحظ سيارة أخرى تتحرك في اتجاهك وبالسّرعة نفسها لسيارتك. فما سرعة اقتراب السّيارة بالنسبة إليك؟ قارن ذلك بسرعة سيارتك.

25. ● يقود هاري هوتشوت قاربا خفيفا يجري في ماء ساكن بسرعة 8 كم/ساعة. ما مدى نجاحه في قيادة هذا القارب في نهر يجري بسرعة 8 كم/ساعة، وفي عكس اتجاه حركة القارب؟

26. ● افترض أنّ جسما يرتبط به عداد سرعة ويسقط بشكل حرّ. ما مقدار الزّيادة في سرعة سقوطه بعد كلّ ثانية من السّقوط؟

27. ● في التّمرين السّابق، إذا كان الجسم يرتبط به عداد قياس المسافة، فما المعادلة الأكثر مواءمة والتي تعطي المسافة المقطوعة في الثانية الواحدة؟ هل تكون قراءة المسافة هي نفسها، أم تختلف للثواني المتتابعة؟ وضّح.

28. ● إذا قذف لاعبٌ الكرةَ عموديًا إلى الأعلى، فما مقدار تناقص سرعتها في كلّ ثانية خلال ارتفاعها؟ مع افتراض عدم وجود مقاومة للهواء، ما مقدار تزايد سرعتها في كلّ ثانية خلال سقوطها؟ ما الزمن اللازم خلال ارتفاعها؟ وما الزمن اللازم لهبوطها؟

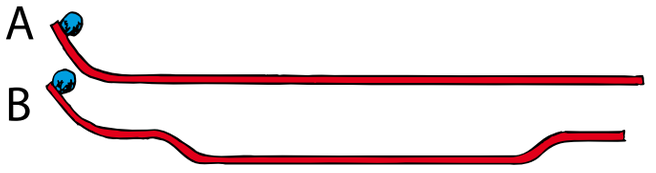
29. ■ يجلس شخص عند حافة منحدر (الشّكل 24.1) يرمي كرة أفقيًا بسرعة ما، وكرة أخرى عموديًا نحو الأسفل بالسّرعة نفسها. بإهمال مقاومة الهواء، أيّ الكرتين يكون لها سرعة أكبر عندما تصطدم بالأرض؟

30. ● ما تسارع سيارة تتحرك بسرعة ثابتة 100كم/ساعة خلال 100 ثانية؟ اشرح إجابتك وبيّن لماذا يكون هذا السّؤال تمرينا في قراءة متأنيّة كما هو في الفيزياء أيضًا.

31. ● يقول يعقوب: إنّ التّسارع هو كيفية سرعة مسيرك. أما كاتلين فتقول: إنّ التّسارع هو كيفية الحصول على سرعة أكبر بشكل أسرع. أي القولين يعدّ صحيحًا؟

32. ● يسقط جسم سقوطًا حرًا من السّكون، ما تسارعه في نهاية الثانية الخامسة من سقوطه؟ وفي نهاية الثانية العاشرة؟ وضّح إجابتك (ميّز بين السّرعة والتّسارع).

33. ■ كرتان A وB، تركتا تسقطان معًا من السّكون عند النهاية اليسرى لمسارين لهما الطّول نفسه كما في الشّكل. أيّ الكرتين تصل نهاية المسار أولا؟



34. ■ بالرجوع إلى المسارين أعلاه.

(أ) هل تتدحرج الكرة B أسرع على الجزء السّفليّ من المسار B من تدحرج الكرة A على المسار A ؟

(ب) هل السّرعة المكتسبة من الكرة B المتحركة أسفل الجزء الإضافي المنخفض من المسار، تكون نفس الجزء المفقود من السّرعة عند ارتفاعها في نهاية المسار الأيمن – هل هذا يعني أنّ كلتا الكرتين A وB لهما السّرعة نفسها عند نهاية كلا المسارين.

(ج) على المسار B، هل يكون متوسط سرعة الانحدار نحو الأسفل، أو الارتفاع إلى الأعلى هو متوسط سرعة الكرة A نفسه خلال الزمن نفسه؟

(د) عمومًا، أيّ الكرتين A وB لها متوسط سرعة أكبر؟ (هل ترغب في تغيير إجابتك للمسألة السّابقة؟).

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● أوجد القوّة المحصّلة الناجّة عن قوة 30 نيوتن وقوة 20 نيوتن فيما يلي:
(أ) كلتا القوتين تؤثران في الاتجاه نفسه.
(ب) القوتان في اتجاهين متعاكسين.
2. ● تلزم قوة أفقية مقدارها 100 نيوتن لدفع قطعة أثاث على سطح بسرعة ثابتة.
(أ) ما القوّة المحصّلة المؤثرة في قطعة الأثاث؟
(ب) ما مقدار قوة الاحتكاك المؤثرة في قطعة الأثاث المنزلقة؟
(ج) ما مقدار قوة الاحتكاك المؤثرة عندما تكون قطعة الأثاث ساكنة على السّطح الأفقي؟
3. ● احسب متوسط سرعة كرة تنس تقطع طول الملعب كاملا، 24 م في 0.5 ث.
4. ● احسب متوسط السّرعة المتّجهة (بوحدة الـ كم في السّاعة) التي يركض بها لاري في اتجاه مخزن يبعد 4 كم، ويقطع المسافة خلال 30 دقيقة.
5. ● احسب تسارع كرة تبدأ الحركة من السكون وتتدحرج أسفل منحدر، وتكتسب سرعة 25 م/ث في خمس ثوان.
6. ● وسِّع الجدول 2.1 (حيث قيمة من 0 ث إلى 5 ث) إلى (0 ث إلى 10 ث)، مع افتراض عدم وجود مقاومة هواء.
7. ■ تقود ليليان دراجتها الهوائية على طريق مستقيم بمتوسط سرعة متجهة v.
(أ) اكتب معادلة توضح المسافة التي تقطعها مع الزمن t.
(ب) إذا كانت سرعة ليليان المتوسطة هي 7.5 م/ث خلال 50 دقيقة، فبيّن أنّ المسافة المقطوعة هي 2300 م.
8. ■ تتحرك سيارة سباق على مسار دائريّ نصف قطره r.
(أ) اكتب معادلة متوسط سرعة السيارة عندما تقطع دورة كاملة في زمن t.
(ب) إذا كان نصف قطر المسار 400 م، والزّمن اللازم لإتمام دورة هو 40 ث، فبيّن أنّ متوسط السّرعة على المسار هو 63 م/ث.
9. ■ تقذف كرة نحو الأعلى بسرعة ابتدائية 30 م/ث.
(أ) بيّن أنّ الزّمن اللازم لكي تصل الكرة أعلى نقطة هو ثلاث ثوان.
(ب) بين أنّ الارتفاع الذي تصل إليه هو 45 م (أهمل مقاومة الهواء).
10. ■ تقذف كرة نحو الأعلى بسرعة كافية بحيث تمكث في الهواء عدة ثوان.
(أ) ما سرعة الكرة عندما تصل أعلى نقطة؟
(ب) ما سرعتها قبل ثانية واحدة من وصولها أعلى نقطة؟
(ج) ما التغير في سرعتها خلال تلك الثانية؟
(د) ما سرعتها بعد ثانية واحدة من وصولها أعلى نقطة؟
(هـ) ما التغير في سرعتها خلال تلك الثانية؟
(و) ما التغير في السّرعة المتّجهة خلال فترة ثانيتين بدءًا من ثانية قبل أعلى نقطة وحتى ثانية بعد أعلى نقطة؟ (تنويه: السؤال عن السّرعة المتّجهة وليس القياسيّة).
(ز) ما تسارع الكرة خلال أيّ فترة زمنية وعند اللحظة التي تكون عندها السّرعة صفرًا؟
11. ♦ بدءًا من السكون، التغير في سرعة جسم ما = at. وهذا يعني أنّ $v_f - v_0 = at$، أو $t = \frac{v_f - v_0}{a}$. المسافة المقطوعة من جسم ما تحسب بالعلاقة $d = v\ t$. حيث $v = \frac{v_f + v_0}{2}$. ابدأ من $d = v\ t$ وبالتعويض المناسب بيّن أنّ $d = \frac{v_f^2 - v_0^2}{2a}$.

لاحظ أنّ هذه المعادلة لا تحوي زمنا. لذا، فإنّها تستخدم في حالة عدم إعطاء الزّمن في المسألة.

12. ♦ جسيم مشحون بشحنة كهربائية، ويتسارع بانتظام من السّكون إلى سرعة v عندما يقطع مسافة X.
(أ) بيّن أنّ تسارع الجسيم $a = \frac{v^2}{2x}$.
(ب) إذا بدأ الجسيم من السّكون بحيث أصبحت سرعته 1.8×10^7 م/ث بعد أن قطع مسافة 0.10 م، فبيّن أنّ تسارع الجسيم 1.6×10^{15} م/ث^2.

أنشطة استكشافية

1. جدّتك مهتمة بتقدمك الأكاديميّ. وكمعظم الجدّات، فإنّها تملك خلفية علمية بسيطة ومن الممكن أن تشكل الرياضيات معضلة لها. اكتب لها رسالة دون استخدام المعادلات الرياضية، واشرح لها الفرق بين السّرعة والتّسارع. وأخبرها كذلك عن سبب الخلط الذي يقع فيه زملاؤك بين هذين المفهومين، مع ذكر بعض الأمثلة التي تزيل هذا اللبس.
2. قف بجانب حائط، وضع إشارة عند أعلى نقطة يمكنك الوصول إليها، ثمّ اقفز عموديّا إلى الأعلى، وضع إشارة جديدة عند أعلى نقطة تصلها. المسافة بين الإشارتين هي مسافة القفز العمودية لك. استخدمها لحساب زمن التحليق.
3. اختر أيّ طريقة لمعرفة سرعة سيرك ماشيًا وراكضًا.
4. اذهب أبعد من النشاط السابق وحاول السير في الغرفة بتسارع ثابت. (ليس سهلا!)

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا تمكنت من استيعاب هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 مما يلي. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى فصل آخر.

اختر الإجابة المناسبة فيما يلي:

1. ترتبط فكرة القصور الذّاتيّ غالبًا بـ:
   أ- الكتلة.
   ب- الوزن.
   ج- الحجم.
   د- الكثافة.
2. تكون كتلة 1 كجم من الحديد على الأرض:
   أ- أقلّ على القمر.
   ب- نفسها على القمر.
   ج- أكبر على القمر.
   د- نفسها في أيّ مكان.
3. يكون وزن 1 كجم من الحديد على الأرض:
   أ- أقلّ على القمر.
   ب- نفسه على القمر.
   ج- أكبر على القمر.
   د- نفسه في أيّ مكان.
4. عندما نقول إنّ 1 كجم يزن 9.8 نيوتن، فإننا نقصد بذلك أنّ:
   أ- 1 كجم هو 1 نيوتن.
   ب- هذا صحيح على سطح الأرض.
   ج- هذا صحيح في كلّ مكان.
   د- الكتلة والوزن هما الشيء نفسه.
5. يطبَّق قانون الاتّزان $\Sigma F = 0$، على:
   أ- أجسام وأنظمة ساكنة.
   ب- أجسام وأنظمة تتحرك بانتظام على خط مستقيم.
   ج- أ+ب.
   د- لاشيء مما ذكر.
6. إذا وقفت على ميزانين بحيث تكون كلّ قدم على ميزان، والوزن يتوزع بالتساوي، فإنّ كلّ ميزان يقرأ:
   أ- وزنك .
   ب- نصف وزنك.
   ج- صفرًا.
   د- أكثر من وزنك.
7. يرتبط الفرق بين السرعتين المتّجهة والقياسيّة غالبًا بـ:
   أ- التّسارع.
   ب- المقدار.
   ج- الاتجاه.
   د- كلّ ما ذكر.
8. عندما تزداد سرعة كرة بالمقدار نفسه في وحدة الزمن، فإنّ تسارعها:
   أ- يزداد أيضًا في كلّ ثانية.
   ب- يقلّ في كلّ ثانية.
   ج- يكون ثابتًا.
   د- لا شيء مما ذكر.
9. عندما يسقط جسم سقوطًا حرًّا، فإنه يكتسب 10 م/ث في كلّ ثانية من سقوطه. وعليه، فإنّ تسارعه يكون:
   أ- 10 م/ث.
   ب- 10 م/ث لكلّ ثانية.
   ج- أ+ب.
   د- لاشيء مما ذكر.
10. يسقط جسم سقوطا حرّا. فإذا كانت سرعته في لحظة ما 30 م/ث، فإنّ سرعته بعد ثانية واحدة تصبح:-
    أ- نفسها.
    ب- 35 م/ث.
    ج- أكبر من 35 م/ث.
    د- 60 م/ث.

إجابات إختبار الاستعداد للقراءة

أ، ج، ج، ب، د، ب، أ، ج، ب، أ

الفصل 1 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 1.21، 1.23، 1.24

أشرطة فيديو

- قانون نيوتن الأول (القصور الذاتي)
- خدعة مفرش المائدة القديمة
- لفافة ورق المرحاض
- القصور الذاتي للأسطوانة
- القصور الذاتي للسندان
- تعريف وحدة النيوتن
- تعريف السرعة
- السرعة المتوسطة
- السرعة المتجهة
- تغير السرعة المتجهة
- تعريف التسارع
- أمثلة رقمية على التسارع
- السقوط الحر: ما مقدار سرعته؟
- السقوط الحر: إلى أي بعد؟
- شرح تسارع السقوط الحر

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط

قوانين نيوتن في الحركة

2

1.2 قانون نيوتن الأول في الحركة

2.2 قانون نيوتن الثّاني في الحركة

3.2 القوى وتفاعلاتها

4.2 قانون نيوتن الثّالث في الحركة

5.2 خلاصة قوانين نيوتن الثّلاثة

لقد هيّأت أعمال جاليلو الوضع لإسحاق نيوتن الذي ولد بعد فترة قصيرة من وفاة جاليلو سنة 1642. استطاع نيوتن وهو في سنِّ الثالثة والعشرين صياغة قوانينه الثّلاثة المشهورة في الحركة وتطويرها، والتي أكملت هدم فيزياء أرسطو طاليس. وقد ظهرت هذة القوانين الثلاثة بدايةً في واحد من أشهر الكتب في التاريخ، ألا وهو Newton's Philosophia Naturalis Principia Mathematica والذي غالبا ما يبسط بعنوان Principia (المبادئ الرّياضيّة في الفلسفة الطّبيعيّة لنيوتن). يعدّ القانون الأوّل إعادة صياغة لمبدأ جاليليو في القصور الذّاتيّ، في حين يرتبط القانون الثاني بالتسارع وسببه، أمّا القانون الثالث فهو قانون الفعل وردّ الفعل.

إن قوانين نيوتن الثلاثة في الحركة هي أساس الميكانيكا في الوقت الحاضر، وهي ذاتها القوانين التي أوصلت الإنسان الى القمر.

*العنوان اللاتيني يعني"المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية".
انظر سيرة نيوتن في الصفحة 53.

1.2 قانون نيوتن الأول في الحركة

يمكنك التّفكير بالقصور الذّاتيّ بتعبير آخر على أنه "الكسول" (أو مقاومة التغيير).

يسمّى **قانون نيوتن الأول في الحركة (Newton's First law of motion)** عادة *قانون القصور الذاتي*، وهو إعادة صياغة لفكرة جاليلو.

يستمر كلّ جسم في حالتي سكونه أو سرعته المنتظمة في خط مستقيم ما لم تؤثر فيه قوة صافية.

إنّ الكلمة المفتاحية في هذا القانون هي *الاستمرار*: أي أنّ أيّ جسم ما *يستمر* بفعله مهما حصل ما لم تؤثّر فيه قوة. إذا كان الجسم ساكنا، فإنه يستمر في حالة سكونه. وقد وُضّح هذا ببراعة عند سحب غطاء طاولة من أسفل أطباق موضوعة على سطحها، بحيث بقيت هذه الأطباق في حالة سكونها الابتدائية*. ومن جهة أخرى، إذا كان جسم ما متحرّكًا، فإنه *يستمر* في حركته دون تغيير في سرعته أو اتجاهه. وهذا واضح بالنسبة إلى مسبار فضائيّ مستمر الحركة في الفضاء الخارجيّ. وتسمّى هذه الخاصيةُ للأجسام التي تقاوم التغيرات في حركتها **القصورَ الذاتيَّ (Inertia)**.

الشّكل 1.2
القصور الذاتيّ في الفعل.

■ نقطة فحص

عندما تسير عربة فضاء في مسار شبه دائري حول الأرض، فهل تلزم قوة للمحافظة على سرعة العربة العالية؟ إذا انعدمت قوةُ الجاذبية فجأة، ما هو المسار الذي ستتبعه العربة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا توجد قوة باتجاه حركة العربة؛ فالعربة تسير بسبب قصورها الذاتيّ. والقوة الوحيدة المؤثرة فيها هي قوة الجاذبية التي تؤثر باتجاه عمودي في اتجاه الحركة (باتجاه مركز الأرض). وسنرى لاحقا أنّ هذه القوة المتعامدة هي المسؤولة عن استمرار العربة في مسارها الدائريّ. إذا انعدمت قوة الجاذبية فجأة، فستتحرك العربة في خطّ مستقيم وبسرعة ثابتة (سرعة متجهة ثابتة).

القصور الذاتي ليس شكلًا من أشكال القوى، بل هو خاصية مقاومة المادة لإحداث تغيير في حركتها.

لماذا تسقط قطعة النقود في الكأسة عندما يسحب الغشاء الورقي بقوة؟

لماذا تعمل الحركة نحو الأسفل والتوقف المفاجئ للمطرقة على تثبيت رأس المطرقة؟

لماذا تعمل قوّة متزايدة تزايدًا بطيئًا إلى الأسفل على قطع الحبل المتصل مع الكرة من الأعلى أما الزيادة المفاجئة فتقطع الحبل مع الكرة من الأسفل

الشّكل 2.2
أمثلة على القصور الذاتيّ.

الشّكل 3.2
تباطؤ سريع شعر به السائق المتحرك إلى الأمام ؛ فعل القصور الذاتي!

* بالتأكيد لم يكن كوبرنيكوس أول من فكّر بأنّ الشّمس هي مركز النظام الشّمسي؛ ففي القرن الخامس على سبيل المثال، فكّر الفلكي الهندي أريابهاتا بأنّ الأرض تحيط بالشّمس وليس العكس (كما اعتقد باقي العالم).

الأرض المتحرّكة

نيكولاس كوبرنيكوس (1543 - 1473)

كما ذُكر في المقدمة، فقد تسبب العالم البولوني الفلكي كوبرنيكوس بجدل كبير في القرن السّادس عشر عندما نشر كتابًا افترض فيه أنّ الأرض تدور حول الشّمس*، معارضا بذلك الفكرة السّائدة حينذاك في أنّ الأرض هي مركز الكون. إنّ مبدأ كوبرنيكوس في اعتباره الشّمس هي مركز المجموعة الشّمسية كان نتيجة سنوات من دراسة حركة المجرات. لقد تحفظ كوبرنيكوس من نشر نظرتيه لعامّة الناس لسببين: الأول هو خوفه من الاضطهاد، لأنّ فكرته تتعارض مع الفكرة السائدة آنذاك؛ ما يعدّ هجومًا على النظام السّائد. أمّا السّبب الثّاني فهو تحفظ شخصي، حيث لم يستطع التوفيق بين فكرة حركة الأرض والأفكار السائدة حول الحركة؛ لأنّ فكرة القصور لم تكن معروفة لديه ولا لدى الآخرين من معاصريه. وفي آخر أيام حياته، وبإلحاح من أصدقائه المقرّبين، قام بإرسال مخطوطته *De Revolutionibus Orbium Coelestium*** إلى الطباعة. وقد وصلته النّسخة الأولى مما نشره يوم وفاته في 24 أيار من عام 1543.

إنّ فكرة حركة الأرض كانت موضع خلاف كبير، فوجود قوة هائلة كافية لتحريك الأرض كانت خارج تصوّر تفكير الأوروبيين مثل أرسطوطاليس، الذين لم يكن لديهم أيّ فكرة عن مبدأ القصور الذاتيّ. إحدى الحجج ضد حركة الأرض كانت التالي: افترض أنّ طائرًا موجودًا على أحد أغصان شجرة عالية، ويوجد على الأرض أسفل منه دودة سمينة. يشاهد الطائر الدودة ويسقط عموديًا ويلتقطها، وهذا مستحيل فيما لو كانت الأرض متحركة.

يجب أن تتحرّك الأرض حول الشّمس بسرعة هائلة لكي تكمل دورانها في سنة واحدة. فعندما يحلّق الطّائر في الهواء مبتعدًا عن الغصن باتجاه الأرض نحو الأسفل، تكون الدودة مندفعة بعيدا مع حركة الأرض. ومن الواضح أنّ التقاط الدوده الموجودة على أرض متحركة هي مهمة مستحيلة. حقيقة أنّ الطيور التي تقف على الغصون يمكنها إلتقاط الديدان يعدّ دليلا واضحًا على أنّ الأرض يجب أن تكون ساكنة.

الشّكل 4.2

هل يمكن للطّائر السّقوط نحو الأسفل، والتقاط الدودة إذا كانت الأرض تتحرك بسرعة 30 كم/ث؟

هل يمكن تصوّر الخطأ في هذه الحجة؟ مبدأ القصور الذاتي مفقود. عليك ملاحظة أنّ الأرض ليست هي التي تتحرك بسرعة كبيرة فقط ، ولكن الشجرة أيضًا، وغصنها، والطائر الذي يقف عليه، وكذلك الدودة في الأسفل، وحتى الهواء الموجود بينها. تبقى الأشياء المتحركة متحركة إذا لم يكن هنالك قوى تؤثّر فيها. ولهذا، عندما يسقط الطّائر عن الغصن، فإنّ حركته الجانبية الابتدائية تستمر دون تغيير، فالطّائر يلتقط الدودة دون أيّ تأثير من حركة محيطه.

نحن نعيش على أرض متحرّكة؛ فإذا وقفت بجانب حائط وقفزت إلى الأعلى، فإنّ قدميك لا تلامسان أرضية المكان. هل الحائط المتحرك يقترب باتجاهك؟ لم لا؟ إنّ هذا لا يحدث، لأنك تنتقل بالسرعة نفسها، قبل عملية القفز وفي أثنائها وبعدها. إن سرعة الأرض بالنسبة إلى الشّمس ليست هي سرعة الحائط بالنسبة إليك.

واجه الناس صعوبات مع مثل هذه الأفكار قبل أربعمئة سنة. ويعود السّبب في ذلك إلى عدم تنقلهم بوسائط نقل سريعة جدًا. بل كانوا يستخدمون وسائط نقل بطيئة كالعربات التي تجرها الخيول. كما أنّ الناس حينئذٍ كانوا أقل وعيًا بتأثيرات القصور الذاتيّ. حاليًا، عندما نقذف قطعة نقد إلى الأعلى من داخل سيارة، أو حافلة، أو طائرة متحركة بسرعة كبيرة، فإننا نلتقط قطعة النّقد عندما تسقط تمامًا كما لو أننا داخل وسيلة النقل هذه وهي ساكنة. نحن نشاهد إثبات قانون القصور من خلال الحركة الأفقية نفسها لقطعة النّقد قبل وخلال وبعد التقاطها؛ تبقى قطعة النقد معنا دائمًا.

الشّكل 5.2

إذا قذفت قطعة نقدية وأنت جالس في طائرة سريعة، فإنّها تسلك كما لو أنها في طائرة ساكنة. إنّ قطعة النقد تبقى معك بفعل القصور الذاتيّ!

* بالتأكيد لم يكن كوبرنيكوس أول من فكّر بأنّ الشّمس هي مركز النظام الشّمسي؛ ففي القرن الخامس على سبيل المثال، فكّر الفلكي الهندي أريابهاتا بأنّ الأرض تحيط بالشّمس وليس العكس (كما اعتقد باقي العالم).

** العنوان اللاتيني يعني "تطورات المناحي السماوية" لنيكولاس كوبرنيكوس.

2.2 قانون نيوتن الثّاني في الحركة

لقد كان إسحق نيوتن أوّل من حقق الترابط بين القوة والكتلة في إنتاج تسارع. وقد كان هذا أحد أهم القوانين المركزية في الطّبيعة. لقد عبَّر عنه *بالقانون الثاني في الحركة*. ينصّ **قانون نيوتن الثّاني في الحركة** على:

يتناسب التّسارع الناتج عن القوة المحصّلة على جسم ما طرديًا مع تلك القوة، ويكون في اتجاه تلك القوة المحصلة نفسها، في حين يتناسب عكسيًّا مع كتلة الجسم.

ويرمز إلى هذا بما يلي:

التسارع ~ القوة المحصلة / الكتلة

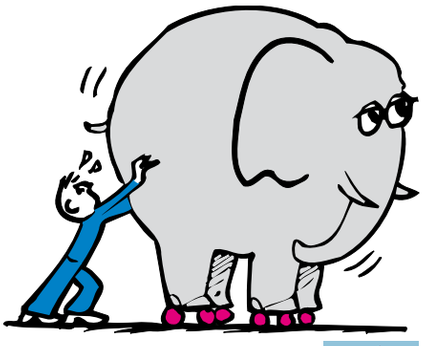
وباستخدام وحدات ملائمة مثل: النيوتن للقوة، والكيلوجرام للكتلة، والمتر لكلّ مربع ثانية (م/ث^2) للتسارع، نحصل على معادلة مطابقة:

التّسارع = القوة المحصّلة / الكتلة

وباختصار، حيث يشير a إلى التسارع، أما F فهو القوة المحصلة، وm الكتلة، فإنّ

$$a = \frac{F}{m}$$

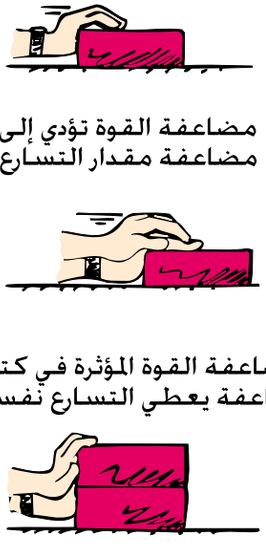
يساوي التّسارعُ القوةَ المحصلة مقسومة على الكتلة. إذا تضاعفت القوة المحصلة المؤثّرة في جسم ما فإنّ تسارع الجسم سيتضاعف. بدلا من ذلك، ومع افتراض أنّ كتلة الجسم قد تضاعفت فإنّ تسارع الجسم يقلّ إلى النصف. ولكن إذا تضاعف كلٌّ من القوة المحصلة والكتلة فإنّ تسارع الجسم لا يتغير. (هذه العلاقات موضّحة بشكل رائع في *كتاب مبادئ العلوم الفيزيائية العملية*.)



الشّكل 6.2

شكل تفاعليّ: يعتمد التّسارع على كلٍّ من مقدار قوة الدفع والكتلة المعرضة للدفع.

القوة *تغيّر* الحركة ولا تسبّبها.



الشّكل 7.2

التسارع يتناسب عكسيًّا مع القوة .

الشّكل 8.2

التسارع يتناسب طرديًا مع القوة .

■ نقطة فحص

1. عرَّفنا التّسارع في الفصل السّابق بأنّه معدّل التغير في السّرعة؛ وهذا يعني أنّ (التغير في السرعة) / الزمن = a. هل نقول الآن بدلًا من ذلك إنّ التّسارع هو نسبة القوة إلى الكتلة؛ بمعنى أنّ $a=F/m$ ؟ أيهما ؟

2. تطير طائرة جامبو بسرعة ثابتة 1000 كم/ساعة عندما تكون قوة دفع محركها ثابتة 100,000 نيوتن. ما تسارع الطائرة؟ ما قوة مقاومة الهواء للطائرة؟

3. افترض أنك تؤثر بالقوة نفسها في عربتين منفصلتين: كتلة العربّة الأولى 1 كجم، أما الثانية فكتلتها 2 كجم. أيّ العربتين يكون تسارعها أكبر؟ وكم يزيد هذا التّسارع؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. كلاهما صحيح. *يعرّف* التّسارع بأنه المعدّل الزّمنيّ لتغير السّرعة وينتج عن القوة. مقدار القوة/ الكتله (عادةً المسبب) يحدد معدل التغير في السّرعة / الزمن (عادة التأثير). وعليه، يجب تعريف التسارع أولًا، ومن ثمَّ تعريف الحدود التي تنتج التّسارع.

2. التّسارع يساوي صفرًا، كما يتّضح من السّرعة الثابتة؛ لأنّ التسارع يساوي صفرًا، وتبعًا لقانون نيوتن الثاني، فإنّ محصلة القوّة صفر، وهذا يعني أنّ قوة مقاومة الهواء يجب أن تساوي قوة الدفع. وهي 100,000 نيوتن، وتؤثّر في الاتجاه المعاكس، استنادًا إلى العلاقة الآتية: $\sum F = 0$. (لاحظ أننا لا نحتاج إلى معرفة سرعة الطائرة للإجابة عن هذا السّؤال، ولكن أنها ثابتة فقط. وهذا هو حلّنا للتسارع، وهكذا لمحصلة القوة يكون صفرًا.)

3. إنّ تسارع العربة التي كتلتها 1كجم يكون أكبر؛ ضعف تسارع العربة الثانية. والسّبب في ذلك أنّ كتلتها نصف كتلة العربة الثانية، وهذا يعني نصف مقاومتها لإحداث تغيير في حركتها.

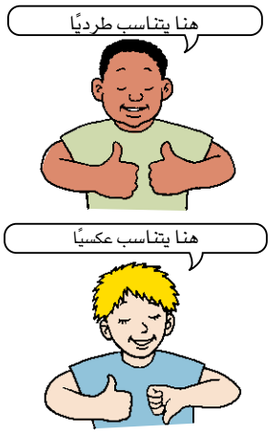
عندما يكون التّسارع g ـ السّقوط الحرّ

على الرّغم من أنّ جاليليو أوجد مبدأي القصور الذاتيّ والتّسارع، وكان أول من قاس تسارع الأجسام الساقطة، إلا أنّه لم يكن قادرًا على تفسير سقوط الأجسام ذات الكتل المختلفة بالتسارع نفسه. في حين قدّم قانون نيوتن الثاني تفسير هذا.

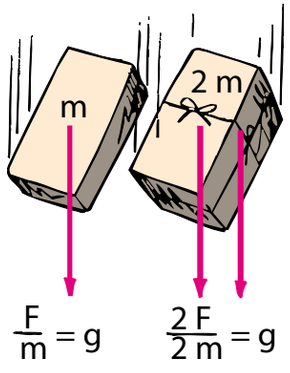
نحن نعلم أنّ الجسم السّاقط يتسارع في اتجاه الأرض بسبب قوة الجاذبية بين الجسم والأرض. وكما ذكرنا سابقًا، فإنه عندما تكون قوة الجاذبية هي القوة الوحيدة، أي عندما تكون مقاومة الهواء مهملة، عندها نقول إنّ الأجسام في حالة **السّقوط الحرّ (Free Fall)**. يكون الجسم في حالة سقوط حرّ عندما يكون تسارعه في اتجاه الأرض 10 م/ ث^2 (وبدقّة أكبر، 9.8 م/ ث^2).

كلما زادت كتلة جسم ما، ازدادت قوة الجذب بين الجسم والأرض. فعلى سبيل المثال في الشّكل 9.2، تنجذب قطعة القرميد المزدوجة بقوة جذب تعادل ضعف قوة جذب قطعة القرميد المفردة. لماذا؟ هل القطعة المزدوجة من القرميد تسقط بسرعة مضاعفة (افترض أرسطو ذلك)؟ يتضح الجواب من قانون نيوتن الثّاني؛ إنّ تسارع أيّ جسم لا يعتمد على القوة فقط (الوزن في هذه الحالة)، ولكن يعتمد كذلك على مقاومة الجسم للحركة؛ أي على قصوره الذاتيّ. ولأنّ القوة تُنتج تسارعًا، فإنّ القصور الذاتي هو المقاومة لهذا التسارع. وعليه، فإنّ مضاعفة القوة المؤثرة في ضعف القصور الذاتيّ ينتج التّسارع نفسه إذا أثر نصف القوة في نصف القصور الذاتي. وكلا التسارعين متساويان. يرمز إلى التسارع الناتج عن الجاذبية بالرمز g. ونستخدم هذا الرمز عوضا عن a للتعبير عن التّسارع الناتج عن الجاذبية فقط.

إنّ نسبة الوزن إلى الكتلة للأجسام السّاقطة بشكل حرّ تساوي الثابت g. وهذا يشبه نسبة محيط دائرة إلى قطرها، والتي تساوي الثابت π. كما أنّ نسبة الوزن إلى الكتلة هي نفسها للأجسام الثقيلة والخفيفة، تماما كنسبة المحيط إلى القطر؛ حيث إنها هي نفسها للدوائر الصغيرة والكبيرة (الشكل 10.2).



عندما يتناسب شيء ما عكسيًّا مع شيء آخر، فإنه عندما يكبر هذا الشّيء يقلّ الشّيء الآخر.



الشّكل 9.2

شكل تفاعليّ: إنّ نسبة الوزن (F) إلى الكتلة (m) هي نفسها للأجسام جميعها في الموقع نفسه. وعليه، فإنّ تسارع هذه الأجسام يكون هو نفسه عند عدم وجود مقاومة هواء.

عندما حاول جاليليو شرح سبب سقوط الأجسام جميعها بالتّسارع نفسه، فهل كان عليه معرفة القانون $a = F/m$ ؟

حساب العلوم الفيزيائيّة

حلّ مسائل

إذا علمنا أنّ كتلة جسم ما بوحدة الكيلو غرام (كجم)، وتسارعه متر لكلّ ثانية (م/ث^2)، بعدها يمكن التعبير عن القوة بالنيوتن (N). نيوتن واحد هو القوة اللازمة لجعل كتلة 1 كجم تتسارع بتسارع 1 م/ث^2. ويمكننا صياغة قانون نيوتن الثّاني كما يلي:

القوة = الكتلة x التسارع

1 نيوتن =1 كجم x 1 م/ث^2

يمكننا ملاحظة أنّ

1 نيوتن = 1 كجم. م/ث^2

النقطة بين كجم و م/ث^2 تعني أنّ الوحدات ضرب بعضها في بعض.

إذا عرفنا كميتين في قانون نيوتن الثّاني، فيمكن حساب الكمية الثّالثة.

عينة مسألة 1

ما مقدار القوة أو الدّفع الذي تنتجه طائرة كتلتها 20,000 كجم لكي يكون تسارعها 1.5 م/ث^2؟

الحلّ:

استخدم المعادلة

القوة = الكتلة x التسارع

يمكننا حساب القوة:

$$F = ma$$
$$= (20{,}000\ \text{kg}) \times (1.5\ \text{m/s}^2)$$
$$= 30{,}000\ \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$$
$$= 30{,}000\ \text{N}$$

مع افتراض أننا نعرف القوة والكتلة، ونرغب في إيجاد التسارع. مثلا، ما التّسارع النّاتج من قوة 2000 نيوتن تؤثر في سيارة كتلتها 1000 كجم؟ باستخدام قانون نيوتن الثاني، نجد أنّ

$$a = \frac{F}{m} = \frac{2000\ \text{N}}{1000\ \text{kg}}$$

$$= \frac{2000\ \text{kg}\cdot\text{m/s}^2}{1000\ \text{kg}} = 2\ \text{m/s}^2$$

إذا كانت القوة 4000 نيوتن، فسيكون التسارع

$$a = \frac{F}{m} = \frac{4000\ \text{N}}{1000\ \text{kg}}$$

$$\frac{4000\ \text{kg}\cdot\text{m/s}^2}{1000\ \text{kg}} = 4\ \text{m/s}^2$$

إنّ مضاعفة القوة المؤثرة في الكتلة نفسها يضاعف التسارع.

مسائل الفيزياء تكون عادةً أكثر تعقيدًا من هذه.

عينة مسألة 2

تتعلق هذه المسألة بالمفاهيم؛ لأنها لا تتعامل مع أرقام، ولكنها تتعامل مباشرة مع مفاهيم. فالتّركيز هنا على توضيح رموز المفاهيم أكثر من التّركيز على القيم العددية.

في مسألة العينة التالية: القوة هي F، والكتلة m، والتسارع a. تعزّز هذه الطريقة كيفية التفكير الأولي بدلالة المفاهيم والرموز التي تمثلها. الجزء (ب) يتبع ذلك وبالأرقام.

تؤثر القوة F إلى الأمام في علبة شوكولاتة كتلتها m. في حين تؤثّر قوة الاحتكاك f بالاتجاه المعاكس للحركة.

(أ) استخدم قانون نيوتن الثّاني، وبيّن أنّ تسارع العلبة هو $\frac{F-f}{m}$.

(ب) إذا كانت كتلة العلبة 4 كجم، وأنّ القوة F المؤثرة هي 12 نيوتن، وأنّ قوة الاحتكاك f هي 6 نيوتن، فبيّن أنّ تسارع العلبة هو 1.5 م/ث^2.

الحلّ:

(أ) المطلوب هو إيجاد التسارع من قانون نيوتن الثّاني. نحن نعلم أنّ $a = \frac{\text{المحصلة}}{m}$. $a = \frac{f}{m}$.

محصلة القوة هي $F - f$. وعليه، فالحلّ هو $a = \frac{F-f}{m}$ (الكميات في العلاقة جميعها ذات قيم معروفة). لاحظ أنّ هذا الجواب يمكن تطبيقه على الحالات جميعها التي تؤثر فيها قوة ثابتة تعاكسها قوة احتكاك ثابتة. وهذه تشمل إمكانيات متعددة.

(ب) ببساطة، نعوّض هنا القيم العددية حيث نحصل على ما يلي:

$$a = \frac{F-f}{m} = \frac{12.0\ \text{N} - 6.0\ \text{N}}{4.0\ \text{kg}}$$

$$= 1.5\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1.5\ \text{m/s}^2.$$

(الوحدات نيوتن/كجم تكافئ م/ث^2) لاحظ أنّ الجواب يساوي 15% من قيمة g تقريبا. فهل هذا معقول؟ لمزيد من المعلومات عن وحدات القياس والأرقام المعنوية، انظر الملحق أ.

الآن، نفهم أنّ التّسارع للجسم السّاقط سقوطًا حرًّا لا يعتمد على كتلة الجسم. صخرة كتلتها 100 ضعف كتلة حجر، وتسقط بتسارع الحجر نفسه بالرّغم من أنّ القوة على الصخرة (وزنها) هو 100 ضعف القوة (الوزن) على الحجر، وأنّ مقاومة تغيّر الحركة (الكتلة) في حالة الصخرة هو 100 ضعف تلك المقاومة في حالة الحجر. وتتعادل زيادة القوة مع زيادة الكتلة.

كرة مقذوفة عموديًا نحو الأعلى، وعند أقصى ارتفاع تصل إليه ستكون سرعتها صفرا. هل يكون تسارعها عندئذٍ صفرًا أيضًا؟ (الإجابة لا.)

■ **نقطة فحص**

تسقط قطعة نقد وريشة معًا جنبًا إلى جنب في فراغ. فهل صحيح القول إنّ قوة جاذبية متساوية تؤثر في كلٍّ منهما في الفراغ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

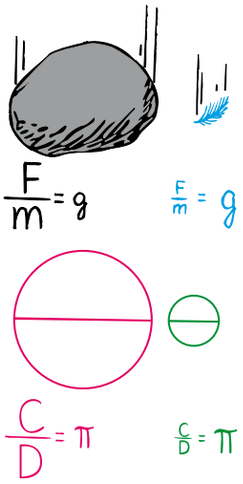
لا؛ فهذه الأجسام تتسارع بالتساوي، ليس لأنّ قوة الجاذبية عليها متساوية، ولكن بسبب تساوي نسب أوزانها إلى كتلها. وعلى الرّغم من أنّ مقاومة الهواء غير موجودة في الفراغ، إلا أنّ الجاذبية موجودة. (تعرف ذلك إذا وضعت يدك في حجرة مفرغة وهنالك دولاب أسمنتي يدور فوق الحجرة! إذا أجبت بنعم عن هذا السؤال، فعليك التفكير فيزيائيا بطريقة أفضل.

عندما يكون تسارع السّقوط أقلّ من g - السقوط غير الحر

إنّ مقاومة الهواء للأجسام السّاقطة غير مهملة على الأغلب. وعليه، فإنّ تسارع السّقوط يكون أقلّ. وتعتمد مقاومة الهواء أساسًا على عاملين هما: السرعة ومساحة السطح؛ فعندما يهبط رجل فضاء من طائرة تحلّق عاليًا، فإنّ مقاومة الهواء على جسم الرّجل تزداد بزيادة سرعة الهبوط. وتكون النتيجة نقصان التّسارع. يمكن تقليل التّسارع أكثر بزيادة مساحة السّطح. ورجل الفضاء يمكنه فعل ذلك عن طريق زيادة تأثير الهواء . كأن يمدّ نفسه كسنجاب طائر. وهكذا، فإنّ مقاومة الهواء تعتمد على كلّ من السرعة والمساحة المعرّضة للهواء.

أمّا فيما يتعلق بالسّقوط الحرّ، فإنّ القوة المحصلة المؤثرة نحو الأسفل هي الوزن فقط. ولكن بوجود الهواء، فإنّ القوة المحصلة = الوزن - مقاومة الهواء. هل تلاحظ أنّ وجود الهواء يقلّل من القوة المحصلة ؟ وأنّ نقصان القوة المحصلة تعني تقليل التّسارع؟ وهكذا، كلما هبط رجل الفضاء أسرع وأسرع، فإنّ تسارع السّقوط يكون أقلّ وأقلّ.* ماذا يحدث للقوة المحصلة عندما تصبح مقاومة الهواء مساوية للوزن؟ الجواب هو أنّ القوة المحصلة تساوي صفرًا. وهنا نلاحظ مرة أخرى أنّ $\Sigma F = 0$! وعليه، فإنّ التّسارع يصبح صفرًا. هل هذا يعني أنّ رجل الفضاء سيتوقف؟ الجواب لا. بل يعني أنّ سرعة رجل الفضاء لا تزداد. سينتهي التّسارع ولا يعود مجدّدًا. وعندها نقول إنّ رجل الفضاء وصل إلى **السّرعة الحدّيّة (Terminal Speed)**. وإذا أخذنا في الحسبان الاتجاه نحو الأسفل بالنسبة إلى الأجسام السّاقطة، فسنقول إنّ رجل الفضاء وصل إلى السّرعة المتّجهة الحدّيّة **(Terminal Velocity)**.

تتغير السّرعة المتجهة لرجل الفضاء من 150 إلى 200 كم/ساعة تقريبا، ويعتمد هذا على وزن الجسم واتجاه حركته. إنّ سقوط الشّخص الأثقل يكون أسرع لكي تحصل موازنة بين وزن الشخص ومقاومة الهواء**. ويكون الوزن الأكبر أكثر فاعلية في اختراق الهواء؛ ** لأنّ السّرعة الحدّيّة تكون أكبر للشّخص الأثقل. وبزيادة المساحة المعرضة للهواء، تقلّ السّرعة الحدّيّة. وهذا يوضّح فائدة مظلة الهبوط التي تزيد مساحة التعرض، وعندما تزداد هذه المساحة، فإنّ مقاومة الهواء ستزداد كثيرًا. وعليه تقلّ السرعة بحيث تصبح آمنة من 15 إلى 25 كم/ساعة.



الشّكل 10.2

نسبة الوزن (F) إلى الكتلة (m) تكون نفسها لصخرة كبيرة وريشة صغيرة، وبالمثل، فإنّ نسبة المحيط (C) إلى القطر (D) تكون هي نفسها لدائرة كبيرة وأخرى صغيرة.

إنّ القوة المؤثّرة الوحيدة في السّقوط الحرّ هي الجاذبية. ولكن عند وجود مقاومة الهواء، فإنّ الجسم السّاقط لا يكون في حالة سقوط حرّ.

الشّكل 11.2

في الفراغ، تسقط كلّ من الرّيشة وقطعة النقد بالتّسارع نفسه.

---

* بالرموز الرّياضيّة.

$$a = \frac{f_{\text{المحصلة}}}{m} = \frac{mg - R}{m}$$

حيث mg هو الوزن. أمّا R فهي مقاومة الهواء. لاحظ أنه عندما $R = mg,\ a = 0$ وعند عدم وجود تسارع فإنّ الجسم يسقط بسرعة ثابتة. ومع أساسيات الجبر نتابع خطوة أخرى. لنجد أنّ

$$a = \frac{f_{\text{المحصلة}}}{m} = \frac{mg - R}{m} = g - \frac{R}{m}$$

وهنا سنلاحظ أنّ التّسارع a يكون دائما أقلّ من g إذا كانت هناك مقاومة هواء R عند سقوط الجسم. وعندما تكون $R = 0$ فقط، فإنّ $a = g$.

** مقاومة الهواء لرجل الفضاء تتناسب مع مربّع سرعته.

لمعلوماتك

■ غطاسو الفضاء وكذلك السناجب السّابحة في الفضاء ليست هي فقط من يعمل على زيادة مساحة سطحها عندما تهبط. عندما يقفز ثعبان شجرة الجنة (*Chrysopelea Paradisi*) عن غصن شجرة، فإنه يضاعف سُمكَه بتسطيح نفسه. إنه يكتسب تقريبًا الشّكل المقعّر، ويقوم بعملية خداع من خلال توجه على شكل حرف S، ويقطع أكثر من 20 مترًا في القفزة الواحدة.

الشّكل 12.2
شكل تفاعليّ: المظلي الأثقل يجب أن يسقط أسرع من المظلي الأخف لكي تتوازن مقاومة الهواء مع وزنه.

لمعلوماتك

■ تعزى السرعة الحدّيّة النموذجية 160 كم/ساعة (100 ميل/ساعة) إلى حجم الطرود التي تسقط من الطائرة ووزنها. وتساوي السرعةَ نفسَها لكرة البيسبول، أو سرعة كرة التنس الأرضيّ تقريبًا. لذا، فالأجسام مثل كيس الأرز أو الحبوب يكون لها مثل هذه السّرعة الحدّيّة عندما تسقط من طائرة. ولهذا السبب، فمن النادر استخدام مظلة (*Parachutes*) عند إسقاط مثل هذه المواد الغذائية على مناطق سكنية تحتاج إلى مثل هذه المساعدات.

■ **نقطة فحص**

امرأة مظلية تقفز من طائرة هليكوبتر. إذا زادت سرعتها خلال الهواء أكثر فأكثر، فهل يزداد تسارعها؟ أم يقلّ؟ أم يبقى ثابتًا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

التّسارع سيقلّ؛ لأنّ محصلة القوة على المرأة تقلّ بزيادة السّرعة. محصلة القوة تساوي الوزن مطروحًا منه مقاومة الهواء. وبما أنّ مقاومة الهواء تزداد بزيادة السّرعة، فإنّ التّسارع سيقلّ. وبالعودة إلى قانون نيوتن الثاني فإنّ

$$a = \frac{f_{\text{المحصلة}}}{m} = \frac{mg - R}{m}$$

حيث mg وزن المظليّة، وR مقاومة الهواء للمظليّة. وبزيادة R، فإنّ محصلة القوة ستقلّ. وعليه، فإنّ a ستقلّ أيضًا. لاحظ أنه إذا أصبحت $R = mg$ فإنّ $a = 0$ أي أنّ سرعة المظليّة تصبح ثابتة.

بالتأمل في عرض تجربة سقوط قطعة النقد والريشة في أنبوب زجاجي (الشكل 11.2)، بوجود الهواء داخل الأنبوب، نلاحظ أنّ الرّيشة تسقط أبطأ بسبب مقاومة الهواء. وبما أنّ وزن الريشة قليل جدًّا، فإنها تصل سرعتها الحدّيّة بشكل سريع. هل يمكنك ملاحظة أنه لا يمكنها قطع مسافة كبيرة قبل أن تصبح مقاومة الهواء مساوية لوزنها؟ ومن جهة أخرى، فإنّ قطعة النّقد لا تحتاج إلى وقت كالرّيشة للسقوط حتى تصبح مقاومة الهواء مساوية لوزنها.

■ **نقطة فحص**

تأمل مِظليين أحدهما أثقل من الآخر، يقفزان معًا من الارتفاع نفسه، ومتساويان في الحجم.

1. أيّهما يصل السّرعة الحدّيّة أولًا؟
2. أيّهما تكون سرعته الحدّيّة أكبر؟
3. أيّهما يصل الأرض أولًا؟
4. أجب عن الأسئلة نفسها مع افتراض عدم وجود مقاومة هواء، كما على سطح القمر، ليظهر لك الاختلاف في الإجابة.

هل كانت هذه إجابتك؟

للإجابة عن هذه الأسئلة: فكّر في أنّ قطعة النّقد والرّيشة تسقطان في الهواء.

1. حيث إن الرّيشة تصل إلى سرعتها الحدّيّة بشكل سريع جدًّا، فإنّ الشّخص الأخفّ وزنا يصل إلى السرعة الحدّيّة أولا.
2. حيث إن قطعة النقد تسقط أسرع من الرّيشة خلال الهواء، فإنّ الشّخص الأثقل يهبط أسرع، وتكون سرعته الحدّيّة أكبر.
3. كما يحدث في السباق بين قطعة النقد والريشة تماما، فإنّ الشّخص الأثقل يهبط أسرع ويصل سطح الأرض أولا.
4. إذا لم تكن هنالك مقاومة هواء، فلن تكون هنالك أيّ سرعة حدّيّة على الإطلاق. لذا، فإنّ كلا الشّخصين يكونان في حالة سقوط حرّ، ويصلان سطح الأرض في الوقت نفسه.

عندما أسقط جاليليو أجسامًا ذات أوزان مختلفة من برج بيزا المائل، فعليًّا، لم تصل إلى الأرض في الوقت نفسه. إنّ هذه الأجسام تقريبًا تصل سطح الأرض معًا، ولكن بسبب مقاومة الهواء، فإنّ الجسم الأثقل يصل الأرض بوقت أقصر بمقدار جزء من الثانية قبل الجسم الأخفّ. وهذا يتعارض مع توقعات أتباع أرسطو في أنّ هناك فرقًا زمنيًا كبيرًا يلزم بين الأجسام المختلفة الأوزان. ظلّت حقيقة سلوك الأجسام السّاقطة غير مفهومة حتى اكتشاف قانون نيوتن الثّاني.

3.2 القوى وتفاعلاتها

حتى الآن، بحثنا القوة بأبسط صورها كقوة الدّفع أو السّحب. وبالمعنى الأوسع، فإنّ القوة ليست شيئًا بحدّ ذاتها، إنما تحدث تفاعلا **(Interaction)** بين شيئين؛ فعندما تدفع بأصابع يدك على حائطًا، فإنّ الذي يحدث هو شيء أكثر من مجرد دفعك له. لقد تفاعلتَ مع الحائط، والحائط كذلك أثر فيك بقوة دفع. الحقيقة إذن، هي أنّ أصابع يدك من جهة والحائط من جهة أخرى يدفع أحدهما الآخر، ودليل هذا هو انثناء أصابعك (الشكل 14.2). هاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه. إنّ زوج القوى**(Force Pair)** هذا يشكّل تفاعلًا منفردًا. وفي الواقع، فإنّك لا تستطيع دفع حائط، ما لم يُدفع الحائط بالاتجاه المعاكس. كما أنّ زوج القوى هذا يكون موجود ضمنًا؛ أي دفعك على الحائط، ودفع الحائط على يدك بالمقابل.*

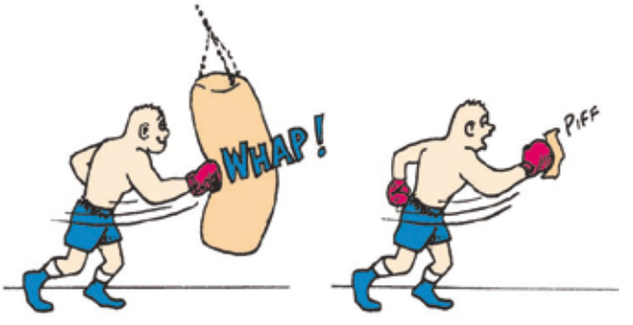
في الشكل 15.2، نلاحظ أنّ قبضة الملاكم تضرب جراب الملاكمة الثقيل. تضرب القبضة الجراب وتبعجه، في حين يؤثّر الجراب بالمقابل في القبضة (ويوقف حركتها). ومن الواضح أنّ قيم هذا الزوج من القوى كبيرة بما يكفي. ولكن، ما الذي سيحدث لو أنّ الملاكم ضرب غشاء ورقيًا؟ إنّ قبضة الملاكم هنا يمكن أن تؤثر بقوة في الغشاء الورقي كتلك القوة التي يؤثر بها الغشاء الورقيّ في قبضة الملاكم. علاوة على ذلك، فإنّ القبضة لا يمكنها التأثير بأيّ قوة ما لم يكن هناك شيء يؤثر بقوة رد فعل، وبالمقدار نفسه. لذا، فإنّ التفاعل يتطلب وجود زوج من القوى يؤثّر في جسمين مختلفين.

عندما تطرُق وتدًا بمطرقة وتدفعه داخل الأرض، فإنّ الوتد يؤثّر بقوة مساوية في المطرقة ويوقفها فجأة. كذلك عندما تقوم بسحب عربة وتعمل على تسريعها، فإنّ العربة بالمقابل تؤثر بقوة سحب فيك كما يتضح ذلك بشدّ الحبل حول يدك. إذن، هناك شيء ما يتفاعل مع شيء آخر. فالمطرقة تتفاعل مع الوتد، وأنت تتفاعل مع العربة.

الشّكل 13.2
دراسة ستروبوسكوبية (ستروبوسكوب) لكرة الجولف (اليسار)، وكرة مطاطية (اليمين) تسقطان معًا في الهواء. مقاومة الهواء مهملة بالنسبة لكرة الجولف، وتسارعها يساوي g تقريبًا. أما بالنسبة إلى الكرة المطاطية الخفيفة، فإنّ مقاومة الهواء غير مهملة، وتصل الكرة إلى سرعتها الحدّيّة سريعًا.

الشّكل 14.2
عندما تتكئ على حائط، فإنك تؤثّر فيه بقوة. وفي المقابل، فإنّ الحائط يؤثّر فيك مباشرة بقوة مساوية ومعاكسة لقوتك. ولهذا، فإنّ سقوطك غير وارد.

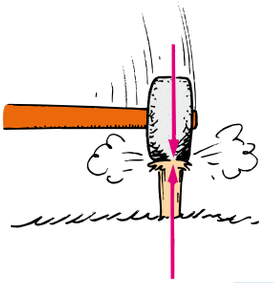
هل يؤذي الملاكم يده عندما يضرب قطعة ورقيّة؟



الشّكل 15.2
يمكنه أن يضرب حقيبة ضخمة بقوة كبيرة. ولكن بالضربة نفسها، يمكنه التأثير فقط بقوة ضعيفة في نسيج ورقي حرّ في الهواء.

* قد نتوهم أنّ الأشياء الحيّة فقط هي التي تؤثّر بقوة دفع وسحب. ولكن الصحيح هو أنّ الأشياء غير الحيّة أيضا يمكنها فعل ذلك. لذا، لاتقلق حول فكرة أنّ الحائط الجامد يدفعك. إنّه يؤثر فيك كأثر أيّ شخص آخر.

ما الذي يبذل بقوة؟ وما الذي يتأثر بها؟ أجاب إسحق نيوتن عن هذا بأنه لايوجد ما يدعى قوة "مؤثرة" أو" متأثرة". واستنتج أنّ كلا الجسمين يجب أن يتأثرا بالتساوي. فعلى سبيل المثال، عندما تؤثّر المطرقة في الوتد بقوة، فإنّ الوتد يعمل على إيقاف ذلك بالتأثير بقوة في المطرقة. إنّ القوتين متساويتان ومتعاكستان في الاتجاه. وعندما تسحب عربة فإنّ العربة تعمل بالتزامن بقوة سحب عليك. وهكذا، فإنّ هذا الزوج من القوى: قوة السحب على العربة من جهة وقوة السحب من العربة عليك من جهة أخرى، يعمل تفاعلًا فرديًّا بينك وبين العربة. وهذه الملاحظات هي التي ساعدت نيوتن على الوصول إلى قانونه الثّالث في الحركة.



الشّكل 16.2
في التّفاعل بين المطرقة والوتد، كلٌ منهما يؤثر في الآخر بمقدار القوة نفسه.

4.2 قانون نيوتن الثّالث في الحركة

ينصّ **قانون نيوتن الثّالث في الحركة** على ما يلي:

عندما يؤثر جسم بقوة في جسم آخر، فإنّ الجسم الآخر يؤثر بقوة مساوية ومعاكسة في الجسم الأول.

يمكننا تسمية القوة الأولى *قوةَ الفعل*، في حين نسمي القوة الأخرى *قوةَ ردّ الفعل*. وعليه، يمكننا التعبير عن قانون نيوتن الثّالث بالصيغة التالية:

لكلّ فعل ردّ فعل مساوٍ له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه.

ليس مهمًّا أيّ قوة نسميها فعلًا أو رد فعل؛ لأنّ النوعين عبارة عن جزأين لتفاعل واحد كما أنّه لا يمكن أن توجد إحدى القوتين دون الأخرى. وهاتان القوتان متساويتان في الشّدّة ومتعاكستان في الاتجاه. إنهما تحدثان بصورة مزدوجة في تفاعل واحد بين شيئين.

عندما تمشي، فإنك تتفاعل مع أرضية المكان. ودفعك على الأرضية يكون متزامنًا مع دفع الأرضيّة عليك. إنّ زوج القوى هذا يحدث بشكل متزامن. وبالمثل، فإنّ عجلات السيارة تؤثر بقوة دفع في الشارع، في حين يدفع الشارع بالاتجاه المعاكس على العجلات. أي أنّ العجلات والشارع يدفع أحدها الآخر. وفي السباحة، فإنك تتفاعل مع الماء عندما تدفع نحو الخلف. أمّا الماء فيدفعك إلى الأمام . أي أنك والماء يدفع أحدكما الآخر. إنّ قوى التّفاعل هي المسؤولة عن حركتنا في هذه الحالات. وهذه القوى تعتمد على الاحتكاك. فمثلا، قد لا يكون الشّخص الذي يقف على جليد قادرا على التأثير بقوة فعل، لأنّه يحتاج إلى قوة ردّ فعل لعمل ذلك؛ لا يمكن أن توجد قوة دون أخرى.

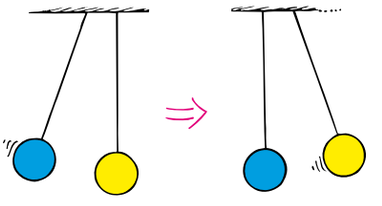
قانون بسيط لتعيين الفعل وردّ الفعل

هناك قانون بسيط لتعيين قوة الفعل وردّ الفعل. أولًا، حدّد التفاعل الشّيء الأول (الجسم A) يتفاعل مع شيء آخر (الجسم B). بعدها يمكن تعريف قوة الفعل وردّ الفعل بالشّكل التالي:

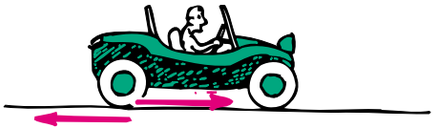
الفعل: الجسم A يؤثّر بقوّة في الجسم B.

ردّ الفعل: الجسم B يؤثّر بقوّة في الجسم A.

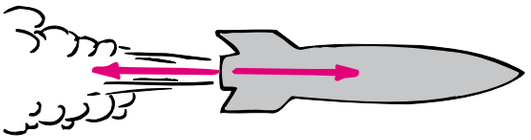
يمكننا تذكر القانون بسهولة. إذا كان الفعل من الجسم A قد أثّر في الجسم B، فيكون ردّ الفعل من B يؤثّر في A. أي أنّ A وB – ببساطة - يتبادلان الأدوار. خذ حالة يدك عندما تدفع حائطا، حيث يكون التفاعل بين يدك والحائط. نقول إنّ الفعل هو من يدك (الجسم A) التي تؤثر بقوة في الحائط (الجسم B). وعليه، يكون ردّ الفعل هو القوة التي يؤثر بها الحائط في يدك.



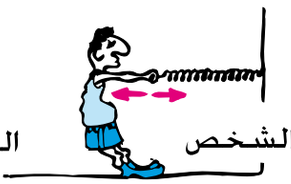
الشّكل 17.2
إنّ قوى التأثير بين الكرة الزرقاء والصفراء تُحرك الكرة الصفراء وتوقف الزرقاء.



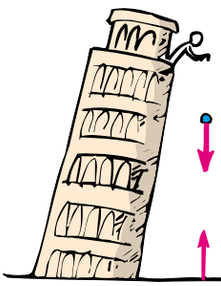
رد الفعل: الطريق تدفع عل الاطار الفعل: الإطار يدفع على الطريق



رد الفعل: الغاز يدفع الصاروخ الفعل: الصاروخ يدفع الغاز



رد الفعل: الزنبرك يسحب الشخص الفعل: الشخص يسحب الزنبرك

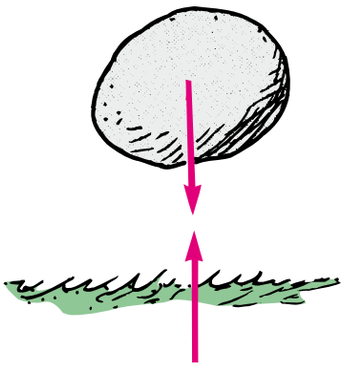


الفعل: الأرض تسحب الكرة

رد الفعل: الكرة تسحب الأرض

الشّكل 18.2
قوى فعل ورد فعل. لاحظ أنه عندما يؤثر الجسم A بفعل في الجسم B، فإن الجسم B سيؤثر ببساطة بقوة في الجسم A.

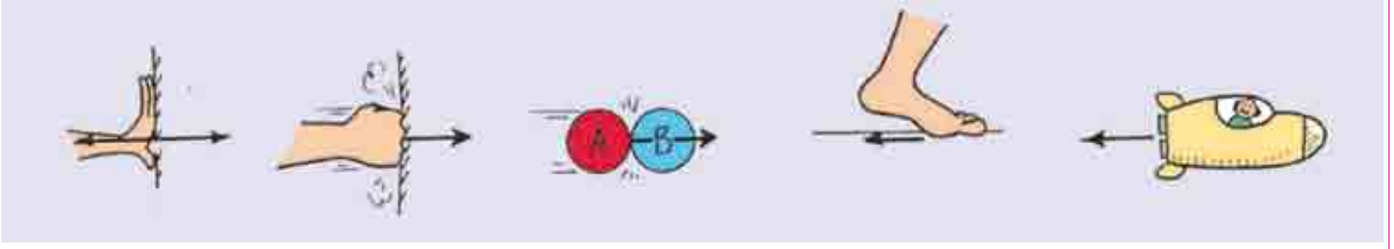
عليك معرفة أنّ قوة الفعل وردّ الفعل تؤثّران دائمًا في جسمين مختلفين. وعليه، إذا كان هناك قوتان تؤثّران في الجسم نفسه فلا يمكن اعتبارهما قوى فعل وردّ فعل حتى وإن كانتا متساويتين ومتعاكستين في الاتجاه، هذا هو القانون.

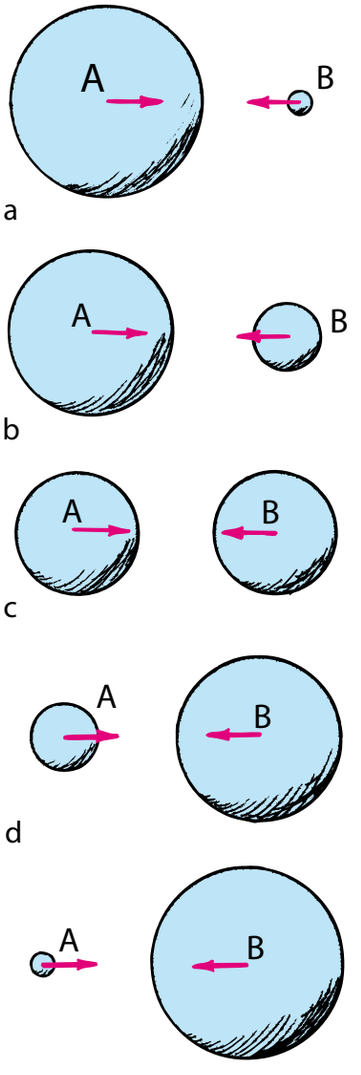


الشّكل 19.2
تُسحب الصخرة الأرض بقوة لها مقدار القوة نفسها التي تُسحب بها الصخرة نحو الأسفل من الأرض.

تدريبات – على العلوم الفيزيائيّة

نلاحظ في الرّسم الأسفل متجهين: اليد تدفع الحائط. والحائط يدفع اليد بقوة. وفي الأشكال الأخرى، فإنّ قوة الفعل فقط مبينة على الرسم. ارسم المتجهات المناسبة التي توضح قوة ردّ الفعل. هل يمكنك تحديد قوة الفعل وردّ الفعل في كلّ حالة؟





الشّكل 20.2
أيّ الكوكبين يسقط باتجاه الآخر؛ A أم B؟ هل تسارع كلّ منهما متعلق بكتلته النسبية؟

■ نقطة فحص

1. سيارة تتسارع على طريق. بين القوة التي تحرّكها.
2. بيّن قوى الفعل وردّ الفعل في حالة السّقوط الحر لجسم ما (مقاومة الهواء مهملة).

هل كانت هذه إجابتك؟

1. إنّ الطّريق هي التي تدفع السّيارة. حقا! وما عدا مقاومة الهواء، فإنّ الطريق فقط هي التي تزود السّيارة بقوة أفقية. كيف يحدث ذلك؟ إنّ عجلات السيارة التي تدور تدفع الطريق بقوة في اتجاه الخلف (الفعل). وفي المقابل، فإنّ الطّريق تؤثر بقوة دفع آنية في العجلات نحو الأمام (رد الفعل). كيف يكون ذلك!
2. لتعيين زوج قوى الفعل وردّ الفعل في أيّ حالة؛ عليك أولًا تعيين زوج الأجسام المتفاعلة. في هذه الحالة، تتفاعل الأرض مع الجسم السّاقط بسبب قوة الجاذبية. وهكذا، فإنّ الأرض تسحب الجسم السّاقط نحو الأسفل (الفعل). ومن ثمّ يأتي ردّ الفعل، وهو أنّ الجسم السّاقط يسحب الأرض بقوة نحو الأعلى. ولأنّ الأرض ذات كتلة هائلة، فإنك لا تستطيع ملاحظة تسارعها نحو الأعلى.

الفعل وردّ الفعل على كتل مختلفة

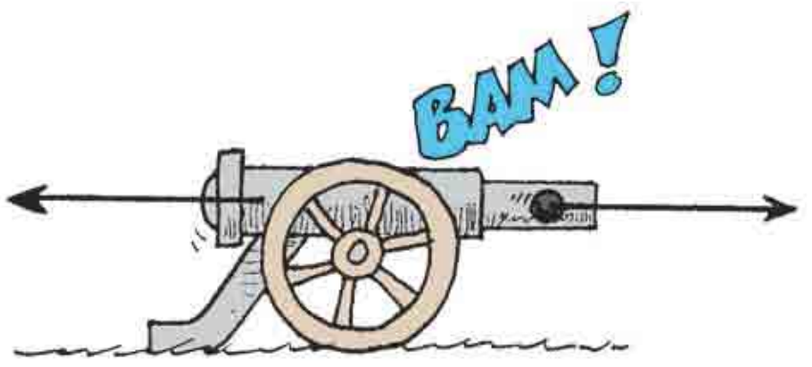
إنّ الجسم السّاقط يسحب الأرض نحو الأعلى بقوة مساوية لتلك التي تؤثر بها الأرض في الجسم السّاقط نحو الأسفل. ونلاحظ أنّ تسارع الجسم السّاقط نحو الأسفل واضح. أما تسارع الأرض نحو الأعلى فلا يمكن ملاحظته؛ لأنّه قليل جدًّا.

تأمّل الأمثلة المبالغ فيها لكوكبين في الرّسوم من (a) حتى (e) في الشّكل 20.2. القوى بين الكوكبين A و B متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتجاه في كلّ حالة. إذا كان تسارع الكوكب A لا يمكن ملاحظته في الرسم (a) فإنّ هذا التّسارع يمكن ملاحظته في الرسم (b)؛ حيث الاختلاف بين كتلتي A وB ليس كبيرًا جدًّا كما هو الحال في الرسم (a). أما في الرّسم (c) حيث لكلا الكوكبين الكتلة نفسها، فإنّ تسارع A هو نفسه للكوكب B. وهكذا، سنرى أنّ تسارع A يصبح أكثر وضوحًا في الرّسم (d). والأكثر وضوحًا في الرّسم (e). وهنا نرى بوضوح أنّه عندما تجتاز حاجزًا ما فإنّ الشّارع يرتفع قليلًا جدًّا في اتجاهك.

عندما يقذف مدفع قذيفة فإنّ تفاعلًا يحدث بينهما. إنّ القوة المفاجئة التي يؤثر بها المدفع في القذيفة تساوي تماما القوة التي تؤثر بها القذيفة في المدفع وتعاكسها في الاتجاه. وهذا هو السّبب الذي يعزى إليه ارتداد المدفع بعد عملية القذف. إلا أنّ تأثيرات هذه القوى المتساوية تختلف كثيرًا، بسبب الاختلاف في القوى التي تؤثر في كتل مختلفة. وبالرجوع إلى قانون نيوتن الثّاني،

$$a = \frac{F}{m}$$

مع افتراض أنّ F تمثل كلًّا من قوة الفعل وردّ الفعل، و m تمثّل كتلة المدفع، في حين تمثّل m كتلة قذيفة المدفع.



الشّكل 21.2
شكل تفاعليّ: القوة المؤثّرة في المدفع المرتد تساوي القوة التي تدفع قذيفة المدفع على طول أسطوانته. لماذا تندفع قذيفة المدفع بتسارع أكبر من تسارع المدفع؟

تستخدم رموز ذات أحجام مختلفة للدلالة على الكتل النسبية والتّسارعات الناتجة. وعليه، فإنّ تسارع قذيفة المدفع والمدفع نفسه يمكن تمثيلهما بالطريقة الآتية.

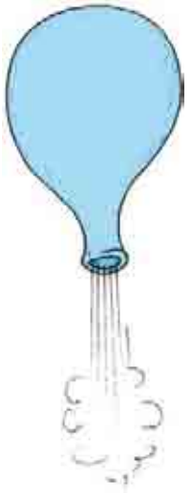
قذيفة المدفع: $\frac{F}{m} = a$

المدفع: $\frac{F}{m} = a$

وهكذا نتوصل إلى سبب أنّ التغير في سرعة قذيفة المدفع يكون كبيرًا مقارنة بالتّغير في سرعة المدفع. وهو أنّ القوة التي تؤثر في كتلة صغيرة تنتج تسارعًا كبيرًا. ولكن عندما تؤثر القوة نفسها في كتلة كبيرة فإنها تنتج تسارعًا قليلا.

يمكننا تعميم فكرة ارتداد المدفع عند إطلاقه القذيفة لفهم عملية دفع الصاروخ. لنتأمل بالونًا منتفخًا يرتدّ عندما ينفث هواءه نحو الخارج (الشكل 22.2). إذا نفث الهواء من البالون نحو الأسفل، فإن البالون يتسارع إلى الأعلى. وهذا هو المبدأ نفسه الذي يمكن تطبيقه على حركة صاروخ يرتدّ باستمرار نتيجة إطلاق الغاز. إنّ كلّ جزيء من هذا الغاز المنطلق من الصاروخ يشبه إطلاق قذيفة متناهية الصغر تنطلق من مدفع (الشكل 23.2).

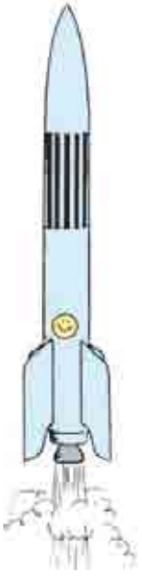
وهناك فكرة عامة يكتنفها الغموض، وهي أنّ الصّاروخ يندفع بسبب قوة دفع الغاز ضدّ الهواء المحيط. وفي الحقيقة، فإنّ التفكير في إرسال صاروخ إلى القمر كان شيئًا مستحيلًا قبل معرفتنا الصّواريخ. لماذا؟ لأنه لايوجد هواء فوق طبقة الغلاف الجوي للأرض لكي يدفع الصاروخ ضدها. وهذا يشبه القول بأنّ المدفع لا يرتدّ دون أن يكون هناك هواء تؤثر فيه قذيفة المدفع بقوة دفع. وهذا ليس صحيحًا! لأنّ كلًّا من الصّاروخ والمدفع المرتدّ يتسارع بسبب قوى ردّ الفعل المؤثّرة من المادة التي تُطلق. وليس من قوة الدّفع على الهواء. وفي الواقع، فإنّ الصّاروخ يعمل بشكل أفضل فوق طبقة الغلاف الجويّ؛ حيث لاتوجد أيّ مقاومة هواء.



الشّكل 22.2
البالون يرتد نحو الأعلى بعد أن يتخلص من الهواء.

لمعلوماتك

■ تنطلق غازات وقطع صغيرة متناثرة في الاتجاهات جميعها عندما تنفجر المفرقعة النّاريّة. ولكن عندما يحترق وقود الصّاروخ فإنّ الغازات الناتجة عن الانفجار تنطلق في اتجاه واحد.



الشّكل 23.2
يرتد الصاروخ نحو الأعلى عند تخلصه من قذائف مدفعية جزيئية.

■ **نقطة فحص**

1. أيهما يؤثّر بقوة سحب أكبر: القمر في الأرض، أم الأرض في القمر؟
2. سارت حافلة بسرعة عالية، فاصطدمت بها حشرة بشكل رأسيّ. وبسبب قوة الحافلة على الحشرة، فقد قطّعتها بحيث توزعت أجزاؤها على الحاجب الزّجاجيّ. هل القوّة المؤثّرة من الحشرة في الحافلة أكبر، أم أقلّ، أم مساوية لقوة الشاحنة المؤثّرة في الحشرة؟ هل تباطؤ الحافلة نتيجة التصادم أكبر، أم أقل، أم مساو لتباطؤ الحشرة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

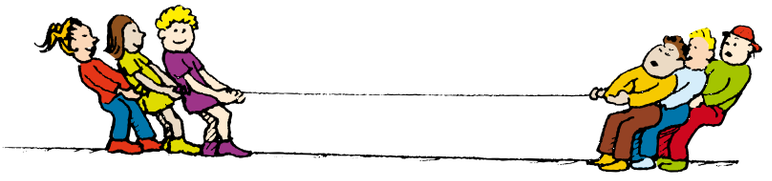
1. قوّتا السّحب لهما المقدار نفسه. وهذا يشبه السؤال: أيّ المسافتين أكبر: من نيويورك إلى سان فرانسيسكو أم من سان فرانسيسكو إلى نيويورك. وعليه، نرى أنّ الأرض والقمر يؤثّران بقوة سحب أحدهما في الآخر بالمقدار نفسه.
2. قيم القوى متساوية، حيث تمثل هذه القوى فعلا وردّ فعل، وتشكّل تفاعلًا بين الحافلة والحشرة. أما التّسارع فيختلف بشكل أكبر بسبب اختلاف الكتل. إنّ الحشرة تخضع لتباطؤ هائل مميت، في حين تخضع الحافلة لتباطؤ ضئيل جدًّا لدرجة عدم ملاحظته من قِبَل المسافرين على متنها. ولكن، يمكن ملاحظة تباطؤ الحافلة لو زادت كتلة الحشرة أكثر فأكثر بحيث أصبحت كتلتها ككتلة الحافلة.

تدريبات على العلوم الفيزيائيّة

■ شدّ الحبل

قم بإعداد لعبة شدّ الحبل بين فتية وفتيات. اعمل ذلك على أرض مصقولة وزلقة نوعا ما. إذا لبس الفتية أحذية خفيفة، فلتلبس الفتيات أحذية مطّاطيّة. ترى، من يفوز؟ ولماذا؟

(تلميح: سيفوز في هذه اللعبة من يسحب الحبل بقوة أكبر، أو من يدفع الأرض بقوة أكبر).



الشّكل 24.2

تؤثر القوة في نظام البرتقالة وتتسارع نحو اليمين.

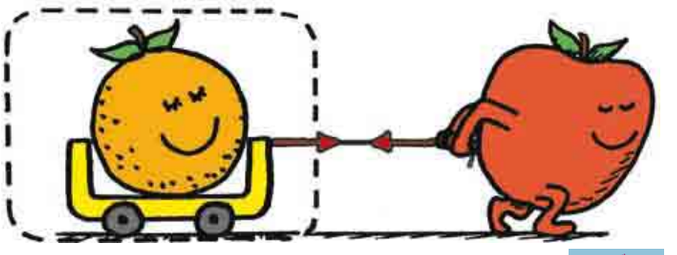
تعريف نظامك

غالبًا ما يبرز السّؤال المهم الآتي: إذا كانت قوى الفعل وردّ الفعل متساوية ومتضادة، فلم لا تلغي هذه القوى بعضها بعضا؟ وللإجابة عن هذا السؤال؛ يجب علينا أن نحدد النّظام المحيط. افترض - على سبيل المثال- نظامًا مكوَّنا من حبة برتقال (الشكل 24.2). إن الخطّ المتقطّع الذي يحيط بالبرتقالة يُغلّف النظام ويعرفه. أما المتجه الذي يظهر في الخطّ المتقطع نحو الخارج فيمثّل قوة خارجيّة على النظام. يتسارع النظام وفقًا لقانون نيوتن الثاني. ونلاحظ في الشّكل 25.2 أنَّ مصدرَ القوة تفاحةٌ، وهذا لا يغيّر من تحليلنا في شيء.

والحقيقة أنّ حبّة البرتقال تؤثر بقوة متزامنة في التفاحة التي هي خارج النظام ويمكن أن تؤثر في التفاحة (نظام آخر) ولكن ليس في البرتقالة. لا يمكنك إلغاء القوة المؤثرة في البرتقالة بتأثير القوة المؤثرة في التفاحة. و في هذه الحالة، فإنّ قوى الفعل وردّ الفعل لا يلغي بعضها بعضا.

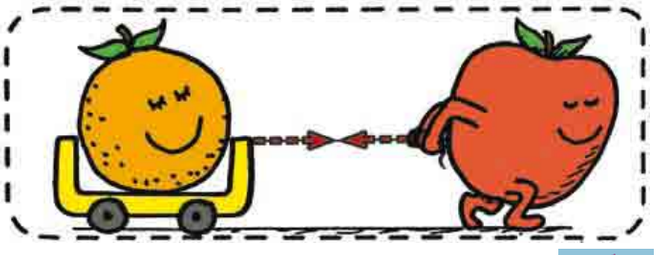
افترض الآن نظامًا أكبر يحوي كلًّا من البرتقالة والتفاحة، نلاحظ أنّ النظام محاط بخطّ متقطّع في الشّكل 26.2. لاحظ أنّ زوج القوى داخليّ ضمن نظام التّفاحة والبرتقالة معًا. إنّ هذه القوى *يلغي* بعضها بعضا؛ فهي لاتؤدي أيّ دور في تسريع النظام. لذا تلزم قوة خارجية لكي يتسارع هذا النظام. والسؤال الآن عن الدّور الذي يقوم به الاحتكاك مع الأرض (الشكل 27.2). فعندما تدفع التفاحة الأرض بقوة، فإنّ الأرض تدفع التّفاحة تلقائيًّا. أي أنّ هناك قوة خارجيّة على النّظام الذي يتسارع نحو اليمين.

قد يكون النظام ضئيلًا كالذَّرة، أو ضخمًا جدًّا كالكون.



الشّكل 25.2

القوة المؤثرة من التفاحة في البرتقالة لا تُلغى بقوة ردّ الفعل على التفاحة. وتستمر البرتقالة في تسارعها.

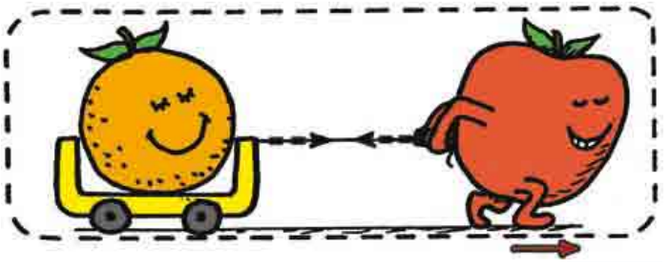


الشّكل 26.2

في النظام الأكبر المكون من البرتقالة والتفاحة، فإنّ قوّة الفعل وردّ الفعل هي قوى داخلية ويلغي بعضها بعضًا. إذا كانت هذه القوى أفقية فقط، وليست هنالك قوة خارجية، فلا توجد محصّلة تسارع على النّظام.

هناك تريليونات من القوى البينيّة بين الذّرات داخل كرة البيسبول نفسها. وتعمل هذه القوى على تماسك الكرة ببعض. ولكن هذه القوى لا تؤدي أيّ دور في تسارعها. وعلى الرّغم من أنّ كلّ قوة من القوى بين الذرات هي جزء من زوج الفعل وردّ الفعل داخل الكرة، فإنّ هذه القوى مجتمعة تساوي صفرًا، بغض النظر عن عددها. ولا بدّ من قوة خارجيّة مثل قوة مضرب لتسريع الكرة.

إذا كان هذا غير واضح فإنه يمكنك ملاحظة أنّ نيوتن نفسه قد واجه صعوبات في قانونه الثّالث.



الشّكل 27.2

تظهر قوة أفقية خارجية عندما يدفع السّطح التّفاحة (ردّ فعل لدفع التّفاحة للسّطح). نظام البرتقالة – التّفاحة يتسارع.

نقطة فحص

1. إذا كانت بطارية مركبتك غير فاعلة في يوم بارد ماطر، فإن عليك أن تدفع السّيارة لكي تبدأ التشغيل. لماذا لا يمكنك تشغيل السيارة فقط من خلال دفع واجهة المفاتيح الداخلية وبقائك مرتاحًا داخل المركبة؟
2. هل كرةُ البيسبول المتحركة بسرعة تملك قوّة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. في هذه الحالة، النظام الذي سيتسارع هو المركبة. إذا بقيت داخل المركبة ودفعت واجهة المفاتيح الداخلية، فإنّ زوج القوى الذي تنتجه هو فعل وردّ فعل ضمن النظام. وهذه القوى يلغي بعضها بعضًا. إذن لكي تتسارع المركبة يجب أن يكون هناك تفاعل بين المركبة وشيء آخر خارجي كدفعك السيارة وأنت في الخارج ودفعك للطريق مثلا.
2. لا، لأنّ القوة ليست شيئًا يمتلكه الجسم، كالكتلة، بل هي جزء من تفاعل بين جسم وآخر. يمكن أن تمتلك كرة البيسبول السريعة المقدرة على التأثير بقوة في جسم آخر عندما يحدث تفاعل بينهما، ولكنها لا تمتلك قوة تأثير في نفسها. وكما سترى في الفصول القادمة، فإنّ الأشياء المتحركة تمتلك زخمًا خطيًّا وطاقة حركة.

الشّكل 28.2

يطير البطّ بتشكيل على شكل حرف "V"؛ لأنّ الهواء المندفع نحو الأسفل عن أطراف أجنحتها يدور بشكل علويّ منتجًا تيارًا نحو الأعلى، يكون أقوى ما يمكن على أطراف أجنحتها. أما الطائر المتأخر فيحصل على دفع إضافي نحو الأعلى بوضع نفسه في مجال التيار العلويّ دافعًا الهواء إلى الأسفل لإنتاج تيار آخر للطائر الذي يليه. لذا، تكون النتيجة سربًا من الطّيور على شكل حرف V.

باستخدام قانون نيوتن الثالث، يمكننا فهم كيفية حصول طائرة الهليوكوبتر على قوة طيرانها. لقد صمّمت الصفائح ذات الشكل المنحني بحيث تؤثر بقوة في جزيئات الهواء بقوة نحو الأسفل (الفعل)، أما قوة الهواء التي تدفع نحو الأعلى (ردّ الفعل) فتدعى قوة ردّ الفعل المؤثّرة نحو الأعلى بقوة الرّفع (Lift). وعندما تساوي قوةُ الرفع وزنَ الطائرة فإنّ الطّائرة تبقى محلقة في الهواء. أما إذا كانت قوة الرفع أكبر من وزنها، فسوف ترتفع نحو الأعلى.

وهذا صحيح أيضًا للطيور والطائرات؛ فالطّيور تطير بآلية دفع الهواء نحو الأسفل. والهواء (لحظيًّا) يدفع الطّائر نحو الأعلى. وعندما يرتفع الطّائر في الهواء، فيجب أن يتشكّل جناحه بحيث يدفع جزيئات الهواء المتحركة نحو الأسفل. إنّ ميلانًا بسيطًا في أجنحة الطائرة يعمل ففعلى إزاحة الهواء المقترب نحو الأسفل، لذا يعمل على دفع الطائرة نحو الأعلى. إنّ اندفاع الهواء نحو الأسفل باستمرار يحافظ على طيران الطائرة إلى الأعلى. ويتمّ التزوّد بالهواء عن طريق حركة الطائرة إلى الأمام. وهو الذي ينشأ عن دفع الهواء عن طريق المحركات إلى الخلف. عندما تدفع المحركات الهواء إلى الخلف، فإنّ الهواء يدفع المحركات في الوقت نفسه إلى الأمام. وسنتعلم في الفصل الخامس أنّ السّطح المنحني للجناح هو غشاء هوائي يعزز قوة الدفع.

الشّكل 29.2

لا يمكنك اللمس دون تأثر عاطفي – قانون نيوتن الثالث.

وكما ترى، فإنّ قانون نيوتن الثالث مطبّق في كلّ مكان من حولنا؛ فالسّمكة تدفع الماء بزعانفها إلى الخلف، في حين يدفع الماء السّمكة إلى الأمام. والرّياح تلامس أغصان الشّجرة بلطف، وأغصان الشجرة تؤثر في الرياح في الاتجاه المعاكس منتجة أصوات صفير. إنّ القوى تفاعل بين أشياء مختلفة؛ فأيّ تلامس لا بدّ له من شيئين على الأقلّ. وليس هناك جسم ما يؤثر بقوة في لا شيء أبدًا. كما أنّ القوتين تحدثان دائمًا بشكل مزدوج، أي أنّ إحداهما تعاكس الأخرى سواء كانت دفعة عنيفة أو وخزة ناعمة.. وهكذا لا نستطيع أن نَلمس دون أن نُلمس.

5.2 خلاصة قوانين نيوتن الثّلاثة

قانون نيوتن الأول؛ قانون القصور: يميل أيّ جسم ساكن إلى البقاء ساكنًا، أما الجسم المتحرك بسرعة ثابتة فإنّه يميل إلى الاستمرار في الحركة بسرعة ثابتة في خطّ مستقيم. تسمّى الخاصيةُ التي تقاوم التّغيّر في حركة الأجسام القصورَ، وتعدّ الكتلة مقياسًا للقصور. تخضع الأجسام لتغيّرات في الحركة فقط بوجود قوة محصلة.

قانون نيوتن الثّاني؛ قانون التّسارع: عندما تؤثّر قوة محصّلة في جسم ما، فإنّ الجسم يتسارع. يتناسب التّسارع طرديًّا مع محصلة القوى، وعكسيًّا مع الكتلة. بالرموز $a \sim F/m$. يكون التسارع دائما في اتجاه القوة المحصلة. عندما يسقط جسم سقوطًا حرًّا في الفراغ فإنّ محصلة القوة هي – ببساطة- الوزن، والتسارع هو g (يشير الرمز g إلى التسارع الناتج عن الجاذبية فقط). وعندما يسقط جسم في الهواء فإنّ محصلة القوى تساوي الوزن مطروحًا منه مقاومة الهواء. ويكون التسارع في هذه الحالة أقلّ من g. إذا كانت مقاومة الهواء تساوي الوزن فإنّ التّسارع يتلاشى، وعندها يسقط الجسم بسرعة ثابتة (تسمى *السّرعة الحدّيّة*).

قانون نيوتن الثّالث؛ قانون الفعل وردّ الفعل: عندما يؤثّر جسم بقوة في جسم آخر فإنّ الجسم الآخر يؤثّر بقوة مساوية ومعاكسة في الجسم الأول. تحدث القوى بشكل مزدوج، تكون إحداها الفعل والأخرى ردّ الفعل، وتشكّل هاتان القوّتان معًا تفاعلًا بين جسم وآخر. إنّ الفعل وردّ الفعل يؤثران دائمًا في جسمين مختلفين. ولا يمكن لأيّ منهما أن ينشأ دون الآخر.

ومنذ عصر نيوتن حتى الآن، هنالك الكثير من الفيزياء الحديثة والمثيرة تمّ الوصول اليها. وعلى الرّغم من ذلك، وكما ذُكر في بداية هذا الفصل، فإنّ قوانين نيوتن كانت أساسية؛ لأنها مكّنتنا من الوصول إلى القمر لقد غيّر إسحق نيوتن رؤيتنا للكون.

الشخص الذي لديه ميول علمية لديه حاجة ملحّة إلى فهم حقيقة حركة الكون.

نشاط يدوي

عندما تُسْقَط ورقة وكتاب معًا فسيسقط الكتاب بسرعة أكبر من سرعة سقوط الورقة. لماذا؟ الجواب: لأنّ وزن الكتاب أكبر مقارنة بمقاومة الهواء التي تواجه سقوطه. إذا وضعت الورقة على السّطح السّفليّ للكتاب وأسقطتهما معًا من جديد، فليس مستغربًا أن نلاحظ سقوطهما نحو الأرض معًا في الوقت نفسه. ببساطة، الكتاب يدفع الورقة معه خلال سقوطه. الآن، كرّر التجربة بوضع الورقة على السّطح العلويّ للكتاب دون تثبيتها فيه. قارن بين تسارعهما في هذه الحالة؟ هل ينفصل أحدهما عن الآخر ويسقطان بشكل مختلف؟ هل يتسارعان التّسارع نفسه؟ جرّب ذلك واشرح ما حدث.

إسحق نيوتن (1642 - 1727) Isaac Newton

ولد إسحق نيوتن في يوم عيد الميلاد من عام 1642م، وهو العام نفسه الذي توفي فيه جاليليو *Galileo*، وقد ولد خديجًا، وبقي حيًّا بصعوبة. ولد نيوتن في مزرعة والدته في وولزثروب (*Woolsthrope*) في إنجلترا. وتوفي والده قبل عدة أشهر من ولادته، وعاش تحت رعاية أمه وجدته لأمه. وفي طفولته، لم يُظهر أيّ دلائل على النبوغ. حتى أنه ترك المدرسة وهو في الرابعة عشرة والنصف ليعمل في مزرعة والدته. ولكنه كان مزارعًا فاشلًا، وكان يفضل قراءة الكتب التي يستعيرها من جاره الصّيدلاني. لقد أحسّ خاله بالقدرات الأكاديمية للشاب إسحق فأرسله للدراسة في جامعة كامبردج؛ حيث درس فيها مدة خمس سنوات وتخرج فيها دون أيّ تميُّز.

انتشر وباء في أنحاء بريطانيا كافة، فعاد نيوتن إلى مزرعة والدته هذه المرة لإتمام دراساته. وفي المزرعة، وعندما كان عمره ثلاثة وعشرين عاما أو أربعة وعشرين عامًا، وضع أسس العمل الذي خلّد ذكراه. لقد أدت مشاهدته لتفاحة تسقط على الأرض إلى دراسة قوة الجاذبية التي تمتد إلى القمر وما أبعد أيضًا. فصاغ القانون العام للجاذبية. واخترع حساب التّفاضل والتّكامل بوصفه أداة رياضية مهمة في العلم. كما وسّع عمل جاليليو، وطوّر القوانين الأساسيّة الثّلاثة في الحركة. وصاغ كذلك نظرية عن طبيعة الضّوء؛ حيث بيّن باستخدام المناشير أنّ الضّوء الأبيض مكوّن من مجموعة من الألوان. إنّ تجاربه على المناشير هي التي قادت إلى شهرته.

وعندما خمد أثر الوباء عاد إلى كامبردج. وذاع صيته على أنّه رياضيّ من الدّرجة الأولى. حتى أن أستاذه استقال في الرّياضيّات لصالحه. فعيّن نيوتن أستاذًا للرّياضيّات (*Lucasian*). واستمرّ في هذا المنصب مدة 28 عامًا. وفي عام 1672م انتخب في الجمعية الملكية؛ حيث عرض أول تلسكوب عاكس في العالم، وهو محفوظ

في المكتبة العلمية في لندن، وقد نقش عليه: "أول تلسكوب عاكس، اخترعه السّيد إسحق نيوتن وصنعه بيده".

لم يبدأ نيوتن كتابة ما اعترف به الجميع على أنه أعظم كتاب علمي، وهو "الأصول الرّياضيّة للفلسفة التّطبيقيّة" *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* حتى سنّ 42. لقد كتب هذا الكتاب باللاتينية، وأكمله في 18 شهرًا، وظهر مكتوبًا في عام 1678م، ولكن لم يطبع بالإنجليزية حتى عام 1729م . أي بعد سنتين من وفاته. وعندما سُئل عن كيفية قدرته على التّوصل إلى هذا الكم من الاكتشافات أجاب أنه توصلّ إلى حلّ جميع هذه المسائل بالتّفكير المتواصل فترات طويلة، والعمل بجديّة لا بمجرد بالإلهام المفاجئ.

انتُخب نيوتن عضوًا في البرلمان وعمره 46 سنة. وحضر جلسات البرلمان مدة عامين لم يقدِّم فيها أيّ خطاب. وفي أحد الأيام وقف، فصمت أعضاء البرلمان لسماع ما يودّ هذا الرّجل العظيم .. لقد كان خطاب نيوتن مختصرًا جدًّا، فقد طلب إغلاق النافذة بسبب وجود تيّار هوائيّ يزعجه.

وبعيدًا عن اشتغاله بالعلم، فقد عُين أمينًا، ثمّ مسؤولًا عن صكّ النّقود. استقال نيوتن من عمله أستاذًا، ووجّه جهوده إلى تحسين صكّ النقود إلى درجة حيَّرت المزوّرين. لقد حافظ على عضويته في الجمعية الملكية وانتخب رئيسًا لها، وقد أعيد انتخابه سنويًّا حتى وفاته. كتب عن البصريّات (*Optiks*) وهو في سنّ الثانية والستين، ملخِّصًا عمله عن الضّوء. وبعد تسع سنوات، كتب الطبعة الثانية من كتابه الأصول (*Principia*).

وعلى الرّغم من شيب شَعْرَ نيوتن في سنّ الثلاثين، إلاّ أنه بقي طويلًا مجدًّا وكاملًا طيلة حياته. وبخلاف الكثير من الناس في ذاك الزمان، لم يستعمل الشّعر المستعار. لقد كان نيوتن رجلًا متواضعًا، حساسًا للنّقد، لم يتزوج قطّ. وقد بقي جسمه بصحة جيدة عقليًّا وجسديًّا حتى الشيخوخة. وكانت أسنانه كاملة حتى وهو في سنّ الثّمانين، وكان بصره وسمعه أيضًا في حالة جيدة، وعقله متيقّظًا. لقد عُدَّ من قبل أبناء وطنه في ذلك العصر أعظم عالِم على الإطلاق. وفي عام 1705م، منحته الملكة آن *Anne* لقب فارس. وقد توفي نيوتن عن عمر يناهز 85 عامًا، ودفن في كنيسة ويست مينستر *Westminster* مع الملوك والأبطال.

لقد فتح نيوتن الكون؛ فقد برهن أنّ القوانين التي تؤثر في الأرض هي القوانين الطبيعية نفسها التي تحكم الكون الأكبر أيضًا. أما بالنسبة إلى الجنس البشري، فقد أدى هذا إلى مزيد من التواضع، وكذلك إلى الأمل والإلهام بسبب الأدلة ذات الترتيب المنطقي. لقد كان نيوتن مدرسًا في عصر المنطق، وأسهمت أفكاره وبصيرته في تغيير العالم وتحسين حياة البشر.

ملخّص المصطلحات

قانون نيوتن الأول في الحركة Newton's first law of motion: كلّ جسم يستمرّ في حالة سكونه، أو حالة حركته في خطّ مستقيم بسرعة ثابتة ما لم تؤثر فيه قوة محصلة.

القصور Inertia: خاصية مقاومة الأجسام للتّغيّرات في الحركة.

قانون نيوتن الثاني في الحركة Newton's second law of motion: يتناسب التّسارع الناتج عن محصلة قوة على جسم ما طرديًّا مع محصلة القوى وفي اتجاهها نفسه، في حين يتناسب عكسيًّا مع كتلة الجسم.

السّقوط الحرّ Free fall: السّقوط تحت تأثير الجاذبية فقط هو سقوط دون مقاومة الهواء.

السّرعة الحدّيّة Terminal speed: السّرعة التي يصل إليها جسم ساقط بحيث تعادل مقاومة الهواء وزنه.

السّرعة المتجهة الحدّيّة Terminal velocity: السّرعة الحدّيّة عندما يكون الاتجاه محدّدًا.

التّفاعل Interaction: فعل متبادل بين أجسام تؤثّر بعضها في بعض بقوى متساوية ومتعاكسة في الاتجاه.

زوج قوى Force pair: قوى الفعل وردّ الفعل التي تحدث خلال تفاعل ما.

قانون نيوتن الثّالث Newton's third law of motion: عندما يؤثّر جسم بقوة في جسم آخر فإنّ الجسم الآخر يؤثر بقوة مساوية ومعاكسة في الاتجاه في الجسم الأول.

أسئلة مراجعة

1.2 قانون نيوتن الأول في الحركة

1. اذكر قانون القصور.
2. هل القصور خاصيّة للمادة أم قوة من نوع ما؟
3. ما المبدأ الذي غاب عن عقول النّاس في القرن السّادس عشر عندما لم يستطيعوا إدراك أنّ الأرض تتحرك؟
4. عندما يسقط طائر عن غصن شجرة في اتجاه الأرض، لماذا لا تبتعد الأرض المتحركة بعيدًا عن الطّائر السّاقط؟
5. ماذا يصبح شكل مسار الكواكب حول الشّمس إذا فقدت الجاذبها إليها بشكل مفاجىء؟

2.2 قانون نيوتن الثّاني في الحركة

6. اذكر قانون نيوتن الثّاني.
7. بأيّ شكل يتناسب التّسارع مع القوة: طرديًّا أم عكسيًّا؟ أعط مثالا على ذلك.
8. بأيّ شكل يتناسب التّسارع مع الكتلة: طرديًّا أم عكسيًّا؟ أعط مثالًا على ذلك.
9. إذا تضاعفت كتلة جسم منزلق ثلاث مرات، وفي الوقت نفسه تضاعفت محصلة القوى المؤثرة فيه ثلاث مرات، فما تسارعه الناتج مقارنة بتسارعه الأصليّ؟
10. ما محصلة القوى المؤثّرة في جسم وزنه 10 نيوتن، ويسقط سقوطا حرًّا؟
11. لماذا لا تتسارع الأجسام الثقيلة أكثر من الأجسام الخفيفة عندما تسقط سقوطًا حرًّا؟
12. ما محصلة القوى المؤثّرة في جسم ساقط وزنه 10 نيوتن، ويتعرض لمقاومة هواء مقدارها 4 نيوتن؟ ومقاومة هواء 10 نيوتن؟
13. ما العاملان الرّئيسان المؤثّران في مقاومة الهواء للأجسام السّاقطة؟
14. ما تسارع الجسم السّاقط الذي يوصله إلى السّرعة الحدّيّة؟
15. عندما يسقط جسمان لهما الحجم نفسه بسرعتين مختلفتين، فأيهما يتعرض لمقاومة هواء أكبر؟
16. لماذا يسقط المظليّ الأثقل أسرع من المظليّ الأخفّ وزنًا على الرّغم من استعمالهما مظلتين لهما الحجم نفسه؟

3.2 القوى وتفاعلاتها

17. ذكرنا سابقًا أنّ القوّة دفع أو سحب، والآن نقول إنّ القوة تفاعل. فهل القوة دفع، أم سحب، أم تفاعل؟ وماذا نقصد بالتفاعل؟
18. ما عدد القوى اللازمة لتفاعل واحد؟
19. عندما تدفع حائطًا بأصابعك، فسوف تنثني أصابعك بسبب تأثرها بقوة ما. عرّف هذه القوة.
20. يستطيع الملاكم ضرب كيس ثقيل بقوة كبيرة. لماذا لا يستطيع أن يضرب بمقدار القوة نفسه ورقة جريدة في الهواء؟

4.2 قانون نيوتن الثّالث في الحركة

21. عرّف قانون نيوتن الثّالث.
22. افترض أنّ كرة بيسبول ضُربت بمضرب. إذا سمّينا القوة التي تؤثر من المضرب في الكرة بالفعل فحدّد قوة ردّ الفعل.
23. بافتراض أنّ القوة المحصّلة المؤثرة في قذيفة مدفع وفي المدفع المرتدّ نفسه متساويتان في المقدار، فلماذا يختلف تسارع القذيفة عن تسارع المدفع؟
24. هل صحيح القول إنّ قوى الفعل وردّ الفعل دائمًا تؤثران في أجسام مختلفة؟ وضّح إجابتك.
25. افترض أنّ الجسمين A و B ضمن نظام ما، فهل تؤثر القوى بينهما في تسارع هذا النظام؟

26. ما الشّيء الضّروري من ناحية القوة، لتسريع جسم ما؟
27. متى تلغي قوة الفعل وردّ الفعل إحداهما الأخرى؟ ومتى لا تلغي إحداهما الأخرى؟
28. كيف تحصل طائرة الهليكوبتر على قوة رفعها إلى الأعلى؟
29. ما قانون الفيزياء الذي ينشأ عندما نقول إنّنا لا نستطيع أن نَلمس دون أن نُلمس.

5.2 ملخص قوانين نيوتن الثّلاث في الحركة

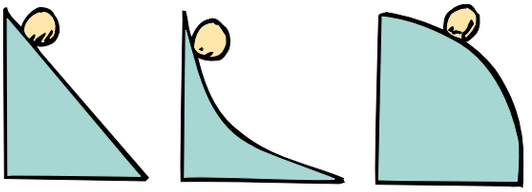
30. لخّص قوانين نيوتن الثّلاثة في الحركة باختصار.

تمارين

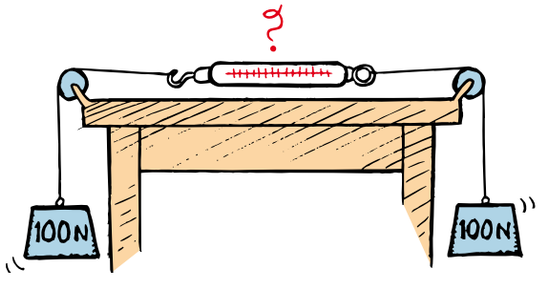
مرة أخرى، لا تنزعج من عدد التّمارين الكبير في هذا الفصل وفصول الكتاب الأخرى. إذا كان مقررك يتطلّب تغطية عدد من الفصول فإنّ مدرّسك سيحدّد بعض التمارين فقط من كلّ فصل.

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● إذا كنت في مركبة فضائيّة، وتحمل صندوقين متماثلين مغلقين أحدهما معبأ بالرمل والآخر معبأ بالرّيش. فكيف يمكنك التمييز بينهما دون فتحهما؟
2. ● عندما تضرب حائطًا فإنّ يدك الفارغة لا تتأذى. ولكن، لماذا تتأذى عندما تحمل حملًا ثقيلًا؟ أيّ قوانين نيوتن ينطبق على هذه الحالة؟
3. ● لماذا يكون السّاطور الثّقيل أكثر فاعلية في تقطيع الخضار من سكين خفيفة على الرّغم من أنهما حادّان بالقدر نفسه؟
4. ■ تتّصل كلّ فقرة من الفقرات المكونة لعمودك الفقري مع جارتيها بقرص من نسيج مرن. ماذا يحدث عندما تقفز بقوة على قدميك من مكان مرتفع؟ هل يمكنك التفكير لماذا تكون أقصر قليلًا في المساء منك عند الصباح؟ (مساعدة: فكر برأس المطرقة في الشّكل 2.2.)
5. ■ قبل عصر جاليليو ونيوتن، درس العديد من الطلاب فكرة أنّ الحجر السّاقط من أعلى سارية شاهقة لسفينة يضرب السّطح خلف السّارية على بعد يساوي المسافة التي تحركتها السّفينة إلى الأمام في أثناء سقوط الحجر. في ضوء فهمك لقوانين نيوتن، ما رأيك في هذه الفكرة؟
6. ● عندما تقف على الأرض، هل تؤثر الأرض بقوّة في قدميك إلى أعلى؟ ما مقدار القوّة المؤثّرة؟ لماذا لا ترتفع إلى الأعلى بسبب هذه القوّة؟
7. ● تتحرك سيارة رياضيّة على مضمار السّباق بسرعة متجهة ثابتة مقدارها 200 كم/ ساعة. ما مقدار القوتين الأفقية والمحصلة المؤثرتين في السّيارة؟
8. ● لجرّ عربة في منطقة عشبيّة بسرعة متجهة ثابتة يجب أن تؤثر فيها بقوة وباستمرار. وفّق بين هذه الحقيقة وقانون نيوتن الأول الذي ينصّ على أنّ الحركة بسرعة ثابتة تدلّ على غياب القوّة.
9. ● عندما تتحرك سيارتك على الطّريق السّريع بسرعة ثابتة، فإنّ القوة المحصلة تكون صفرًا. لماذا تستمر في تشغيل المحرك إذن ؟
10. ■ كلّما تقدّم الصّاروخ في الفضاء أكثر يصبح تسارعه أسهل. ما سبب ذلك؟ (مساعدة: 90% تقريبًا من كتلة الصّاروخ الحديث الإطلاق تكون وقودًا.)
11. ● عندما ترمي قطعة نقود إلى أعلى فماذا يحدث لسرعتها عند الهبوط؟ وماذا يحدث لتسارعها؟ (أهمل مقاومة الهواء).
12. ● عندما تقفز عن الأرض فكيف تقارن القوة التي أثرت بها في الأرض مع وزنك؟
13. ● يقول التّعبير الدّارج: "ليس السّقوط هو الذي يؤذيك، وإنما الوقوف المفاجئ". ترجم هذا إلى قوانين نيوتن في الحركة.
14. ■ على أيّ هذه التّلال تتدحرج الكرة بسرعة متزايدة وبتسارع متناقص عبر المسار؟ (استخدم هذا المثال إذا رغبت أن تفسر لأحدهم الفرق بين السّرعة والتّسارع.)



15. ■ إذا أسقطت جسمًا فإنّه يتسارع نحو الأرض بمقدار 10 م/ث^2. ولكن، إذا قذفته نحو الأسفل، فهل يتسارع بعد قذفه بأكثر من 10 م/ث^2؟ (أهمل مقاومة الهواء). علّل جوابك في حالتي الإيجاب والنفي.
16. ■ في السّؤال السّابق، هل يمكنك التفكير في سبب أنّ تسارع الجسم المقذوف إلى أسفل في الهواء أقلّ من 10 م/ث^2 في الواقع؟
17. ■ إذا لم يكن بسبب مقاومة الهواء، فهل هناك خطورة لمغادرة المنزل في يوم ماطر؟ دافع عن إجابتك.
18. ■ ما مقدار تسارع حجر عند أعلى نقطة في مساره عند قذفه عموديًّا إلى أعلى؟ (هل تتوافق إجابتك مع قانون نيوتن الثاني في الحركة؟)
19. ■ رُبط جسمان وزن كلّ منهما 100 نيوتن في ميزان زنبركي، كما هو مبين. هل يقرأ الميزان 0 نيوتن، أم 100 نيوتن، أم 200 نيوتن، أم يقرأ قراءة أخرى؟ (مساعدة: هل يشير الميزان إلى قراءة أخرى إذا رُبط أحد الحبلين إلى الحائط بدلًا من تعليقه بوزن 100 نيوتن؟)



20. ■ وضعت حبّة تفاح على رأسك. (أ) حدّد القوى المؤثرة في التّفاحة جميعها، وقوى ردّ الفعل لها. (ب) عندما تُسقط التفاحة، حدّد

جميع القوى المؤثّرة فيها في أثناء السّقوط. وقوى ردود الفعل المقابلة.

21. ● ما القوّة المحصّلة على تفاحة تزن 1 نيوتن عند وضعها فوق رأسك؟ وما القوّة المحصلة عليها عند إسقاطها؟

22. ● ادّعى أرسطو أنّ سرعة الجسم السّاقط تعتمد على وزنه. نعلم الآن أنّ الأجسام السّاقطة سقوطًا حرًّا مهما كان وزنها تكتسب معدّل الزيادة نفسه في السّرعة (التّسارع). لِمَ لا يؤثّر الوزن في التّسارع؟

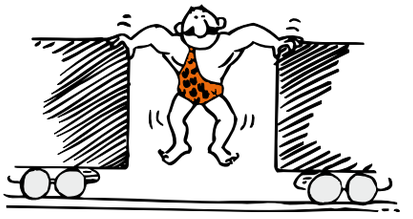
23. ● هل تحتوي عصا من الدّيناميت على قوة؟ دافع عن إجابتك.

24. ● هل يمكن أن يهزّ الكلب ذيله دون أن يعمل ذيل الكلب على هزّ الكلب نفسه؟ (افترض كلبًا بذيل ذا كتلة كبيرة نسبيًّا.)

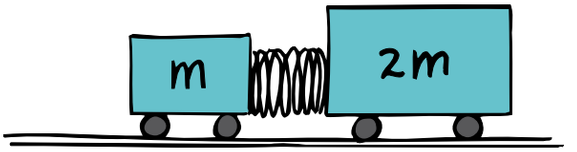
25. ● عندما يرفع اللاعب الأثقال فوق رأسه فإنّ قوّة ردّ الفعل هو وزن الأثقال على يديه. كيف تتغيّر هذه القوة في حالة تسارع الأثقال إلى أعلى؟ وإلى أسفل؟

26. ● لماذا تؤثّر بقوة أكبر في دوّاسة الدّراجة عندما تسحب المقود؟

27. ■ يفْصل الرّجل القوي عربتي القطار السّاكنتين المتساويتين في الكتلة قبل أن يسقط هو نفسه مباشرة على الأرض. هل يحتمل أن يُكسب عربة سرعة أكبر من الأخرى؟ علّل إجابتك في حالتي الإيجاب والنفي.



28. ■ افترض أنّ عربتين انفصلتا عندما حُرّر الزنبرك المضغوط الذي يربطهما. وكانت كتلة إحداهما ضعف كتلة الأخرى. فما سرعة العربة الثقيلة مقارنة بسرعة العربة الخفيفة؟



29. ■ إذا أثّرت بقوة أفقية مقدارها 200 نيوتن لتحريك طاولة مكتب على أرضية الغرفة بسرعة ثابتة. فما مقدار الاحتكاك الذي تؤثّر به الأرضيّة في الطّاولة؟ هل تساوي قوةُ الاحتكاك في المقدار وتعاكس في الاتجاه القوةَ 200 نيوتن التي تدفعه بها؟ لِمَ لا؟

30. ■ إذا اصطدمت شاحنة بدراجة اصطدامًا رأسيًّا. فعلى أيّهما يكون دفع القوّة أكبر؟ أيّهما يتعرض لتغيّر أكبر في حركتها؟ فسّر إجابتك؟

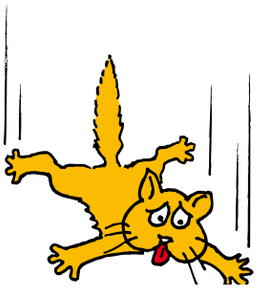
31. ● اشترك شخصان لهما الكتلة نفسها في لعبة شدّ حبل طوله 12م وهما يقفان على جليد عديم الاحتكاك. وعندما يسحبان الحبل يزحف كلّ واحد في اتّجاه الآخر. كيف نقارن بين تسارعيهما؟ وكم يزحف كلّ منهما قبل أن يلتقيا؟

32. ● افترض أنّ كتلة أحد الشخصين في المسألة السّابقة ضعف كتلة الآخر. فكم يزحف كلّ شخص قبل التقائهما؟

33. ● أيّ الفريقين يربح في لعبة شدّ الحبل: الفريق الذي يسحب الحبل بقوة أكبر، أم الفريق الذي يدفع الأرض أكثر؟ فسّر.

34. ● تبيّن الصورة ستيف هيويت Steve Hewitt وابنته جريتشن Gretchen. من الذي يلمس الآخر: البنت أم الوالد؟ فسّر.

35. ■ لماذا لا تكون سرعةُ القطّة السّاقطة من عمارة ارتفاعها 50 مترًا عندما ترتطم بشبكة سلامة أكبرَ من سرعتها عندما تسقط من عمارة ارتفاعها 20 مترًا؟



36. ■ السقوط الحرّ هو الحركة التي تكون فيها الجاذبية هي القوة الوحيدة المؤثرة. (أ) فسّر لماذا لا يكون المظلّيّ الذي وصل السّرعة الحدّيّة في سقوط حرّ. (ب) فسّر لماذا يكون القمر الصناعيّ الذي يدور حول الأرض فوق الغلاف الجوّيّ في سقوط حرّ.

37. ● كيف تقارن وزن الجسم السّاقط مع مقاومة الهواء التي يتعرض لها قبل وصوله إلى السّرعة الحدّيّة مباشرة، وبعدها مباشرة؟

38. ● تقول لصديقك: إنّ تسارع المظلّيّ يتناقص مع تقدمه في الهبوط. ثم يسألك صديقك: هل هذا يعني أنه يتباطأ؟ ما رأيك؟

39. ■ إذا كانت مقاومة الهواء غير مهملة عندما أسقط جاليليو الكرتين من أعلى برج بيزا المائل. افترض أنّ الكرتين لهما الحجم نفسه، ولكن إحداهما أثقل من الأخرى. أيّ الكرتين ستصطدم بالأرض أوّلًا؟ ولماذا؟

40. ■ إذا أُسقطت كرتا تنس في الوقت نفسه من أعلى بناية، فإنهما تصلان الأرض في الوقت نفسه. فإذا كانت إحداهما مليئة بقطع من الرّصاص، فهل تسقط بسرعة أكبر ثمّ تصل الأرض أوّلًا؟ أيّ الكرتين تتعرض لمقاومة هواء أكبر؟ دافع عن إجاباتك.

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● احسب وزن فيل كتلته 2000 كجم بوحدة النيوتن. ما وزنه بالباوند؟
2. ● إذا أثّرت قوّتان أفقيّتان في عربة بحيث تؤثّر إحداهما نحو الأمام ومقدارها 600 نيوتن في حين تؤثر الأخرى في اتجاه الخلف ومقدارها 400 نيوتن، ونتج عن ذلك تسارع العربة. ما القوة الإضافيّة اللازمة لإحداث حركة في العربة دون تسارع؟
3. ● رجل فضاء كتلته 100 كجم، يبتعد عن سفينة نحو الخلف من خلال تفعيل وحدة دفع صغيرة مربوطة مع السفينة. القوة الناتجة عن هذا الدّفع هي 25 نيوتن. بيّن أنّ التّسارع هو 0.25 م/ث^2.
4. ● افترض أنّك تدفع علبة قهوة كتلتها 2 كجم موضوعة على سطح أفقي بقوة أفقية مقدارها 20 نيوتن. إذا كانت قوة الاحتكاك على الصندوق هي 12 نيوتن، فبيّن أنّ التّسارع الناتج هو 4 م/ث^2.
5. ● افترض أنّك تدفع جسمًا كتلته 4 كجم موضوعًا على سطح أفقيّ بقوة أفقيّة مقدارها 40 نيوتن. إذا كانت قوة الاحتكاك على الكتلة هي 24 نيوتن. فبيّن أنّ التّسارع هو 4 م/ث^2.
6. ● يتحرك صاروخ كتلته 100,000 كجم بتسارع 2 م/ث^2. بيّن أنّ القوة الناتجة عن محرك الصّاروخ هي 200,000 نيوتن.
7. ● أقلعت طائرة جامبو جت 747 كتلتها 330,000 كجم، وتأثرت بقوة دفع مقدارها 250,000 نيوتن من كلّ محرك من محركاتها الأربعة. بيّن أنّ تسارعها هو 3 م/ث^2.
8. ● احسب القوة الأفقية التي يجب التأثير بها في قرص كتلته 1 كجم بحيث يتسارع على طاولة عديمة الاحتكاك بالتسارع نفسه الذي يتسارع به لو سقط سقوطًا حُرًّا.
9. ● إرين Irene يؤثر بمحصلة قوة 10 نيوتن في عربة تسوُّق كتلتها 6.7 كجم مدّة ثلاث ثوانٍ. بيّن أنّ العربة تتحرك بتسارع مقداره 1.5 م/ث^2.
10. ● افترض أنّك تقف على لوح تزلج قريب من حائط، وتدفع الحائط بقوة 30 نيوتن. ما دفع الحائط لك؟ إذا كانت كتلتك 60 كجم، فبيّن أنّ تسارعك مبتعدًا عن الحائط هو 0.5 م/ث^2.
11. ■ ينزلق رجل إطفاء كتلته 80 كجم نحو الأسفل على مسار عموديّ بتسارع 4 م/ث^2. بيّن أنّ قوة الاحتكاك المؤثرة فيه هي 480 نيوتن.
12. ■ يضرب ملاكم ورقة في الهواء بحيث انتقلت من حالة السكون إلى سرعة 25 م/ث خلال 0.05 ثانية. إذا كانت كتلة الورقة 0.003 كجم فبيّن أنّ القوّة المؤثّرة في الورقة تساوي 1.5 نيوتن فقط.
13. ■ كتلة سوزي سكايدايفر ومظلتها 50 كجم.

أ- ما قوة مقاومة الهواء التي تتعرض لها عندما تصل السّرعة الحدّيّة، وقبل أن تفتح مظلتها؟

ب- ما قوة مقاومة الهواء التي تتعرض لها عندما تصل الحدّ الأدنى من السّرعة الحدّيّة بعد أن تفتح المظلّة؟

ج- اشرح لماذا تتفق إجاباتك أو تختلف؟

14. ♦ يسقط مظليّ كتلته 50 كجم، ويتعرض لتسارع 6.2 م/ث^2 نحو الأعلى عندما تفتح المظلة. بيّن أنّ قوة السّحب في هذه الحالة هي 810 نيوتن.
15. ♦ تؤثّر القوة F في اتجاه الأمام في عربة كتلتها m. قوة الاحتكاك f تعاكس الحركة.

أ- استخدم قانون نيوتن الثاني، وبيّن أنّ تسارع العربة هو $\frac{F-f}{m}$.

ب- إذا كانت كتلة العربة 4 كجم، والقوة المؤثّرة 12 نيوتن، وقوّة الاحتكاك 6 نيوتن. بيّن أنّ تسارع العربة هو 1.5 م/ث^2.

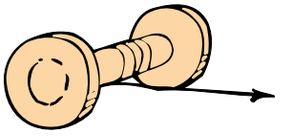
16. ♦ كتلة بيل ومزلجته الصّاروخية M، يتحركان بتسارع a ويصادفان كتلة رخوة m، بحيث ينقلب نتيجة اصطدامه بها ويلتحم.

أ- بيّن أنّ المزلجة تتحرك الآن بتسارع $\frac{M}{m+M}a$.

ب- إذا كانت كتلة بيل ومزلجته 70 كجم، أمّا الكتلة m فهي 45 كجم، والتسارع الابتدائي للمزلجة هو 3.6 م/ ث^2، فبيّن أنّ تسارع المزلجة مع الكتلة التي يلتحم بها هو 2.2 م/ ث^2.

أنشطة استكشافية

1. اكتب رسالة إلى جراندما شبيهة بما وصف في النشاط 1 من الفصل 1، أخبرها فيها أنّ جاليليو هو الذي مهّد لمفاهيم التّسارع والقصور، وكانت فكرة القوة مألوفة لديه، ولكنه لم يتوصل إلى الربط بين هذه المفاهيم الثلاثة. وأخبرها أيضا كيف عرف إسحق نيوتن ذلك. وضّح لماذا تكتسب الأجسام الثقيلة والخفيفة في سقوطها الحرّ السّرعة نفسها في الزمن نفسه. في هذه الرسالة يمكنك استخدام معادلة أو اثنتين لتوضيح الفكرة لجراندما، حيث تكون هذه المعادلة اختصارًا توضيحيًّا للفكرة التي تريد إيصالها.
2. إنّ محصلة القوى المؤثّرة في جسم ما والتّسارع الناتج عن ذلك يكونان في الاتجاه نفسه. يمكن توضيح ذلك باستخدام بكرة الخيط. فإذا سحبت المسلكة أفقيًّا نحو اليمين، فبأيّ اتجاه تدور هذه البكرة؟



3. أخرج يدك من نافذة سيارة متحركة بحيث تكون راحة اليد نحو الأسفل. مَيِّل مقدمة يدك قليلًا إلى الأعلى، ولاحظ أثر دفع يدك عندما ينحرف الهواء إلى أسفل يدك. هل ترى عمل قوانين نيوتن هنا؟

اختبار الاستعداد للقراءة

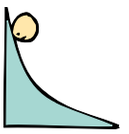
إذا استوعبت هذا الفصل جيّدًا فعليك أن تجيب عن 7 أسئلة من 10 من هذا الاختبار. ولكن، إذا حصلت على أقلّ من 7 فإنك تكون بحاجة إلى مزيد من الدراسة قبل أن تتجاوزه.

اختر الإجابة المناسبة فيما يلي:

1. بافتراض أنّ الجاذبية بين الشّمس والأرض تلاشت فجأة فإنّ الأرض ستستمر في حركتها في مسار:
(أ) منحنٍ.
(ب) خطٍّ مستقيم.
(ج) لولبيّ نحو الخارج.
(د) لولبيّ نحو الداخل.

2. إذا حُرّك جسم على مسار منحنٍ، فعليه أن يكون:
(أ) متسارعًا.
(ب) تحت تأثير قوة.
(ج) أ+ب.
(د) لا شيء مما ذكر.

3. تتدحرج قوة أسفل مسار منحنٍ، كما في الشكل. كلّما زادت سرعتها، فإنّ معدّل اكتساب السّرعة:



(أ) يزداد.
(ب) يقل.
(ج) يستمر دون تغيير.

4. تسقط صخرة ثقيلة وأخرى خفيفة بشكل حرّ بالتّسارع نفسه. إنّ الصّخرة الثقيلة لا تتحرك بتسارع أكبر لأنّ:
(أ) قوة الجاذبية على كليهما هي نفسها.
(ب) مقاومة الهواء غير موجودة.
(ج) قصور الصّخرتين هو نفسه.
(د) كلّ ما ذكر صحيح.
(هـ) لا شيء مما ذكر.

5. عندما يسقط جسم كتلته 10 كجم سقوطًا حرًّا بحيث يخضع لمقاومة هواء مقدارها 10 نيوتن، فإنّ تسارعه:
(أ) أقل من g.
(ب) g.
(ج) أكبر من g.
(د) المعلومات غير كافية.

6. تكون مقاومة الهواء لسنجاب طائر وزنه 0.8 نيوتن عندما تكون سرعته الحدّيّة:
(أ) أقل من 0.8 نيوتن.
(ب) 0.8 نيوتن.
(ج) أكبر من 0.8 نيوتن.
(د) معتمدة على اتجاه جسمه.

7. تسقط كرة من حافة سطح بناء مدرسة. وفي أثناء سقوطها فإنّ:
(أ) سرعتها وتسارعها يزدادان.
(ب) سرعتها تزداد، أما تسارعها فيقلّ.
(ج) سرعتها وتسارعها يقلّان.
(د) سرعتها تقلّ، أما تسارعها فيزداد.

8. يؤثّر لاعب (كاراتيه) بقوة 3000 نيوتن في لوح فينكسر. إنّ القوة التي تؤثر في يده خلال تأثير هذه القوة تكون:
(أ) أقل من 3000 نيوتن.
(ب) 3000 نيوتن.
(ج) أكبر من 3000 نيوتن.
(د) المعلومات غير كافية.

9. ضربت كرة بسرعة 30 م/ث. خلال الضّربة، قيمة القوة المؤثرة من قدم اللاعب في الكرة هي:
(أ) أقلّ من قيمة القوّة المؤثّرة في القدم.
(ب) قيمة القوّة المؤثّرة في القدم نفسها.
(ج) أكبر من قيمة القوّة المؤثّرة في القدم.
(د) لا شيء مما ذكر.

10. مصدر القوة التي تدفع الصّاروخ هو:
(أ) الجاذبية.
(ب) قوانين نيوتن في الحركة.
(ج) الغاز المنطلق منه.
(د) المحيط ضد اندفاع الصّاروخ.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

1أ، 2د، 3ج، 4أ، 5ب، 6ب، 7ب، 8أ، 9ب، 10أ

الفصل 2 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 2.6، 2.9، 2.12، 2.21، 2.24، 2.25، 2.26، 2.27

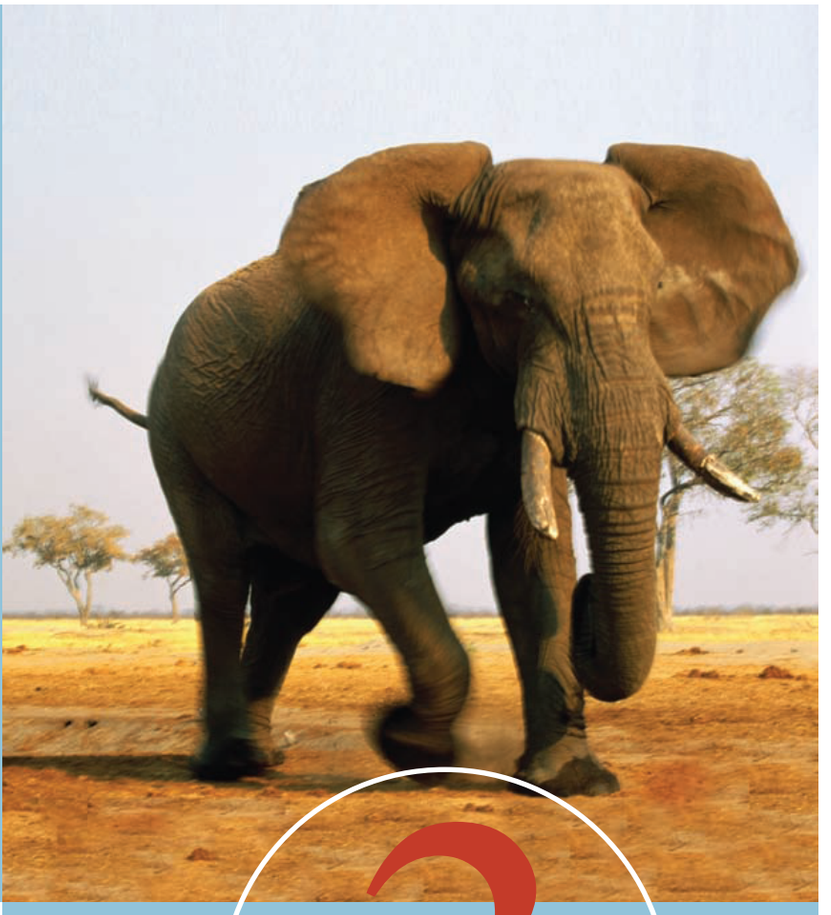
دروس تعليمية

- السقوط بالمظلة وقانون نيوتن الثاني
- قانون نيوتن الثالث

أشرطة فيديو

- قانون نيوتن الثاني
- القوة تسبب التسارع
- الاحتكاك
- السقوط الحر ومقاومة الهواء
- القوى وتفاعلاتها
- الفعل ورد الفعل على الكتل المختلفة
- الفعل ورد الفعل على البندقية والرصاصة

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط



3

الزّخم والطّاقة

■ لقد تعلمنا أنّ فكرة جاليليو في القصور الذاتي اندمجت في قانون نيوتن الأول في الحركة. وقد شرحنا القصور الذاتي بدلالة أجسام ساكنة ومتحركة. وسندرس في هذا الفصل القصور الذاتي لأجسام متحركة. عندما ندمج أفكار القصور الذاتي والحركة فإننا نتعامل مع الزخم، وهو خاصية للأشياء المتحركة. جميع الأشياء تملك طاقة؛ وعندما تكون متحركة، فإنها تملك طاقة حركية – *طاقة الحركة*، في حين تملك الأشياء الساكنة شكلًا آخر من الطاقة، هي طاقة الوضع. وهكذا فإنّ الأجسام كلّها، سواء أكانت ساكنة أم متحركة، تملك طاقة $E=mc^2$. إنّ هذا الفصل يتعلق بمبدأين أساسيين في الميكانيكا؛ الزخم والطاقة.

1.3 الزّخم ودفع القوة

2.3 دفع القوة يغيِّر الزخم

3.3 حفظ الزّخم

4.3 الطاقة والشغل

5.3 نظرية الشغل والطاقة

6.3 حفظ الطاقة

7.3 القدرة

8.3 الآلات

9.3 الفاعلية

10.3 مصادر الطاقة

1.3 الزّخم ودفع القوة

يعدّ إيقاف شاحنة أصعب من إيقاف سيارة صغيرة إذا كانتا تسيران بالسرعة نفسها. ونقول إنّ الشاحنة لها زخم أكبر من زخم السيارة. ونعني بالزخم القصورَ الذاتيَّ في الحركة. أو بصورة أكثر دقة، كتلة جسم ما مضروبة في سرعتها المتجهة.

الزخم = الكتلة x السرعة المتجهة

ويرمز إلى هذا بـــ

$$\text{الزخم} = m\,v$$

إذا كان الاتجاه ليس عاملًا مهمًّا، فإنه يمكننا القول إنّ

الزخم = الكتلة x السرعة القياسية

وتختصر بالرمز $m\,v$. *

يمكننا أن نلاحظ من التعريف أنّ الجسم المتحرك يكون له زخم أكبر إذا كانت كتلته أكبر أو سرعته أعلى، أو كلاهما. فالشاحنة المتحركة يكون لها زخم أكبر من زخم السيارة الصغيرة إذا كانتا تسيران بالسرعة نفسها؛ لأنّ كتلة الشاحنة أكبر. إلا أنّ السيارة السريعة قد يكون لها زخم أكبر من شاحنة بطيئة. أما الشاحنة المتوقفة فليس لها أيّ زخم.

إذا تغير زخم جسم ما فستتغير كتلته أو سرعته أو كلاهما، إذا بقيت الكتلة ثابتة، كما في معظم الحالات، وتغيرت السرعة، وحدث تسارع. فما الذي سبّب التسارع؟ نحن نعرف الإجابة: إنّها *القوة*. كلما زادت القوة المؤثرة في جسم ما زاد التغير في كلّ من سرعته وزخمه.

إلا أنّ هناك شيئًا آخر مهمًّا مهم في تغيُّر الزخم، وهو الزمن. ما الفترة الزمنية التي تؤثر بها القوة؟ إذا أثّرت بقوة في سيارة متوقفة لمدة قصيرة فإنك تحدث تغييرًا في زخمها. والآن أثّر بالقوة نفسها ولكن فترة زمنية أطول. ستلاحظ أنّك تُحدث تغييرًا في الزخم أكبر من التغيير الحادث في تأثير الفترة القصيرة. وهكذا، فإنّ كلًّا من القوة والفترة الزمنية مهم في تغير الزخم.

مقدار القوة × الفترة الزمنية يسمى **دفع القوة**. وبرموز مختصرة.

فإنّ دفع القوة $= F\,t$

الشّكل 1.3

لسوء الحظ، للصخرة زخم أكبر من زخم العدّاء.

الزمن ذو أهمية خاصة لتغير الزخم.

نقطة فحص

1. قارن بين زخم عربة كتلتها كيلوجرام واحد تتحرك بسرعة 10 م/ث وأخرى كتلتها كيلوجرامين تتحرك بسرعة 5 م/ث.
2. هل يملك الجسمُ المتحرك دفعَ قوة؟
3. هل يملك الجسمُ المتحرك زخمًا؟
4. للقوة نفسها؛ أيّ المدفعين يعطي قذيفته دفع قوة أكبر؛ الطويل أم القصير؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. كلاهما له الزخم نفسه (1 كجم × 10 م/ث = 2 كجم × 5 م/ث).
2. لا. دفع القوة ليس شيئًا يمتلكه الجسم كالزخم. إنّ دفع القوة هو ما يمكن أن يعطيه جسم ما، أو يتأثر به ذلك الجسم عندما يتفاعل مع جسم آخر. الجسم نفسه لا يمكنه امتلاك الدفع، تماما كما لا يمكنه امتلاك القوّة.
3. نعم، إلا أنّ السرعة نسبية – ويكون ذلك بالنسبة إلى مرجع إسناد، وهو عادة سطح الأرض. إنّ زخم جسم ما بالنسبة إلى مرجع ثابت عند نقطة على الأرض يمكن أن يختلف قليلا عن زخم الجسم نفسه بالنسبة إلى مرجع آخر (جسم آخر متحرك).
4. المدفع الطويل يعطي دفع قوة أكبر؛ لأنّ القوة في هذه الحالة تؤثر فترة أطول. (يُنتج دفعُ القوة الأكبر تغيرًا أكبر في الزخم. وهكذا، فإنّ المدفع الأطول يعطي سرعة أكبر لقذيفة المدفع من تلك التي يعطيها المدفع القصير).

الشّكل 2.3

عندما تدفع بالقوة نفسها في زمن مضاعف فإنك تنقل ضعف دفع القوة، وتنتج ضعف التغير في الزخم.

* رمز الزخم هو p. في معظم كتب الفيزياء المقررة، $p = mv$.

2.3 دفع القوة يغيِّر الزخم

كلما زاد دفع القوة المؤثرة في شيء ما زاد التغير في الزخم. والعلاقة الدقيقة هي:

دفع القوة(*Impulse*) = التغير في الزخم (*Momentum*)

أو*

$$Ft = \Delta(mv)$$

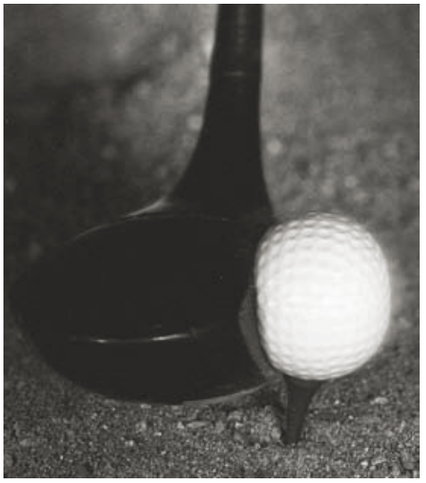
حيث Δ رمز "التغير في".

إنّ علاقة دفع القوة والزخم يساعدان على تحليل حالات مختلفة من تغيرات الزخم. وهنا نرغب في دراسة بعض الأمثلة المألوفة؛ حيث دفع القوة يتعلق بزيادة الزخم أو نقصانه.

الحالة 1: زيادة الزخم

لزيادة زخم جسم ما، يكون من المنطق تطبيق أكبر قوة ممكنة لأطول فترة ممكنة. إنّ لاعبي كرة الجولف وكرة البيسبول يمارسون ذلك عند قذفهم الكرات بأكبر قوى ممكنة من خلال التأثير لأطول فترة ممكنة.

إنّ القوى المرتبطة بقوى الدفع عادة ما تتغير من لحظة إلى أخرى؛ فعلى سبيل المثال، لا يؤثّر مضرب الجولف الذي يضرب الكرة بأيّ قوة في الكرة إلى اللحظة التي يلامس بها الكرة. حيث تزداد القوة بعد ذلك بشكل سريع وبحيث تصبح الكرة مشوّهة (الشّكل 3.3). وثم تتلاشى القوة حيث تكون الكرة قد اكتسبت سرعة وعادت إلى شكلها الأصلي. عندما نتكلم عن مثل هذه القوى في هذا الفصل، فإننا نقصد بذلك *متوسط* القوة.



الشّكل 3.3

تتغيّر قوةُ تأثير الضربة في كرة الجولف خلال فترة التصادم مع الكرة.

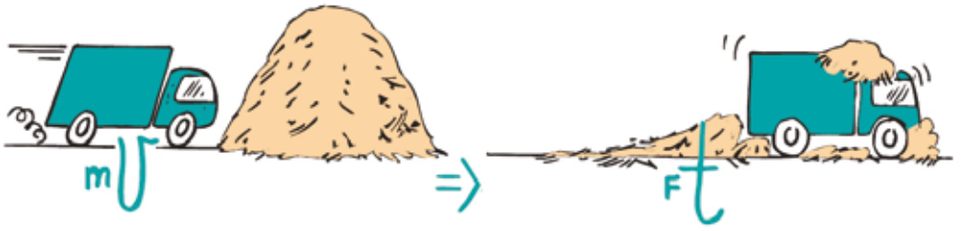
الحالة 2: نقصان الزّخم خلال فترة زمنية طويلة

إذا كنتَ داخل سيارة، ثمّ فقدتَ السيطرة عليها، وكان عليك الاختيار بين صدمها بحائط خرسانيّ أو بكومة قش، فإنك لا تستعين بمعلوماتك في الفيزياء لاتخاذ قرار عقلي؛ لأنّ المنطق يفرض عليك اختيار كومة القش. ولكن معرفتك بالفيزياء تساعدك على فهم سبب أنّ صَدْم جسمٍ لينٍ يختلف تمامًا عن صدمِ جسمٍ قاسٍ. في حالة صدم حائط أو كومة قشّ بحيث تكون النتيجة هي الوقوف التام، فإنّ دفع القوة نفسه يعمل على تقليل الزّخم إلى الصفر. إنّ دفع القوة نفسه لا يعني مقدار القوة نفسه، أو الفترة الزمنية عينها، ولكنه يعني الحاصل نفسه لضرب القوة في الزمن. عند الارتطام بكومة القشّ بدلا من الحائط، فإنك تطيل *الفترة الزمنية التي يصبح الزخم خلالها يساوي صفرًا*. إنّ زيادة الفترة الزمنية تقلّل القوة، لذا تقلل التباطؤ الناتج. مثلًا إذا ضوعفت الفترة الزمنية 100مرة فإنّ القوة تقلّ إلى 1%. وكلما أنقصنا القوة زدنا فترة زمن التلامس. وهذا هو السبب وراء إخفاء لوحة المفاتيح والوسادة الهوائية في السيَّارات.

عندما تقفز من مكانٍ عالٍ نحو الأرض، فماذا يحدث عندما تكون رجلاك على استقامة وثبات؟ إنّه الشعور بالألم! وبدلا من ذلك، عليك ثني ركبتيك عندما تصطدم رجلاك بالأرض؛ لأنّ هذا الفعل يُطيل الزمن الذي يقلّ خلاله الزخم بنحو 10 إلى 20 ضعفًا منه في حالة الهبوط المفاجيء الذي تكون عنده الرجلان متصلبتين. إنّ القوة الناجّة على العظام تقلّ بعامل يتراوح بين 10 و20 ضعفًا. وعندما يسقط مصارع على أرض مرنة فإنه يحاول إطالة زمن اصطدامه بالأرض وذلك بإرخاء عضلاته، وتمديد الصدمة إلى عدد من الصدمات عندما يصدم كل من القدم والركبة والورك والضلع والكتف الأرضَ بنجاح. وبالطبع فإنّ السقوط على سطح مرن أفضل من السقوط على سطح صلب؛ لأنَّ السطح المرن يزيد زمن تأثير القوة.

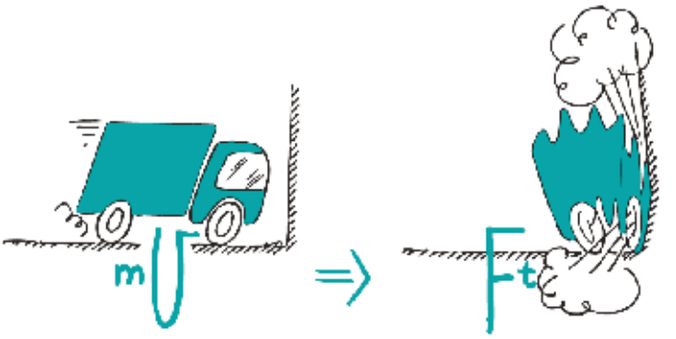
---

* تم اشتقاق هذه العلاقة بإعادة صياغة قانون نيوتن الثاني لجعل عامل الزمن أكثر وضوحًا. بمساواة صيغة التسارع $a = F/m$، مع مفهوم التسارع الفعلي وهو $a = \Delta v/\Delta t$ نحصل على $F/m = \Delta v/\Delta t$. ومنها نجد أنّ $F\Delta t = \Delta(mv)$ هي ببساطة t نفسها. وعليه، فإنّ $F\Delta t = \Delta(mv)$.



الشّكل 4.3

إذا كان الزخم يتغير خلال فترة زمنية طويلة فإنّ قوة الضربة تكون خفيفة.



الشّكل 5.3

إذا كان التغير في الزخم يحدث خلال فترة قصيرة فإنّ قوة الضربة تكون كبيرة.

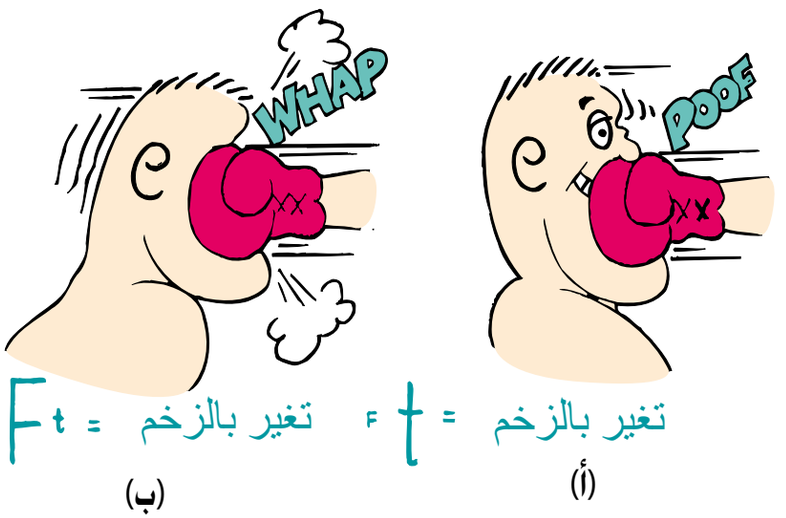
إنّ شبكةَ السلامة المستخدمة في ألعاب السيرك البهلوانية مثالٌ جيد على كيفية الوصول إلى دفع قوة يكفي لهبوط آمن. تقلل شبكة السلامة هذه القوة التي يتأثر بها لاعب السيرك عندما يسقط على الشبكة بزيادة جوهرية للفترة الزمنية التي تؤثر بها القوة.

عند محاولتك التقاط كرة بيسبول سريعة بيدك المكشوفة، فإنك تَمُّد يدك إلى الأمام بحيث تترك فضاءً كافيًا يسمح بحركة يدك نحو الخلف بعد اصطدامها بالكرة؛ إنك تمدّد فترة التصادم . ومن ثم تقلل قوته. وبالمثل فإنّ الملاكم يتحرك خلال اللكمة لتقليل قوة التصادم (الشّكل 6.3).

الحالة 3: تقليل الزّخم في زمن قليل

عندما تلاكم، إذا تحركت نحو الصدمة بدلًا من الابتعاد عنها فستكون في ورطة. ويحدث هذا الأثر نفسه كما في حالة تحريك يدك في اتجاه كرة بيسبول مسرعة لالتقاطها بدلًا من الابتعاد لحظة ملامستها. وعند فقدانك السيطرة على سيارتك فإنك ستكون في ورطة حقيقية إذا اندفعت بها في اتجاه حائط خرسانيّ بدلًا من كومة قش. في هذه الحالات من زمن التصادم القصير، تكون قوة التصادم كبيرة. وتذكّر أنه لإيقاف جسم متحرك، فإنّ دفع القوة يكون هو نفسه بغض النظر عن كيفية إيقافه. ولكن إذا كان الزمن قصيرًا فإنّ القوة تكون كبيرة.

إنّ فكرة زمن تصادم قصير تشرح كيف أنّ خبيرة رياضة الكاراتيه يمكنها تحطيم مجموعة من القرميد بضربة من يدها المكشوفة (الشّكل 7.3). تضع ذراعها ويدها فجأة على القرميد وبزخم كبير. هذا الزخم يقلّ بسرعة عندما ينتقل الدفع إلى القرميد. إنّ دفع القوة هو قوة يدها على القرميد مضروبة في الزمن المستغرق لملامسة يدها للقرميد. وبتنفيذ ضربة قوية فإنّ زمن التماسّ يكون قصيرًا جدًّا، ويكون دفع القوة هائلا. وإذا كانت يدها ترتد وتؤثر في الكرة كما سنرى لاحقًا، فستكون القوة في هذه الحالة أكبر.



الشّكل 6.3

في كلتا الحالتين، دفع القوة المزوَّد من فم الملاكم (boxer's jaw) يقلل زخم الضربة. (أ) عندما يتحرك الملاكم متباعدًا خلال الضربة، فإنّه يزيد الفترة الزمنية، لذا يعمل على تقليل القوة. (ب) عندما يقترب الملاكم في اتجاه القفاز يقلّ الزمن، وعليه أن يواجه قوة أكبر.

■ **نقطة فحص**

1. إذا زاد الملاكم (الشّكل 6.3) فترة الدفع إلى ثلاثة أضعاف من خلال هذه الحركة على حلبة الملاكمة، فما مقدار النقصان في قوة الدفع؟
2. إذا قلّلَ الملاكم فترة الدفع إلى النصف، فما مقدار الزيادة في قوة الدفع؟
3. عندما يقوم باللكمة، يحاول الملاكمُ إطالةَ الزمن للحصول على أفضل النتائج. في حين أنّ خبير الكاراتيه يؤثر بقوة في زمن قصير للحصول على أفضل النتائج. هل هناك تناقض؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. تكون قوة الضربة ثلث الضربة فقط لو لم ينسحب إلى الخلف.
2. تكون قوة الضربة مضاعفة إذا ترك رأسه كما هو. تعدّ اللكمات من هذا النوع من الضربات الحاسمة.
3. لا يوجد تناقض؛ لأنّ أفضل النتائج لكلّ منهما يكون مختلفًا؛ فأفضل النتائج للملاكم يكون بقوة أقل وزمن أطول. أما في رياضة الكاراتيه فإنّ أفضل النتائج تكون بزيادة القوة وتقليل الزّمن.

الشّكل 7.3

كيسي (Cassy) تنقل دفع قوة في زمن قصير، لذا تنتج قوة كبيرة.

الارتداد

عندما تسقط باقة ورد من الرّف على رأسك فسيولّد هذا إرباكًا لك. ولكن ربما يكون مربكًا أكثر إذا سقطت تلك الباقة عن رأسك. لماذا؟ لأنّ دفع القوة يكون أكبر عندما يرتد الجسم. دفع القوة اللازم لإيقاف جسم ثمَّ "قذفه من جديد" يكون أكبر منه في حالة إيقاف الجسم فقط.

حساب العلوم الطبيعية

■ **حلّ مسائل**

عينة مسألة 1

كرة بولنج كتلتها 8 كجم، تتدحرج بسرعة 2 م/ث، اصطدمت بحائط لُبّاديّ فسكنت.

(أ) ما زخم الكرة قبل اصطدامها بالحائط مباشرة؟

(ب) ما مقدار دفع القوة المؤثرة في الكرة؟

(ج) ما مقدار دفع القوة المؤثر في الحائط؟

الحل:

(أ) زخم الكرة هو

$mv = (8\ \text{kg})(2\ \text{m/s}) = 16\ \text{kg·m/s}$.

(ب) استنادا إلى علاقة الزخم ودفع القوة، فإنّ دفع القوة على الكرة يساوي التغير في الزخم. التغير في الزخم من 16 كجم.م/ث إلى الصفر. وعليه

$Ft = \Delta mv = (16\ \text{kg}\cdot\text{m/s}) - 0 =$

$16\text{kg}\cdot\text{m/s} = 16\ \text{N}\cdot\text{s}.$

(لاحظ أنّ الوحدات كجم.م/ث ونيوتن.ثانية متكافئة.)

(ج) استنادًا إلى قانون نيوتن الثالث، القوة المؤثرة من الكرة في الحائط تساوي القوة المؤثرة من الحائط في الكرة وتعاكسها. ولأنَّ زمن التفاعل هو نفسه لكلّ من الحائط والكرة، فإنّ دفع القوة لهما يكون أيضًا متساويًا ومتعاكسًا. وعليه، فإنّ دفع القوة للكرة هو 16 نيوتن. ثانية.

عينة مسألة 2

بيضة نعامة كتلتها m، قذفت بسرعة v إلى فرشة مدلاة بحيث سكنت في زمن t.

(أ) بين أنّ متوسط قوة البيضة المنقولة هو $\frac{mv}{t}$.

(ب) إذا كانت كتلة البيضة 1.0 كجم، وسرعتها لحظة اصطدامها بالفرشة 2 م/ث، والزمن اللازم لسكونها 0.2 ث. فبيِّن أنّ متوسط القوة المؤثرة يساوي 10 نيوتن.

(ج) لماذا تكون احتمالية تحطيم البيضة مع الفرشة المرتخية أقل منها لو كانت مشدودة؟

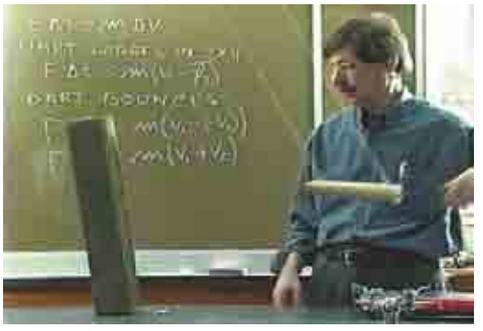
الحل:

(أ) من معادلة الزخم ودفع القوة، $Ft = \Delta(mv)$ ، وحيث إنّ البيضة تقترب من حالة السكون فإنّ $mv = \Delta mv$. وبحساب جبريّ بسيط نحصل على $F = \frac{mv}{t}$.

(ب) $F = \frac{mv}{t} = \frac{(1.0\ \text{kg})(2.0\ \frac{\text{m}}{\text{s}})}{(0.2\text{s})}$

$= 10\ \text{kg}.\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10\ \text{N}.$

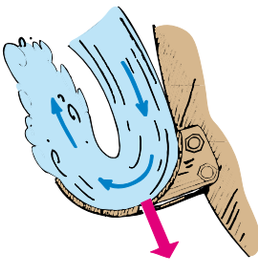
(ج) الزمن الذي تفقد خلاله البيضة زخمها عند اصطدامها بالفرشة المرتخية يكون أكبر. إنّ زيادة الفترة الزمنية تعني نقصان القوة التي تعمل على إيقاف البيضة. قوة أقل تعني احتمالية تحطيم أقلّ.



الشّكل 8.3
بيّن هوي براند (Howie Brand) أنّ الجسم تداعى للسقوط عندما ارتد عنه الرمح. وعند إزاحة قطعة المطاط عن رأس الرمح، فإنه لم يرتد عند ضربه بالجسم، وأنّ الجسم لم يتأرجح.

إذا افترضنا أنك ستلتقط بيدك الباقة الساقطة فإنك تزوّدها بدفع قوة لتقليل زخمها إلى الصفر. وإذا قمت بقذفها إلى الأعلى مرة أخرى، فعليك إعطاء دفع قوة إضافيّ. إنّ هذه الزيادة في دفع القوة هي نفسها التي يزوَّد بها رأسك عندما ترتد عنه باقة الورد.

حقيقة (أنّ دفع القوة يكون أكبر عند حدوث الارتداد) كانت قد استخدم بنجاح كبير خلال تدفق ذهب كاليفورنيا. إنّ دواليب الماء المستخدمة في عمليات مناجم الذهب لم تكن تعمل بفاعلية كبيرة. حدَّد لاستر بيلتون (Laster A. Pelton) المشكلة التي ترتبط بانبساط العجلات على دواليب الماء. لقد صمَّم عجلات منحنية تساعد الماء الداخل على عمل التفاف (U-turn) عندما يصطدم بالعجلات. وبسبب ارتداد الماء، يزداد دفع القوة المؤثر في دولاب الماء. وعليه، فقد حوّل بيلتون فكرته هذه إلى اختراع حصل منه على مردود مادي أكبر من أيّ اكتشاف لمنجم ذهب. وفي الحقيقة، فإنّ الفيزياء قد تغنيك بطرق متعددة وليس بطريقة واحدة.



الشّكل 9.3
عجلة بيلتون (Pelton). تسبب الشفرات المنحنية ارتداد الماء وعمل التفاف بحيث تنتج دفع قوة أكبر يعمل على إدارة العجلة.

نقطة فحص

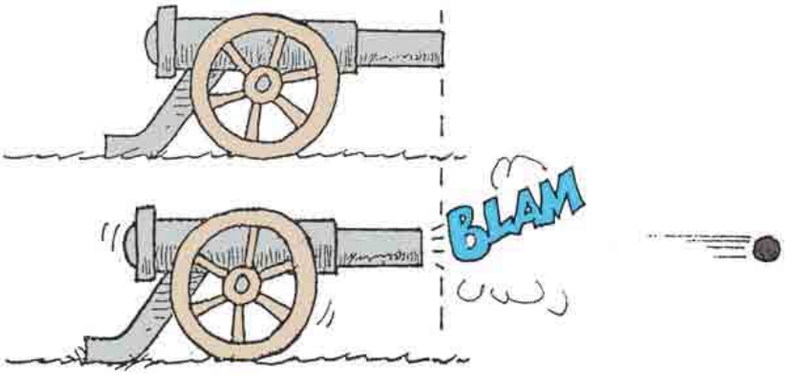
1. في الشّكل 7.3، كيف يمكنك المقارنة بين القوة التي أثرت بها كيسي (Cassy) في قطعة القرميد والقوة التي أثرت في يدها؟
2. كيف يختلف دفع القوة الناتج عن الضربة على القرميد إذا ارتدت يدها عن قطع القرميد المعرضة للضربة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. بالرجوع إلى قانون نيوتن الثالث حيث القوى متساوية، فإنّ إعادة الحيوية إلى اليد من خلال التدريب فقط يساعد على تقويتها. ويسمح لهذا العمل البطولي أن يتم دون أن يُحدث كسرًا في عظم اليد.
2. إنّ دفع القوة يكون أكبر إذا ارتدت يدها عن قطع القرميد. إذا لم يَزدَد زمن الضربة بناءً على ذلك فإنّ قوة أكبر عندئذٍ تؤثر في القرميد (واليد كذلك).

3.3 حفظ الزّخم

إنّ دفع القوة الخارجي بالنسبة إلى نظام ما هو فقط الذي يمكن أن يغيّر زخم ذلك النظام. إنّ القوى الداخلية ودفع القوى الداخلية لا تبذل شغلا. فمثلًا في الشّكل 10.3 مدفع يطلق قذيفة. إنّ القوة على قذيفة المدفع داخل المدفع تساوي القوة التي تعمل على ارتداد المدفع وتعاكسها. وبسبب تأثير هذه القوى خلال الفترة نفسها من الزمن، فإنّ دفعها يكون متساويًا ومتعاكسًا. وبالعودة إلى قانون نيوتن الثالث المتعلق بقوى الفعل ورد الفعل، فإنه يمكن تطبيقه كذلك على دفع القوى (*Impulses*). إنّ دفع القوى هذه تعدّ داخلية بالنسبة إلى نظام مكون من مدفع وقذيفة. وعليه، لا يحدث تغيُّر في زخم نظام المدفع وقذيفته. قبل إطلاق القذيفة، يكون النظام في حالة سكون. لذا، فإنّ زخمه صفر. وبعد إطلاق القذيفة، تبقى محصلة الزخم أو مجموع الزخم صفرًا. إذن، محصلة الزخم لا تكسب ولا تخسر.



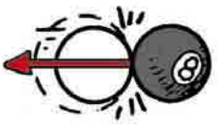
الشّكل 10.3
محصلة الزخم قبل الإطلاق صفر. وبعد الإطلاق تبقى محصلة الزخم صفرًا كذلك؛ لأنّ زخم المدفع يساوي زخم قذيفة المدفع ويعاكسه.

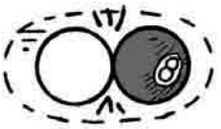
يشبه الزخمُ القوةَ والسرعةَ المتجهة؛ فهو يملك مقدارًا واتجاهًا. إنّه كمية متجهة. وهو كالسرعة والقوة يمكن أن يتلاشى. وهكذا، وعلى الرّغم من أنّ قذيفة المدفع في المثال السابق تكتسب زخمًا عند إطلاقها، في حين يكتسب المدفع المرتد زخمًا في الاتجاه المعاكس، فإنّه لا يوجد أيّ كسب بالنسبة إلى نظام المدفع وقذيفته. إنّ زخمَيْ قذيفة المدفع والمدفع نفسه متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه* . هذه الزخوم يلغي بعضها بعضًا بالنسبة إلى النظام ككل. *إن لم تكن هنالك محصلة قوة أو محصلة دفع قوة تؤثر في نظام ما، فإنّ زخم ذلك النظام لا يتغير.*

عندما لا يحدث تغير في الزخم، أو في أيّ كمية فيزيائية لنظام ما، نقول إنّ هذه الكمية محفوظة. ترتبط فكرة حفظ الزخم عندما لا تؤثر أيّ قوة خارجية، بقانون مركزي في الميكانيكا يسمى **قانون حفظ الزخم** الذي ينصّ على أنّ: **زخم النظام يبقى ثابتًا دون تغيير عند عدم وجود أيّ قوة خارجية.**

ولأيّ نظام حيث القوى جميعها داخلية، فإنّ محصلة الزخم لهذه الأنظمة قبل الحدث وبعده تكون هي نفسها. ومثال هذا: سيارات تتصادم، أنوية ذرية في حالة خلل إشعاعي، نجوم متفجرة.

نظام الكرة 8
(أ)


نظام الكرة البيضاء
(ب)


نظام الكرة 8 و الكرة البيضاء
(ج)

الشّكل 11.3
كرة بيضاء (الخصم). تصدم الكرة ذات الرقم 8 تصادمًا رأسيًّا. افترض أنّ هذا الحدث تمّ في ثلاث حالات: (أ) قوة خارجية أثرت في الكرة 8 وزاد زخمها. (ب) قوة خارجية أثرت في الكرة البيضاء وقلّ زخمها. (ج) عدم وجود قوة خارجية مؤثرة في الكرتين، وأنّ الزخم محفوظ .(ببساطة، انتقل من جزء من هذا النظام إلى جزء آخر).

* هنا، نهمل زخم الغازات المنبعثة من مسحوق البندقية المتفجرة الذي يمكن أخذها في الحسبان. إطلاق البندقية لقذائف فارغة ضمن مسافة قصيرة هو بالتأكيد لا يتحقق وذلك بسبب أهمية الزخم للغازات المنبعثة في هذه الحالة. وقد قتل أكثر من شخص بسبب هذه الطلقات الفارغة عندما كانوا قريبين من موقع الإطلاق. وفي عام 1998م، قام وزير من فلوريدا بعمل مثير أمام عائلته وأبناء الإبراشية بأن أطلق النار على رأسه من طلقة فارغة من مسدس 357 ماجنوم. وعلى الرغم من عدم انطلاق شيء من البندقية إلا أنّ الغاز المنبعث كان كافيًا لقتله. وعليه، وبتعبير صريح وواضح، فإنّ زخم الطلقة (إذا كانت موجودة) + زخم الغاز المنبعث يساوي زخم البندقية المرتدة.

■ **نقطة فحص**

1. ينصّ قانون نيوتن الثاني على أنه إذا انعدمت القوة المحصلة على نظام ما، فإنه لا يحدث تسارع لذلك النظام. هل يكون نتيجة ذلك عدم تغيُّر في الزخم؟
2. ينصّ قانون نيوتن الثالث على أنّ القوة التي يؤثر بها المدفع في قذيفته تكون مساوية ومعاكسة للقوة التي تؤثر بها قذيفة المدفع في المدفع نفسه. هل يشير هذا إلى أنّ دفع القوة المؤثر في القذيفة من المدفع يكون مساويًا ومعاكسًا لدفع القوة الناجم عن قذيفة المدفع على المدفع؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. نعم؛ لأنّ عدم وجود تسارع يعني عدم حدوث تغيّر في السرعة أو في الزخم. (الكتلة × السرعة). طريقة أخرى للتفسير. وهي أنّ عدم وجود قوة يعني عدم وجود محصلة دفع قوة. ومن ثم، عدم تغيّر في الزخم.
2. نعم؛ لأنّ التفاعل بينهما يحدث خلال الفترة الزمنية نفسها. ولأنّ الزمنين متساويان والقوى متساوية ومتضادة فإنّ قوى الدفع، Ft، كذلك تكون متساوية ومتعاكسة. إنّ دفع القوة كمية متجهة ويمكن أن تتلاشى.

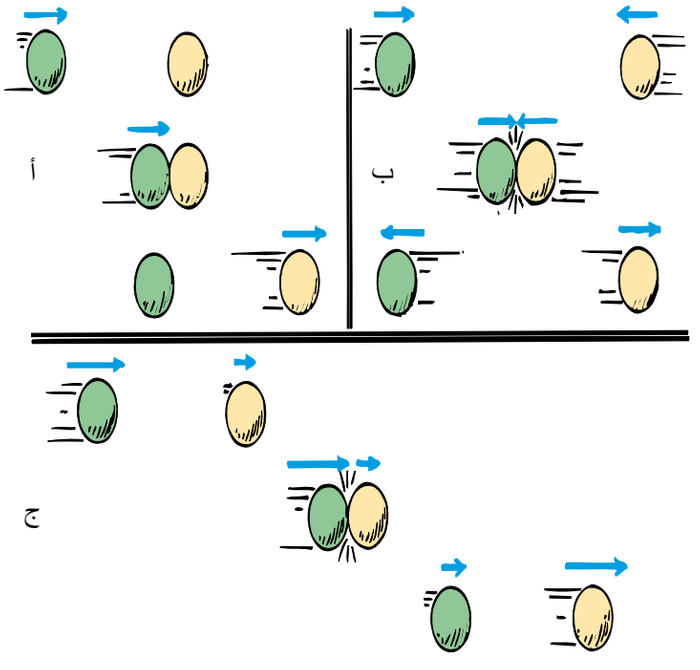
التصادمات

إنّ تصادم الأجسام يوضح تمامًا حفظ الزخم. عندما تصطدم أجسام في حالة عدم وجود قوى خارجية فإنّ محصلة زخم الأجسام المتصادمة قبل التصادم وبعده تكون هي نفسها.

محصلة الزخم قبل التصادم = محصلة الزخم بعد التصادم

ويكون هذا صحيحًا بغض النظر عن الكيفية التي يمكن أن تكون عليها حركة هذه الأجسام قبل اصطدامها.

عندما تصطدم كرة بلياردو متحركة تصادمًا رأسيًّا مع كرة أخرى ساكنة فإنّ الكرة المتحركة تسكن، أمّا الأخرى فتتحرك بسرعة الكرة التي اصطدمت بها. وهذا ما يطلق عليه **تصادمًا مرنًا مثاليًا (Elastic Collision)**. إنّ الأجسام المتصادمة ترتد دون تشوه دائم أو إنتاج حرارة (الشّكل 12.3). إلا أنّ الزخم يكون محفوظًا حتى إن التصقت الأجسام المتصادمة معًا خلال التصادم. وهذا ما يسمى **تصادمًا غير مرن (Inelastic Collision)**. ويمكن أن يوصف بإحداث تشوه أو إنتاج حرارة أو كليهما. في التصادم غير المرن الكامل، تلتصق الأجسام معًا. تأمّل، على سبيل المثال، حالة عربة شحن تتحرك على مسار، وتصطدم بعربة شحن أخرى ساكنة موجودة على المسار (الشّكل 13.3). إذا كانت كلّ من العربتين لها الكتلة نفسها بحيث التحمتا معًا نتيجة التصادم، فهل يمكننا التنبؤ بسرعة المجموعة بعد التصادم؟



الشّكل 12.3
التصادم المرن بين كرتين لهما الكتلة نفسها. (أ) كرة خضراء تصطدم بكرة صفراء ساكنة. (ب) تصادم رأسي. (ج) تصادم كرات متحركة في الاتجاه نفسه. ينتقل الزخم في كلّ حالة من كرة إلى أخرى.

قوانين الحفظ

يصف قانون الحفظ بقاء كمية ما في النظام دون تغيير، بغض النظر عمَّا يحدث من تغيُّرات داخل هذا النظام؛ إنّه قانون الثبات خلال التغيّر. وسنرى في هذا الفصل أنّ الزخم لا يتغير خلال التصادمات. ونقول عندئذ إنّ الزخم محفوظ. كما أننا سنتعلم أنّ الطاقة محفوظة عندما تتحول كمية الطاقة- في الضوء على سبيل المثال- بشكل تام إلى طاقة حرارية عندما يتم امتصاص الضوء. وفي الملحق ب، سنرى أنّ الزخم الزاوي كمية محفوظة- أيًّا كانت الحركة الدورانية للنظام الكوكبي، فإن زخمه الزاوي يبقى ثابتًا ما دام النظام معزولا عن المؤثرات الخارجية. وفي الفصل 8، سنتعلم أنّ الشحنة كمية محفوظة، وهذا يعني أنّ الشحنة لا تستحدث ولا تفنى. وعندما ندرس الفيزياء النووية سنرى أنّ هذه القوانين وغيرها من قوانين الحفظ تحكم الكيانات دون المجهرية. إنّ قوانين الحفظ هي مصدر التبصر في عمق انتظام الطبيعة، وغالبًا ما تعدّ هذه القوانين هي الأكثر أساسًا في القوانين الفيزيائية. هل يمكنك أن تفهم أنّ أشياء في حياتك تبقى ثابتة في حين تتغير أشياء أخرى؟

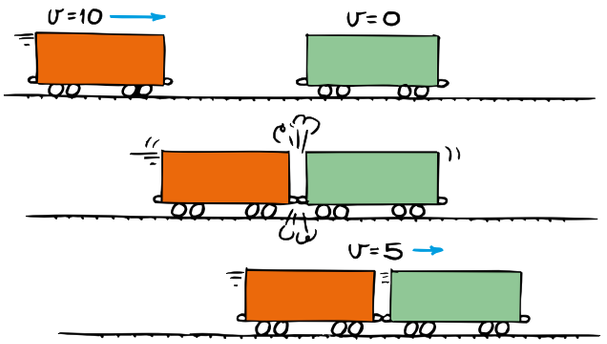
بافتراض أنّ سرعة العربة المتحركة 10 م/ث، وبافتراض أنّ كتلة كلّ عربة m. ومن قانون حفظ الزخم، فإنّ

$$(\text{محصلة } mv)_{\text{قبل}} = (\text{محصلة } mv)_{\text{بعد}}$$

$$(m \times 10 \text{ م/ث})_{\text{قبل}} = (2m \times v)_{\text{بعد}}$$

وبعملية حسابية بسيطة نجد أن $v = 5$ م/ث. وهذا له معنى، لأنّ جرَّك ضعفَي الكتلة بعد التصادم يعمل على تخفيض السرعة إلى نصف ما كانت عليه قبل التصادم. لاحظ أنّ جانبي المعادلة متساويان.

وهكذا نرى أنّ التغير في حركة الجسم يعتمد على القوة والفترة الزمنية التي تؤثر بها القوة. هذا يشير إلى الكمية: القوة X الزمن، ألا وهي دفع القوة. ولكن يمكن أن يشير أيضًا إلى الكمية: القوة X المسافة، وعندها نتكلم عن شيء مختلف تمامًا ألا وهي فكرة الطاقة.



الشّكل 13.3
تصادم غير مرن. إنّ زخم عربة النقل في يسار الشّكل يسهم بإعطاء زخم لعربة (يمين الشّكل) لها الكتلة نفسها بعد التصادم.

يكون الزخم محفوظًا في التصادمات جميعها؛ المرنة وغير المرنة (عند عدم وجود قوى خارجية).

الشّكل 14.3
شرح ول ماينز لمساره الهوائي. يتدفق الهواء من فتحات صغيرة بحيث تُكوِّن سطحًا عديم الاحتكاك للعربات المتحركة عليه.

■ **نقطة فحص**

افترض وجود مسار هوائي كما في الشّكل 14.3. بافتراض أنّ عربة كتلتها 0.5 كجم تنزلق على المسار، وتصطدم وتلتحم مع عربة أخرى ساكنة كتلتها 1.5 كجم. إذا كانت سرعة العربة المنزلقة قبل التصادم $v_{قبل}$، فما سرعة انزلاق العربتين معًا بعد التصادم؟

هل كانت هذه إجابتك؟

استنادا إلى قانون حفظ الزخم، فإنّ زخم العربة ذات 0.5 كجم قبل التصادم = زخم العربتين الملتحمتين معًا بعد التصادم.

$$(0.5 \text{ كجم})\, v_{قبل} = (0.5 \text{ كجم} + 1.5 \text{ كجم})\, v_{بعد}$$

$$v_{بعد} = (0.5 \text{ كجم})\, v_{قبل} / (0.5 \text{ كجم} + 1.5 \text{ كجم}) = (0.5 \text{ كجم})\, v_{قبل} / 2 \text{ كجم}$$

$$= v_{قبل} / 4.$$

وهذا منطقي؛ لأنّ أربعة أضعاف الكتلة تتحرك بعد التصادم. وعليه، فإنّ العربتين معًا تنزلقان ببطء أكبر. الزخم نفسه يعني أنّ أربعة أضعاف الكتلة تنزلق بربع السرعة.

وهكذا نرى أنّ التغير في حركة الجسم يعتمد على القوة والفترة الزمنية التي تؤثر بها القوة. هذا يشير إلى الكمية: القوة X الزمن، ألا وهي دفع القوة. ولكن يمكن أن يشير أيضًا إلى الكمية: القوة X المسافة، وعندها نتكلم عن شيء مختلف تمامًا ألا وهو فكرة الطاقة.

■ 4.3 الطاقة والشغل

تعدّ الطاقة فكرة مركزية للعلوم جميعها. واتحاد الطاقة والمادة يشكل الكون. المادة شيء والطاقة محرك لهذا الشيء. ومن السهل إدراك فكرة المادة: فهي الشيء الذي يمكن مشاهدته، ونشمُّه ونحسُّ به. كما أنّ لها كتلة وتشغل حيزًا. وفي المقابل، فإنّ الطاقة شيء تجريدي (*abstract*)؛ حيث لا يمكننا رؤية ولا شمّ ولا تحسُّس معظم أشكالها. والمدهش هو أنّ فكرة الطاقة لإسحق نيوتن كانت غير معروفة، وكان وجودها لا يزال موضع نقاش حتى عام 1850م. وعلى الرغم من أنّ الطاقة مألوفة لدينا، إلا أنّ هناك صعوبة في تعريفها؛ لأنها ليست مجرد شيء ما، ولكنها كذلك شيء وفعل، وهذا ما يشبه اسم الفعل في اللغة مثلا. إنّ الأشخاص والأماكن والأشياء جميعها تملك طاقة، ولكننا نلاحظها عادةً عندما تنتقل أو تتحول فقط. تظهر الطاقة على شكل أمواج كهرومغناطيسية من الشمس، وهكذا نشعر بها بوصفها طاقة حرارية؛ تمتص من النبات، وكذلك تربط جزيئات المادة بعضها مع بعض، وهي موجودة في الغذاء الذي نأكله، وتصل إلينا من خلال الهضم. حتى أنّ المادة نفسها تتكاثف وتتجمع بوصفها طاقة، كما وصف أينشتاين ذلك بعلاقته الرياضية المشهورة $E = mc^2$ ، والتي سنتعرّفها في الجزء الأخير من هذا الكتاب. وبشكل عام، فإنّ **الطاقة (Energy)** خاصية للنظام تُمكّن من عمل شغل.

عندما تدفع عربة على الأرض فإنك تعمل شغلا. وللتعريف، القوة × المسافة = المفهوم الذي يطلق عليه **الشغل (Work)**.

تشير كلمة الشغل في الاستخدام المألوف للكلمة إلى إفراز فيزيائي أو ذهني. لا تخلط بين تعريف الفيزياء للشغل والمعنى المألوف له في الحياة اليومية.

عندما نرفع جسمًا ما عكس الجاذبية الأرضية، فإنّ هنالك شغلًا قد تمّ إنجازه. وكلما كان الجسم أثقل أو رُفع إلى مسافة أعلى كان الشغل المنجز أكبر. وهناك عاملان مهمان في إنجاز الشغل هما: 1. التأثير بقوة. 2. حركة شيء ما تحت تأثير تلك القوة. وفي أبسط الحالات حيث تكون القوة ثابتة والحركة على خط مستقيم وفي اتجاه القوة نفسها،* نُعرّف الشغل المنجز على جسم ما من قوة مؤثرة على أنّه حاصل ضرب القوة في المسافة التي يتحركها الجسم. وباختصار:

الشغل = القوة X المسافة

$$W = Fd$$

* لتعميم أشمل: الشغل هو حاصل ضرب مركبة القوة في اتجاه الحركة في المسافة المقطوعة. فمثلًا، إذا أثرت قوة في اتجاه يصنع زاوية مع اتجاه الحركة، مركبة القوة الموازية للحركة مضروبة في المسافة المقطوعة. عندما تؤثر القوة بشكل متعامد مع اتجاه الحركة، أي لا توجد مركبة للقوة في اتجاه الحركة، فلا يبذل أيّ شغل. ومثال عام على هذا هو حركة قمر في مسار دائري: قوة الجاذبية في هذه الحالة تكون متعامدة مع المسار الدائري. وعليه، لا يُبذل أيّ شغل على القمر. وهكذا، فإنّ القمر يدور دون أيّ تغيير في قيمة سرعته.

إذا رفعنا جسمين نحو الأعلى لارتفاع طابق فإننا ننجز شغلًا ضعف ذلك الشغل اللازم لرفع جسم واحد للارتفاع نفسه؛ لأنّ *القوة* اللازمة لرفع ضعف الوزن هي ضعف القوة. وبالمثل، إذا رفعنا جسمًا معينًا لارتفاع طابقين بدلًا من طابق واحد فإننا نبذل ضعف الشغل أيضًا؛ لأنّ *المسافة* قد تضاعفت.

يتضمن تعريف الشغل كلًّا من القوة والمسافة. رافع الأثقال الذي يرفع أثقالًا تزن 1000 نيوتن فوق رأسه لا يبذل أيّ شغل على الأثقال. إنّه مُتعب بسبب حمله لهذه الأثقال، ولكن إذا لم تكن هذه الأثقال في حالة حركة تحت تأثير القوة، فعندها ليس هنالك شغل مبذول على *الأثقال* هذه. وقد يكون الشغل مبذولا على العضلات بتمددها وانقباضها، والذي هو عبارة عن القوة مضروبة في المسافة على المقياس البيولوجي، ولكن هذا الشغل لا ينجز على الأثقال. ومن ناحية أخرى، فإنّ رفع الأثقال أمر مختلف. عندما يرفع حامل الأثقال الحاملة من الأرض، نقول إنّه بذل شغلًا عليها.

وحدة قياس الشغل هي تراكب وحدة القوة (N، نيوتن) مع وحدة المسافة (m، متر) وحدة الشغل هي نيوتن -متر (N . m) وتسمى أيضًا جول (J). إنّ الجول الواحد من الشغل ينجز عندما تؤثر قوة نيوتن واحد عند الحركة مسافة متر واحد عندما ترفع تفاحة فوق رأسك. ونستطيع أن نستخدم قيمًا أكبر للشغل، منها كيلو جول (kJ، ألف جول)، أو الميجا جول (MJ، مليون جول). يبذل رافع الأثقال في الشّكل 16.3 شغلا بالكيلو الجول. لإيقاف شاحنة مملوءة بالأثقال وتتحرك بسرعة 100 كم/ساعة؛ يتطلب ذلك شغلًا بالميجاجول.

الشّكل 15.3
قد يستهلك هذا الشخص طاقة عندما يدفع الحائط، ولكن إذا لم يتحرك الحائط فليس هناك أيّ شغل مبذول عليه. وتصبح الطاقة المستهلكة طاقة حرارية.

■ نقطة فحص

بافتراض أنك شخص متوسط القوة، هل يمكنك رفع جسم كتلته 160 كجم بيديك؟ هل يمكنك بذل شغل مقداره 1600 جول على الجسم؟

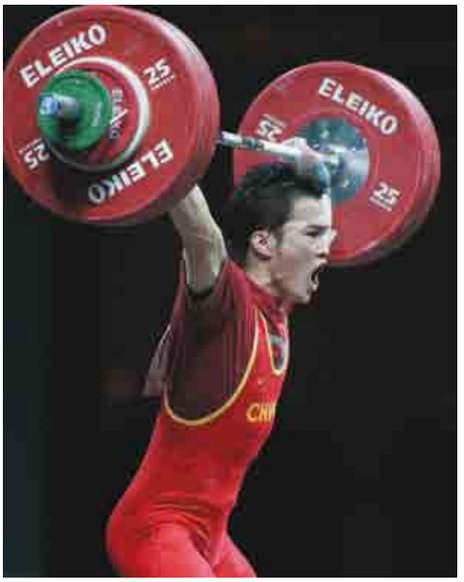
هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ جسما ما كتلته 160 كجم، ويزن 1600 نيوتن أو 352 باوندًا (وزن ثلاجة كبيرة) لا يمكنك رفعه دون الاستعانة بوسيلة ما. إذا لم تكن قادرًا على تحريكه فإنك لا تبذل عليه شغلا. ويمكنك بذل شغل 1600 جول عليه إذا كان يمكنك رفعه مسافة عمودية 1م.

طاقة الوضع (Potential Energy)

إنّ أيّ جسم ما يمكنه تخزين طاقة بتأثير موقعه. وتسمى الطاقة التي تُخزَّن وتقيد **طاقةَ الوضع *(PE) (Potential Energy)*** لأنها في حالة تخزين، ولها المقدرة على إنجاز شغل. فمثلًا، يملك زنبرك مضغوط أو مسحوب المقدرةَ على إنجاز شغل. عندما تتقوّس أداة رمي السهام، فإنّ هنالك طاقة مخزنة في القوس. والقوس يبذل شغلًا على السهم. كما أنّ شريطًا مطاطيًّا مشدودًا يملك طاقة وضع بسبب الموقع النسبي لأجزائه المختلفة. إذا كان الشريط المطاطي جزءًا من مقلاع حجارة مثلًا، فإنّ ذلك يمكّن من بذل شغل.

إنّ الطاقة الكيميائية في الوقود هي أيضًا طاقة وضع. هي فعلًا طاقة وضع في المستوى دون المجهري. وهذه الطاقة متاحة عندما تكون مواقع الشحنات الكهربائية ضمن الجزيئات وبينها قابلة للتغيير. وهذا يعني عندما يحدث تغير كيميائي. إنّ أيّ مادة يمكن أن تبذل شغلًا خلال الفعل الكيميائي تمتلك طاقة وضع. وهذه الطاقة موجودة في الوقود الأحفوري، وفي البطاريات الكهربائية، و كذلك في الغذاء الذي نستهلكه.



الشّكل 16.3
الشغل المبذول في رفع حاملة الأثقال.

يجب أن يكون هناك شغل لرفع جسم عكس الجاذبية الأرضية. وتسمى طاقةُ الوضع الناتجة عن الرفع لمواقع مختلفة طاقةَ *وضع الجاذبية*. إنّ الماء في خزان مرتفع، ومدق الخوازيق المرتفع كلاهما يملك طاقة وضع جاذبية. وعندما يتم إنجاز شغل ما، يكون هنالك تحول في الطاقة.

إنّ كمية طاقة وضع الجاذبية التي يملكها جسم مرفوع تساوي الشغل اللازم إنجازه ضد الجاذبية لرفع ذلك الجسم. والشغل المنجز يساوي القوة اللازمة لتحريك الجسم نحو الأعلى مضروبة في المسافة العمودية التي يتحركها ذلك الجسم (تذكّر أنّ $W = Fd$). إنّ القوة العمودية إلى الأعلى اللازمة لتحريك الجسم بسرعة ثابتة تساوي وزن الجسم، mg وعليه، فإنّ الشغل المنجز لرفع الجسم مسافة عمودية h هو الناتج mgh.

طاقة وضع الجاذبية = الوزن X المسافة العمودية

$$PE = mgh$$

لاحظ أنّ الارتفاع هو المسافة العمودية فوق مستوى مرجعي يتم اختياره، كسطح الأرض أو كسطح بناية. طاقة وضع الجاذبية، mgh هي نسبة لذلك المستوى، وتعتمد على كلّ من mg وh فقط. في الشّكل 18.3، يمكن ملاحظة أنّ طاقة الوضع لكرة مرفوعة لا تعتمد على المسار الذي تم اتباعه في رفعها.

الشّكل 17.3
تساوي طاقةُ الوضع للقوس الشغلَ (متوسط القوة × المسافة) الذي تقوم به عند تصويب السهم نحو الهدف. عندما يطلق السهم فإنّ معظم طاقة الوضع للقوس والسهم تصبح طاقة حركة للسهم.

طاقة الحركة (Kinetic Energy)

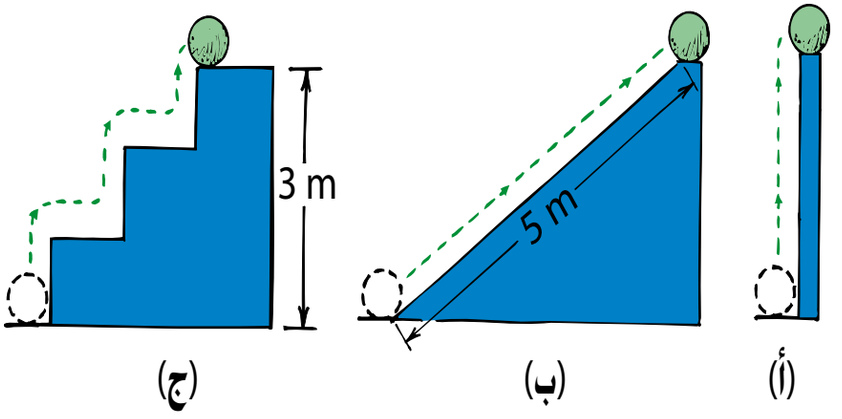
إذا أثّرتَ بقوة دفع في جسم ما فإنك تعمل على تحريكه. وإذا كان جسم ما في حالة حركة فهو يملك المقدرة على إنجاز شغل، أي أنه يملك طاقة في حالة حركته. وعندها نقول إنّه يملك طاقة حركة (KE). تعتمد **طاقة الحركة *(Kinetic Energy)*** لجسم ما على كلّ من كتلته وسرعته. وهذه الطاقة تساوي الكتلة مضروبة في مربع السرعة ومضروبة في الثابت $\frac{1}{2}$.

طاقة الحركة = $\frac{1}{2}$ الكتلة × مربع السرعة

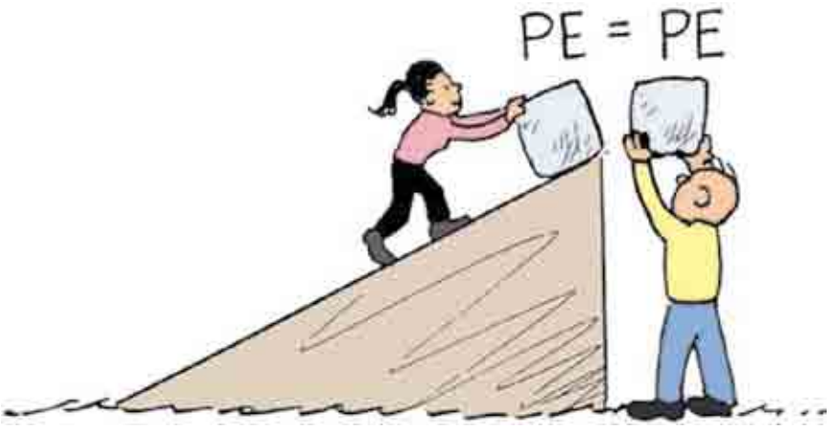
$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

في المتوسط، وزن حبة التفاح 1 نيوتن. عندما تكون على ارتفاع 1 م من سطح الأرض فإنها تملك طاقة وضع تساوي 1 جول.

إنّ طاقة وضع الجاذبية تتعلق دائمًا بجسمين متفاعلين؛ أحدهما بالنسبة إلى الآخر. يتفاعل مكبس المضخة، على سبيل المثال، مع الأرض من خلال قوة الجاذبية.



الشّكل 18.3
طاقة الوضع لكرة وزنها 10 نيوتن هي نفسها (30 جول) في الحالات الثلاث؛ لأنّ الشغل المبذول لرفعها 3 م هو نفسه سواء: (أ) رفعها بقوة 10 نيوتن، (ب) دفعها بقوة 6 نيوتن على سطح مائل طوله 5 م، أو (ج) رفعها بقوة 10 نيوتن على كلّ درجة. لا يوجد شغل مبذول في تحريكها أفقيًا (الاحتكاك مهمل).



الشّكل 19.3
الفتى يرفع مكعبًا من الثلج بشكل عمودي. والفتاة تدفع مكعبًا مشابهًا إلى أعلى سطح مائل. هل هما يبذلان الشغل نفسه؟ وهل كلا المكعبين عندما يرتفعان إلى العلوّ نفسه يكتسبان طاقة الوضع نفسها؟

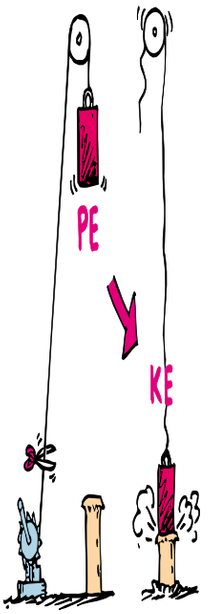
عندما تقذف كرة فإنك تبذل شغلًا عليها لإكسابها سرعة عند مغادرتها يدك. وقد تصدم الكرة المتحركة شيئًا ما وتدفعه. أي أنّها تبذل شغلًا عليه. إنّ طاقة الحركة للجسم المتحرك تساوي الشغل اللازم لتغيير حالته من السكون إلى تلك السرعة. أو الذي يمكن أن يبذله الجسم في حين تعمل على إيقافه.

محصلة القوة X المسافة = طاقة الحركة

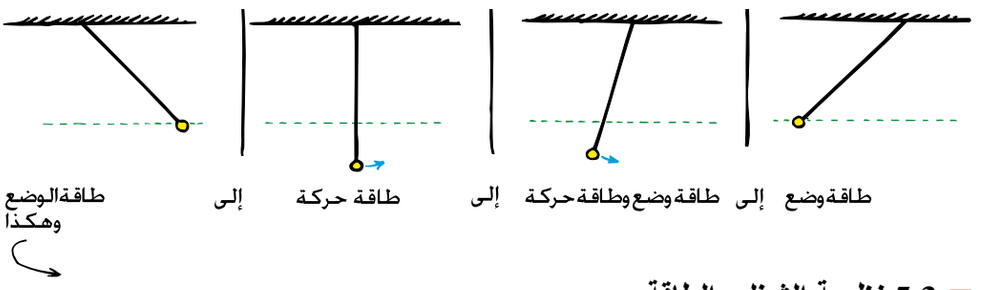
وبالرمز:

$$Fd = \frac{1}{2}mv$$

لاحظ أنّ المعادلة تحوي مربع السرعة. إذن تتضاعف طاقة حركة الجسم أربع مرات ($2^2 = 4$) عند مضاعفة سرعته. وهكذا، إذا أردنا مضاعفة السرعة فإننا نحتاج إلى أربعة أضعاف الشغل. وعندما يُبذل شغل ما، فسيكون هناك تغيّر في الطاقة.



الشّكل 20.3
تتحول طاقة الوضع لمكبس المضخة المرفوع إلى طاقة حركة عند سقوطه.



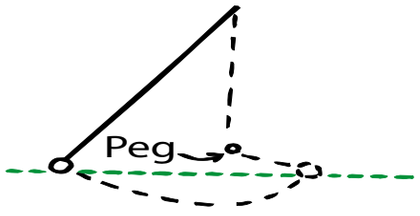
الشّكل 21.3
انتقال الطاقة في البندول. طاقة الوضع (PE) بالنسبة إلى أدنى نقطة في البندول عندما يكون عموديًّا.

5.3 نظرية الشغل والطاقة

عندما تزداد سرعة سيارة فإنّ طاقة الحركة المكتسبة تأتي من الشغل المبذول عليها. أو عندما تتباطأ سيارة متحركة، فإنّ هنالك شغلًا يبذل لتقليل طاقة حركتها. ومن هنا نستطيع القول

الشغل = ΔKE

الشغل يساوي *التغير* في طاقة الحركة. وهذه هي **نظرية الشغل والطاقة (Work - Energy Theorem).**



الشّكل 22.3
كرة البندول تتأرجح إلى ارتفاعها الأصلي سواء أكان الوتد (Peg) موجودًا أم غير موجود.

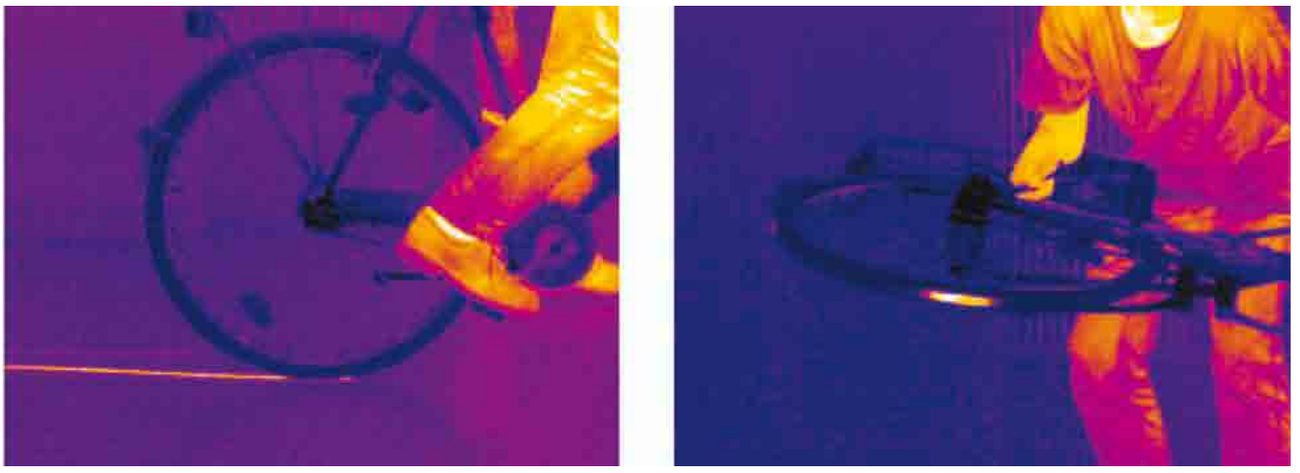
الشّكل 23.3
تنتج سرعة إقلاع كبيرة بسبب "السقوط" لعربة الدولاب أسفل المنحدر، وترفعها هذه الطاقة الحركية إلى أعلى المسار الحاد إلى القمة التالية.

إنّ نظرية الشغل والطاقة تؤكد على وظيفة التغيير. إذا لم يكن هناك تغيُّر في طاقة جسم ما فإننا سنعرف أنه لا توجد محصلة شغل مبذول عليه. ويمكن تطبيق هذه النظرية أيضًا على التغير في طاقة الوضع. وبالعودة إلى المثال السابق المتعلق برافع الأثقال، عندما يُبذل شغل على الأثقال فإنّ طاقة وضعها تتغير. ولكن بمجرد رفعها فإنه لا يُبذل أيّ شغل إضافي عليها. وهذا يبيّن عدم التغير في طاقتها.

وبالمثل، إذا دفعت صندوقًا موضوعًا على الأرض ولم ينزلق، فأنت لم تبذل أيّ شغل عليه. لايوجد أيّ تغيير في طاقة حركته. ولكن إذا دفعت الصندوق بقوة أكبر بحيث تحرّك فعندها تكون قد بذلت شغلا. وعندما يكون الشغل المبذول للتغلب على الاحتكاك قليلًا فإنّ مقدار الشغل المبذول على الصندوق عمليّا يكافئ طاقة الحركة المكتسبة.

تطبّق نظرية الشغل والطاقة كذلك في حالة تقليل السرعة. إنّ الطاقة لازمة لتقليل سرعة جسم متحرك بحيث يصل إلى حالة السكون. عندما ندوس على كوابح سيارة متحركة لإيقافها فإننا نبذل شغلًا عليها. وهذا الشغل هو قوة الاحتكاك المزوَّدة من الكوابح مضروبة في المسافة التي تؤثر خلالها قوة الاحتكاك. وكلما كانت طاقة الحركة التي يملكها جسم ما أكبر كان الشغل اللازم لإيقافه أكبر أيضًا.

من المهم معرفة أنّ الاحتكاك المزود من الكوابح هو نفسه، بغض النظر عمّا إذا كانت السيارة بطيئة أو سريعة في حركتها. إنّ الاحتكاك بين السطوح الصلبة لا يعتمد على السرعة، بل إنّ المتغير الذي يؤدي إلى اختلاف هو مسافة الكبح. تحتاج السيارة المتحركة بضعف سرعة سيارة أخرى إلى أربعة أضعاف (2^2 =4) الشغل لكي تتوقف. وهكذا فإنها تسير أربعة أضعاف المسافة قبل أن تتوقف. إنّ محققي الحوادث يدركون تمامًا أنّ السيارة التي تسير بسرعة 100 كم/ ساعة تملك أربعة أضعاف طاقة الحركة لسيّارة تتحرك بسرعة 50 كم/ ساعة. وهكذا فإنّ السيارة المتحركة بسرعة 100 كم/ساعة، عند الدّوس على الكوابح، تنزلق أربعة أضعاف المسافة التي تنزلقها لو تحركت بسرعة 50 كم/ساعة. إنّ طاقة الحركة تعتمد على *مربع* السرعة.



الشّكل 24.3
بسبب الاحتكاك، تنتقل الطاقة إلى كلّ من العجلة والأرض عند العمل على إيقاف العجلة. تكشف آلة تصوير تحت الحمراء مسار العجلة الساخن (الخط الأحمر على الأرض، يسار) وسخونة العجلة (اليمين) (موافقة ميخائيل فولمر).

* ويمكن اشتقاق ذلك كالتالي: إذا ضربنا طرفي المعادلة $F = ma$ (قانون نيوتن الثاني) بالقيمة d ، سنحصل على $Fd = mad$. تذكر من الفصل الثاني أن ما يتعلق بالتسارع الثابت $d = \frac{1}{2}at^2$. وبذلك نستطيع القول أن $Fd = ma(\frac{1}{2}at^2) = \frac{1}{2}maat^2 = \frac{1}{2}m(at)^2$ ؛ وبتعويض $v = at$ نحصل على $Fd = \frac{1}{2}mv^2$. وهذه هي معادلة الشغل $W = KE$ وبصورة أدق $W = \Delta \mathrm{KE}$.

تُحوِّل كوابحُ السيارة طاقةَ الحركة إلى حرارة. السائقون المتمرّسون يتعاملون بطريقة أخرى لإبطاء حركة السيارة، وهي اللجوء إلى ناقل حركة أبطأ يقوم بدور الكوابح في السيارة. تعمل السيارات الهجينة (هايبرد) في الوقت الحاضر الشيءَ نفسه، وذلك بتحويل طاقة الكوابح إلى بطاريات حفظ الكهرباء؛ حيث تُستخدم متمّمًا للطاقة الناتجة عن احتراق البنزين (الفصل 9 يفصّل كيفية ذلك).

إنّ طاقتي الحركة والوضع شكلان من أشكال متعددة للطاقة، وتشكلان أساسًا للأشكال الأخرى من الطاقة، كالطاقة الكيميائية، والطاقة النووية، والصوت، والضوء. تتعلق طاقةُ الحركة في الحركة الجزيئية العشوائية بدرجة الحرارة، في حين تتعلق طاقات الوضع للشحنات الكهربائية بفرق الجهد. أمّا طاقتا الحركة والوضع للهواء المتذبذب فتعرِّفان شدة الصوت. حتى أنَّ طاقة الضوء تنتج أصلًا عن حركة الإلكترونات في الذرات. إنّ كلّ شكل من أشكال الطاقة يمكن أن يتحول إلى أشكال أخرى من الطاقة.

■ نقطة فحص

1. عندما تقود عربة بسرعة 90 كم/ساعة، فكم تزيد المسافة التي تحتاج إليها لتتوقف عمّا لو كنت تقود السيارة بسرعة 30 كم/ساعة؟
2. للقوة نفسها، لماذا يعطي المدفع الأطول سرعة أكبر للقذيفة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. تسعة أضعاف طول المسافة. تملك العربة تسعة أضعاف طاقة الحركة عندما تسير بثلاثة أضعاف السرعة:

$\frac{1}{2}m(3v)^2 = \frac{1}{2}m9v^2 = 9\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$. قوة الاحتكاك تكون عادة هي نفسها في كلتا الحالتين. ولهذا، فإنّ تسعة أضعاف الشغل تحتاج إلى تسعة أضعاف المسافة.

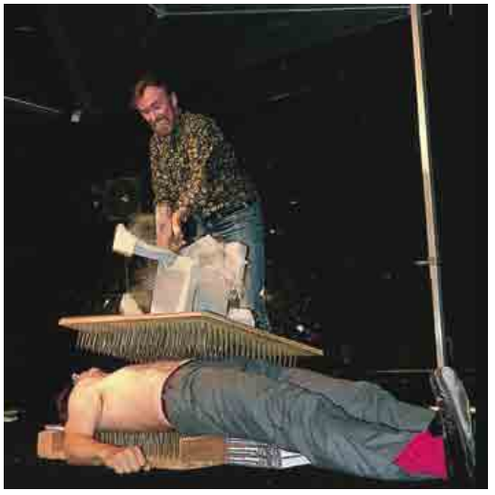
2. كما تعلمنا سابقًا، فإنّ أسطوانة المدفع الأطول تزود دفع قوة أكبر بسبب الزمن الأطول الذي تؤثر خلاله القوة. وبالمثل فإنّ نظرية الشغل والطاقة توضح أنه كلما زادت المسافة التي تؤثر خلالها القوة زاد التغير في طاقة الحركة. ولهذا فإننا نرى سببين للمدفع الأطول لإنتاج سرعة أكبر لقذيفته.

مقارنة بين طاقة الحركة والزخم

إنّ كلًّا من الزخم وطاقة الحركة خصائص للأشياء المتحركة، ولكنهما مختلفان. وكالسرعة، فإنّ الزخمَ كميةٌ متجهة، وهكذا فهي اتجاهية. وعليه فإنّها قد تتلاشى. أما طاقة الحركة فهي كمية غير متجهة (قياسية) كالكتلة. ولهذا فهي غير قابلة للتلاشي. إنّ زخمي مفرقعتين ناريتين يمكن أن يتلاشيا عندما تقترب إحداهما من الأخرى، ولكن عند انفجارهما لا يمكن أن تتلاشيا طاقتاهما. إنّ الطاقات تتحول إلى أشكال أخرى من الطاقة، ولكن الزخم ليس كذلك. وهناك فرق آخر هو أنّ كليهما يعتمد على السرعة؛ حيث يعتمد الزخم على السرعة (mv)، في حين تعتمد طاقة الحركة على مربع السرعة ($\frac{1}{2}mv^2$).

يتحرك جسم ما بسرعة تساوي ضعف سرعة جسم آخر له الكتلة نفسها. وعليه، فإنه يمتلك ضعف الزخم، ولكنه يمتلك أربعة أضعاف طاقة الحركة. فإذا تحركت سيارة بضعف السرعة وتحطمت، فإنها تتحطم بأربعة أضعاف الطاقة.

إذا كان التمييز بين الزخم وطاقة الحركة ليس واضحًا لك، فإنك في مجموعة جيدة؛ لأنّ الفشل في التمييز بينهما ناتج عن عدم الاتفاق، وعن الخلاف بين أفضل الفيزيائيين البريطانيين والفرنسيين لقرنين من الزمان.



الشّكل 25.3
يضع المؤلف طاقة حركية وزخمًا في المطرقة التي تضرب لبنة موضوعة على جسم الفيزيائي بول روبنسون Paul Robinson الذي يستلقي بشجاعة بين سطحين من المسامير. ومع ذلك لم يلحق أذى ببول. لماذا؟ ما عدا الشظايا الأسمنتية المتطايرة، ينتقل كلّ جزء من زخم المطرقة إلى بول، ثمّ إلى الطاولة، ثمّ إلى الأرض التي تسنده. يزود الزخم بالصدمة القوة فقط، ولكن الأذى يأتي من الطاقة. إنّ معظم الطاقة الحركية لا تنتقل إليه؛ لأنها تذهب في تحطيم اللبنة إلى أجزاء وإلى طاقة حرارية. في حين تتوزع الطاقة المتبقية على أكثر من 200 مسمار ملامسة جسمه؛ لا تكفي القوة المحركة لكلّ مسمار لثقب جلده.

6.3 حفظ الطاقة

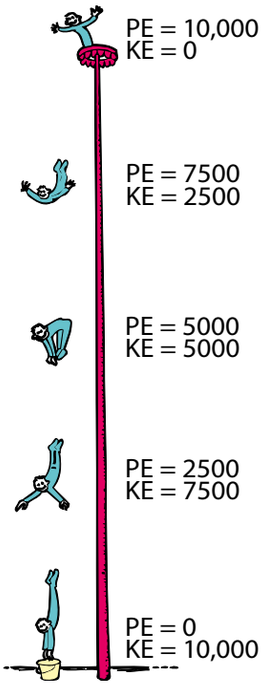
عند انتقال الطاقة أو تحولها، لا يوجد هنالك أيّ خسارة أو كسب في هذه الطاقة. وعند عدم وجود أيّ شغل داخلي أو خارجي، أو أيّ تبادل للطاقة، فإنّ مجموع طاقة النظام قبل عملية ما أو حدث ما يساوي مجموع الطاقة بعد تلك العملية أو ذاك الحدث.

بتأمل تغيرات الطاقة في عملية مدقّ الخوازيق (Pile driver) بالعودة إلى الشّكل 20.3. فإنّ الشغل المبذول لرفع المدقّ يعطيه طاقة وضع. وهذه الطاقة تتحول إلى طاقة حركة عندما يترك المدقّ. وتنتقل هذه الطاقة إلى الوتد في الأسفل. إنّ المسافة التي يخترقها الوتد في الأرض مضروبة في متوسط القوة المؤثرة تساوي طاقة الوضع الابتدائية للمدقّ تقريبًا. ونقول تقريبًا؛ لأنّ بعض الطاقة يذهب على شكل حرارة في الأرض، وفي المدق خلال اختراقه الأرض. وإذا أخذنا الطاقة الحرارية في الحسبان، فسنرى أنّها تتحول دون فقدان أو كسب. وهذا جدير بالملاحظة حقًّا!

إنّ دراسة الأشكال المختلفة للطاقة وتحولاتها قادت إلى أحد أهم قوانين الفيزياء:إنّه **قانون حفظ الطاقة (Law of conservation of Energy): الطاقة لا تستحدث ولا تفنى، ولكن قد تتحول من شكل إلى آخر، إلا أنّ مجموع الطاقة لا يتغير أبدًا.**

عندما نأخذ نظامًا تامًّا، سواء كان هذا النظام بسيطًا كما في حالة البندول المهتز، أو معقدًا كما في حالة انفجار نجم عظيم، فإنّ هنالك كمية لا تفنى ولا تستحدث؛ إنّها الطاقة. قد يتغير شكل الطاقة، أو تنتقل من موضع إلى آخر، إلا أنّ المؤكد هو بقاء مجموع الطاقة نفسه. إنّ قيمة هذه الطاقة تأخذ في الحسبان حقيقة أنّ الذرات المكونة للمادة هي نفسها التي تشكل الطاقة. عندما تعيد الأنوية (مراكز الذرات) ترتيب نفسها فإنّ كمية هائلة من الطاقة يمكن أن تتحرر. إنّ الشمس تشع لأنّ بعض الطاقة النووية تتحول إلى طاقة إشعاعية.

إنّ الانضغاط الهائل نتيجة الجاذبية ودرجات الحرارة المرتفعة جدًّا في عمق الشّمس يعمل على دمج أنوية ذرات الهيدروجين لتشكيل أنوية هيليوم. وهذا هو *الاندماج النووي الحراري*. تطلق هذه العملية طاقة إشعاعية يصل جزء قليل منها إلى الأرض. وهذا الجزء من الطاقة يسقط على النباتات (وبعض الكائنات الحية التي تقوم بالتمثيل الضوئي). وبعض هذه الطاقة أيضًا يخزّن لاحقًا في الفحم. وهناك جزء آخر من الطاقة يدعم الحياة في سلسلة الغذاء التي تبدأ بالنباتات (وغيرها من نواتج التمثيل الضوئي). كما أنّ بعض هذه الطاقة أيضًا يخزن في النفط. إلى جانب جزء آخر من الطاقة التي تصل الأرض يعمل على تبخير الماء من المحيطات، حيث يعود بعض هذا البخار إلى الأرض على شكل مطر يمكن تخزينه في السدود. وبسبب ارتفاع الماء خلف هذه السدود، فإنه يملك طاقة يمكن استغلالها لتشغيل المنشآت الصناعية حيث تتحول تلك الطاقة إلى طاقة كهربائية. تصل الطاقة إلى المنازل عبر أسلاك. وتستخدم هذه الطاقة في الإضاءة، والتسخين، والطبخ، وتشغيل الأدوات الكهربائية. ما أروع تحول الطاقة من شكل إلى آخر!



الشّكل 26.3
إنّ طاقة وضع لاعب السيرك عند أعلى العمود هي 10,000 جول. وعند سقوطه تتحول طاقة وضعه إلى طاقة حركة. لاحظ أنّ مجموع الطاقة ثابت عند المواضع المتتالية: ربع، نصف، ثلاثة أرباع، وعند أيّ ارتفاع يكون هذا اللاعب؟

حساب العلوم الطبيعية

■ **حلّ مسائل**

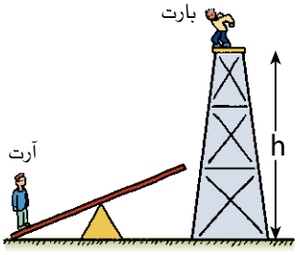
عينة مسألة

يقف البهلوان آرت وكتلته m على النهاية اليسرى لأرجوحة. يقفز البهلوان بارت وكتلته M من ارتفاع h على الجهة اليمنى من الأرجوحة، هكذا يرتفع آرت في الهواء.

أ. بإهمال عدم الكفاءة، ما طاقة وضع (PE) آرت عند أعلى نقطة يصلها مقارنة بطاقة وضع (PE) بارت قبل أن يقفز؟

ب. بين أنّ آرت في الحالة المثالية يصل إلى ارتفاع $\frac{M}{m}h$.

ج. إذا كانت كتلة آرت 40 كجم، وكتلة بارت 70 كجم، والارتفاع الذي قفز منه بارت 4 م، فبين أنّ الارتفاع الذي يصله آرت هو 7 م.



الحلّ:

أ. بإهمال عدم الكفاءة، فإنّ طاقة وضع (PE) بارت قبل أن يقفز تذهب إلى طاقة وضع للبهلوان آرت عند أعلى نقطة يصلها، وهذا يكون عند اللحظة التي تساوي عندها طاقة حركة (KE) آرت صفرًا.

ب. من (PE) لآرت = (PE) لبارت ⇐ (Mgh) لبارت =(mgh) لآرت ⇐ الارتفاع h

$$h_{\text{لآرت}} = \frac{M}{m}h$$

ج. $h_{\text{لآرت}} = \frac{M}{m}h$ = 4م × (70 كجم / 40 كجم) = 7م.

■ 7.3 القدرة

إنّ تعريف الشغل لم يتطرق إلى أيّ شيء حول الزمن المستغرق لإنجاز الشغل. يُبذل مقدار الشغل نفسه عند رفع سلّة مشتريات إلى طابق علوي، سواء أكان ذلك مشيًا أم ركضًا. إذن، لماذا نلهث أكثر في حالة الصعود إلى الأعلى في بضع ثوانٍ مقارنة بحالة الصعود خلال بضع دقائق؟ لفهم هذا الاختلاف؛ فإننا نحتاج إلى الحديث عن قياس سرعة إنجاز الشغل – القدرة. **القدرة (Power)** تساوي مقدار الشغل المنجز في وحدة الزمن:

القدرة = الشغل المنجز/ الزمن المستغرق

إنّ الشغل اللازم لصعود درج يحتاج إلى قدرة أكبر من قبل الشخص عندما يصعد بسُرعة من تلك التي يحتاج إليها عندما يصعد الدرج ببطء. إذا كانت قدرةُ عربة كبيرةً فإنها تنجز شغلًا أسرع. وإذا كانت قدرة محرك سيارة ضعف قدرة محرك سيارة أخرى فليس بالضرورة أن يحرك السيارة بسرعة مضاعفة أو مسافة مضاعفة. إنّ ضعف القدرة يعني أنّ المحرك يمكن أن يبذل ضعف الشغل في الفترة الزمنية نفسها، أو يمكنه بذل الشغل نفسه في نصف الفترة الزمنية. وأنّ محركًا قويًّا يمكن أن ينتج تسارعًا أكبر.

إنّ القدرة كذلك هي معدل تغير الطاقة من شكل إلى آخر. ووحدة القدرة هي جول لكلّ ثانية، والتي تسمى *واط*: تقديرا لجيمس واط (James Watt)، مخترع الآلة البخارية في القرن الثامن عشر. يستخدم واط واحد (W) من القدرة عندما يتم إنجاز جول واحد من الشغل في ثانية واحدة. كيلو واط (kW) يساوي 1000 واط. ميجا واط (MW) يساوي مليون واط.

لمعلوماتك

■ يستخدم القلب أكثر من 1 واط قليلًا من القدرة في ضخ الدم خلال الجسم.

الشّكل 27.3

إنّ الطاقات الرئيسة الثلاث لمكوك الفضاء يمكن أن تُظهر ما مقداره 33,000 ميجاواط من القدرة عند احتراق الوقود بنسبة عالية جدًّا، 3400 كجم/ثانية. وهذا يشبه تفريغ بركة سباحة متوسطة الحجم في 20 ثانية.

8.3 الآلات

الآلة (Machine) أداة مضاعفة القوى، أو – ببساطة - أداة تغيير اتجاه القوى. إنّ القاعدة المفهومة ضمنًا لكلّ آلة هي حفظ الطاقة. ولنأخذ **الرافعة (Lever)** بوصفها واحدة من أبسط هذه الآلات (الشّكل 28.3). في الوقت نفسه الذي يبذل فيه شغل على أحد طرفي الرافعة، فإنّ الطرف الآخر من الرافعة يبذل شغلًا على الحِمْل (*load*). ونرى أنّ اتجاه القوة يتغير؛ فإذا دفعنا نحو الأسفل فإنّ الحِمْل يرتفع إلى الأعلى. وبافتراض أنّ شغل قوة الاحتكاك قليل لدرجة يمكن إهماله فإنّ الشغل المُدْخل يساوي الشغل الناتج.

الشغل المُدْخل (input) = الشغل الناتج (output)

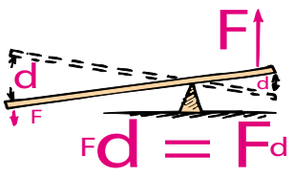
ولأنّ الشغل يساوي القوة مضروبة في المسافة، فإنّ **حفظ الطاقة للآلات (conservation of Energy for machines)** يؤكد أنّ القوة المُدخلة X المسافة= القوة الناتجة X المسافة الناتجة

(القوة X المسافة)$_{\text{المدخل}}$ = (القوةX المسافة)$_{\text{الناتج}}$

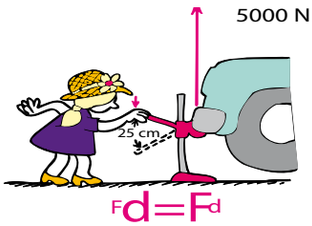
تسمى نقطةُ الدعم التي تدور عليها الرافعة نقطةَ ارتكاز. عندما تكون نقطة ارتكاز الرافعة قريبة نسبيًّا من الحمل، فإنّ قوة قليلة مدخلة تولد قوة كبيرة. وهذا بسبب أنّ القوة المدخلة تؤثر إلى مسافة طويلة من نقطة الارتكاز، في حين أنّ الحمل يتحرك مسافة قصيرة. وعليه فإنّ الرافعة يمكن أن تعمل على مضاعفة القوة. ولكن لا توجد آلة تضاعف أيًّا من الشغل أو الطاقة. هذا هو حفظ الطاقة بالتأكيد!

حاليًا، يمكن أن يستعمل فتى صغير مبدأ الرافعة لرفع مقدمة سيارة؛ إنّ التأثير بقوة صغيرة خلال مسافة طويلة يؤدّي إلى قوة كبيرة تؤثر في مسافة قصيرة. ولنأخذ مثالًا مناسبًا موضحًا في الشّكل 29.3. في كلّ مرة تضغط نحو الأسفل مسافة 25 سم فإنّ السيارة ترتفع فقط جزءًا في المئة ولكن بمئات الأضعاف من القوة.

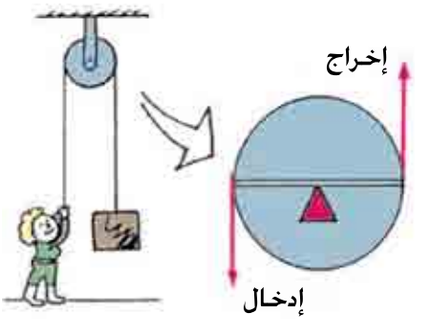
وهناك آلة بسيطة أخرى، البكرة. هل يمكنك تصورها رافعة بدرجة أقلّ؟ عندما تستخدم كما في الشّكل 30.3 فهي تُغيّر اتجاه القوة فقط. ولكن، عندما تستخدم كما في الشكل 31.3 فإنّ القوة الناتجة تكون مُضاعفة. إنّ القوة تزداد، بينما تقلّ المسافة. وهكذا لأيّ آلة، فإنّ القوى يمكن أن تتغير، أما الشغل المعطى والناتج فلا يتغيران.



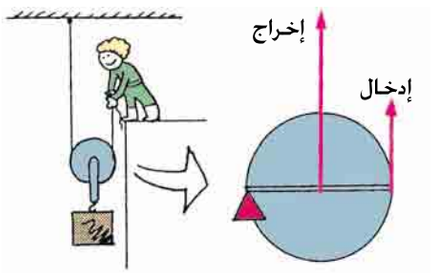
الشّكل 28.3
الرافعة



الشّكل 29.3
قوة التأثير X مسافة التأثير = القوة الناتجة X المسافة الناتجة.



الشّكل 30.3
تعمل هذه البكرة بوصفها رافعةً ذات ذراعين متساويين. إنها تغيّر اتجاه القوة المعطاة فقط.



الشّكل 31.3
في هذه الحالة، يمكن رفع ثقل بنصف القوة الداخلة. لاحظ أنّ نقطة الارتكاز في النهاية اليسرى، وليست في المركز (كما في حالة الشّكل 30.3).

لمعلوماتك

■ إن بناء آلة دائمة الحركة (آلة تنجز شغلًا دون طاقة داخلة) لا يمكن الحصول عليها أبدًا. إلا أنّ الحركة الدائمة نفسها موجودة: فالذرات وإلكتروناتها، والنجوم ومجراتها- على سبيل المثال- في حالة حركة دائمة. إنّ الحركةَ الدائمة نظامٌ طبيعيٌّ للأشياء.

لمعلوماتك

■ لقد توصل العالم اليوناني المعروف أرخميدس إلى مبدأ الرافعة في القرن الثالث الميلادي حيث قال: ”أعطني مكانًا أقف عليه وسوف أحرك الأرض“ .

إنّ القالب الخشبي، ومجموعة الحبال، والبكرات، هي نظام من البكرات التي تُضاعف القوة أكثر مما تفعله بكرة مفردة. وبملاحظة نظام بكرات مثالي كما في الشّكل 32.3 حيث يسحب شخص حبلًا طوله 7م بقوة 50 نيوتن، لرفع حمل وزنه 500 نيوتن مسافة 0.7 م عموديًا إلى الأعلى. نجد أن الشخص يستهلك طاقة في سحب الحبل تساوي عدديًّا الزيادة في طاقة وضع القالب الخشبي ذي الوزن 500 نيوتن. لقد انتقلت الطاقة من الشخص إلى الحمل.

إنّ أيّ آلة تعمل على مضاعفة القوة يكون على حساب المسافة. وبالمثل فإنّ أيّ آلة تضاعف المسافة -كما في حالة ساعد الذراع أو المرفق (الوصلة)- يكون ذلك على حساب القوة. وليست هنالك آلة أو أداة يمكن أن تعطي طاقة أكثر مما تأخذ. كما أنّه لا توجد آلة يمكنها استحداث الطاقة، ولكن يمكنها نقل الطاقة أو تحويلها من شكل إلى آخر فقط.

تستطيع الآلة مضاعفة القوة، ولكن ليس مضاعفة الطاقة أبدًا .

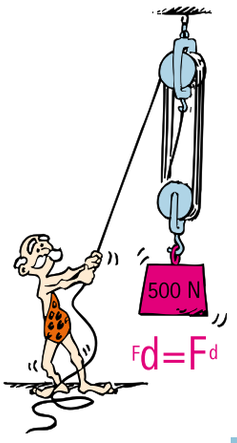
9.3 الفاعلية

إنّ الأمثلة الثلاثة السابقة هي *لآلات* مثالية 100% لأنّ الشغل المدخل يظهر بوصفه شغلًا منتجًا. تعمل الآلة المثالية بفاعلية تصل إلى 100%. ولكن لا يمكن حدوث ذلك من الناحية العملية. ويمكننا عدم توقع حدوث ذلك أبدًا. وفي أيّ تحوّل للطاقة، فإنّ بعضها يُبدّد بوصفه طاقة حركية جزيئية وطاقة حرارية. وهذا يعمل على تسخين الآلة وما يحيط بها.

يمكن التعبير عن **الفاعلية (Efficiency)** بالنسبة الآتية:

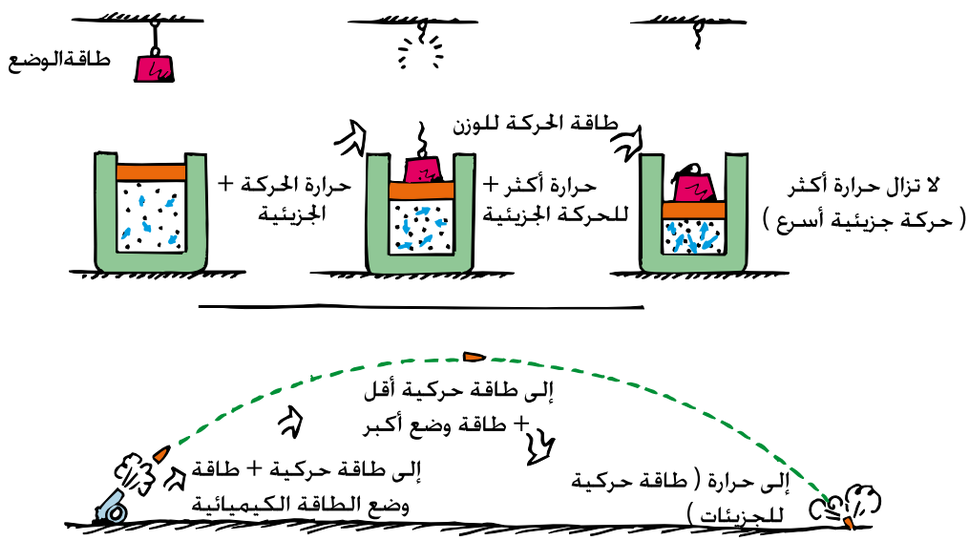
الفاعلية= الطاقة الناتجة المستخدمة / مجموع الطاقة المدخلة

حتى أنّ الرافعة تحوّل جزءًا صغيرًا من الطاقة المدخلة إلى حرارة عندما تدور هذه الرافعة حول نقطة ارتكازها. يمكن أن نبذل شغل 100 جول، ولكننا لن نحصل إلا على 98 جول فقط. وفي هذه الحالة، فإنّ الرافعة تكون فاعلة بنسبة 98% حيث نفقد 2 جول من الشغل المدخل على شكل حرارة. وهناك نسبة أكبر من الطاقة المدخلة تفقد على شكل حرارة في نظام البكرات. عندما نبذل 100 جول من الشغل فإنّ قوى الاحتكاك تؤثر خلال المسافات التي تدورها البكرات حول محاورها، ويمكن أن تستهلك 60 جول من الطاقة على شكل حرارة. وعليه فإنّ الشغل الناتج يكون 40 جول فقط، وفاعلية نظام البكرات في هذه الحالة تكون 40%. وكلما كانت فاعلية الآلة أقلّ كانت الطاقة المبددة في صورة حرارة أكبر*.



الشّكل 32.3
قوة التأثير X مسافة التأثير = القوة الناتجة X المسافة الناتجة

الطاقة طريقة طبيعية لتحقيق الأهداف.



الشّكل 33.3
انتقالات الطاقة. الطاقة الحرارية هي مقبرة الطاقة الميكانيكية.

لمعلوماتك

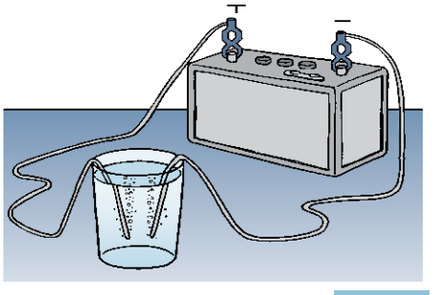
■ عند مقارنة الفاعلية بين وسائل التنقل، نلاحظ أنّ الشخص الذي يستعمل الدراجة الهوائية أكثر فاعلية كثيرًا من السفر بالقطار أو بالسيارة، بل أكثر من السمكة أو الحيوانات. ويعدّ هذا تشجيعًا لاستعمال الدراجة الهوائية ومستخدميها!

* عندما تدرس الديناميكا الحرارية في الفصل السادس، فسوف تتعلم أنّ آلة الاحتراق الداخلي يجب أن تحوّل جزءًا من طاقة وقودها إلى طاقة حرارية. ومن جهة أخرى، فإنّ خلية (بطارية) الوقود لا تتأثر بهذا التقييد. لاحظ أنّ خلية الوقود ستكون مشغل السيارات في المستقبل.

هناك تعريف بديل للطاقة هو أنّ أيّ شيء يمكن أن يتحول إلى حرارة.

لمعلوماتك

■ القدرة المتوافرة من ضوء الشّمس هي نحو 1 كيلو واط/م^2. إذا تمّ حصاد طاقة الشّمس الساقطة على متر مربع، فإنّ هذه الطاقة تولد 1000 واط.. وهناك بعض الخلايا الشمسية التي يمكنها تحويل 40% أو 400 واط/م^2. الطاقة الشمسية من خلال الأغشية الشمسية ضئيلة التكلفة المستعملة في مواد البناء، بما في ذلك المواد المستخدمة في السقوف والزجاج، تغيّر طريقتنا في إنتاج الطاقة وتوزيعها.



الشّكل 34.3

عند تمرير تيار خلال ماء موصل فإنّ فقاقيع من الهيدروجين تتشكّل على أحد الأسلاك، في حين تتشكّل فقاقيع الأكسجين على السلك الآخر. وهذا هو *التحليل الكهربائي*. أما خلية الوقود فتعمل عكس ذلك؛ يدخل كلٌّ من الهيدروجين والأكسجين خلية الوقود فيتفاعلان وينتجان كهرباء وماء.

■ **نقطة فحص**

تخيّل سيارة عجيبة تملك آلة احتراق داخلي ذات فاعلية 100%. وتحرق وقودًا بحيث تنتج 40 ميجاجول للتر الواحد (ميجاجول/لتر). إذا كانت مقاومة الهواء وقوى الاحتكاك على السيارة المتحركة على طريق عام سريع هي 500 نيوتن، فأثبت أنّ المسافة التي تقطعها السيارة لكلّ لتر بهذه السرعة هي 80 كم/لتر.

هل كانت هذه إجابتك؟

من التعريف، فإنّ الشغل = القوة × المسافة، وبإعادة ترتيب بسيطة فإنّ المسافة = الشغل / القوة. إذا تم استخدام الأربعين مليون جول جميعها من الطاقة لبذل شغل من أجل التغلب على المقاومة وقوى الاحتكاك، فإنّ المسافة تكون

المسافة = الشغل / القوة = (40,000,000 جول/لتر) / 500 نيوتن = 80,000 متر/لتر= 80 كم/لتر

(أي 190 ميل/جالون [*mpg*]) تقريبًا. الأمر المهم هنا هو أنه بافتراض وجود آلة مثالية فإنّ هناك حدًّا أقصى من الاقتصاد في الوقود يمليه قانون حفظ الطاقة.

■ 10.3 مصادر الطاقة

ما عدا الطاقة النووية، فإنّ المصدر الرئيس لطاقتنا كلّها هو الشمس. حتى أنّ الطاقة التي نستخلصها من البترول، والفحم، والغاز الطبيعي، والخشب جميعها من الشمس؛ لأن الوقود ينتج عن التركيب الضوئي؛ حيث تمتص النباتات الطاقة الشمسية وتخزنها على شكل أنسجة نباتية.

يقوم ضوء الشمس بتبخير الماء الذي يهطل لاحقًا على شكل مطر يجري في الأنهار ويخزّن في السدود، ثمّ مباشرة إلى مولدات وتوربينات. وبعد ذلك يعود إلى البحار لاستمرارية دورة الماء في الطبيعة. حتى أنّ الرياح الناجمة عن عدم تساوي سخونة سطح الأرض هي شكل من الطاقة الشمسية. نستطيع استخدام طاقة الرياح لتشغيل مولدات التوربينات من خلال طواحين الهواء المعدّة خصيصًا لذلك؛ لأنّ طاقة الرياح لا يمكن تشغيلها أو إيقافها عند الحاجة، إلا أنها حاليًّا تضيف إلى المتحجرات والوقود النووي إنتاج طاقة واسعة النطاق. إنّ استخدام الرياح أكثر فائدة بصورة عملية عندما نستطيع تخزين الطاقة الناجمة عنها لاستخدامها في المستقبل، كما في شكل الهيدروجين.

يعدّ الهيدروجين أقلّ أشكال الوقود تلويثًا. ينتج معظم الهيدروجين في الولايات المتحدة من الغاز الطبيعي باستخدام درجات حرارة عالية وضغط؛ لفصله عن جزيئات الهيدروكربون. وهذا ما يحدث تمامًا في حالة الوقود الأحفوري. إلا أنّ الجانب السلبي لفصل الهيدروجين عن مركبات الكربون هو إنتاج ثاني أكسيد الكربون الذي لا يمكن تجنبه، كما في حالة غاز البيت الزجاجي. إذن يمكن اللجوء إلى طريقة أبسط وأنظف، ولا تنتج غازات البيت الزجاجي، ألا وهي عملية *التحليل* الكهربائي التي تفصل فيها مكونات الماء كهربائيًّا. يوضح الشّكل 34.3 كيفية القيام بذلك في المختبر أو في البيت؛ يوضع سلكان موصولان إلى قطبي بطارية عادية في ماء مالح- تأكد من عدم تلامس السّلكين معًا. فتظهر على أحد السّلكين فقاقيع من الهيدروجين، في حين تظهر فقاقيع أخرى من الأكسجين على السلك الآخر. إنّ خليّة الطاقة شبيهة بهذا، إلا أنّها تعمل في اتجاه عكسي. يضغط الهيدروجين والأكسجين على القطبين الكهربائيين، في حين ينتج التيار الكهربائي خلال الماء. تستخدم السفن الفضائية خلايا الوقود لإنتاج الكهرباء وماء الشرب لروّاد الفضاء. أما على الأرض فقد استطاع الباحثون في مجال خلايا الوقود تطوير خلايا وقود للحافلات والسيارات والقطارات.

في الغالب، قد يبدأ توفير الهيدروجين بسكك حديد القطارات التي تعمل بخلايا الوقود بدلًا من عربات النقل الأخرى. ويمكن إنتاج الهيدروجين بالخلايا الشمسية، عدد منها على طول مسارات القطارات وعلى السكك الحديدية نفسها (الشّكل 35.3). تحوّل الخلايا الكهروضوئية ضوء الشمس إلى كهرباء. وهذا مألوف في الآلات الحاسبة التي تعمل بالطاقة الشمسية، وكذلك لوحات الإعلانات اللينة التي تعمل بهذه الطاقة. كما أنّ الخلايا الشمسية يمكنها تزويد الطاقة اللازمة لإنتاج الهيدروجين. ومن المهم معرفة أنّ الهيدروجين ليس *مصدرًا* للطاقة، بل إنّ الطاقة لازمة لإنتاج الهيدروجين (لاستخلاصه من الماء ومركبات الكربون). وكما في الكهرباء، فإنّ إنتاج الهيدروجين يحتاج إلى مصدر للطاقة. وهكذا، فإنّ الهيدروجين ينتج بشروط طرق التخزين ونقل الطاقة. وللتأكيد، فالهيدروجين ليس مصدرًا للطاقة.

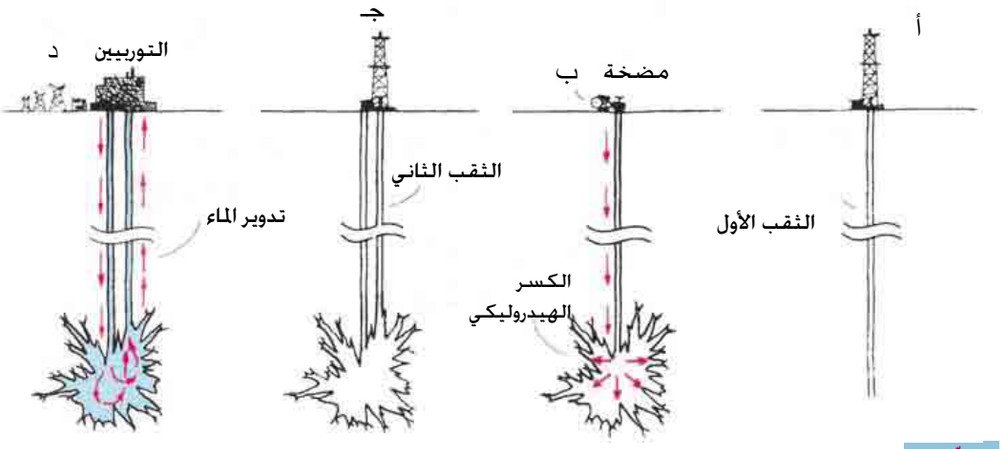
إنّ المصدر الأكثر تركيزًا للطاقة القابلة للاستخدام هو الموجود في الوقود النووي؛ أي اليورانيوم والبلوتونيوم. ولوزن الوقود نفسه، فإنّ التفاعلات النووية تطلق نحو مليون ضعف أكثر من تلك التي تنتج في تفاعلات الغذاء أو التفاعلات الكيميائية. لنعود مجددًا إلى أهمية هذا الشكل من الطاقة التي لا تحدث تلوثًا في البيئة. والمثير للاهتمام هو أنّ باطن الأرض يبقى حارًّا بسبب الطاقة النووية الملازمة لنا منذ البدء.

وهناك حصيلة ثانية للطاقة النووية في باطن الأرض ألا وهي الطاقة الحرارية الجيولوجية التي تبقى كخزان للماء الساخن تحت الأرض. وتستعمل هذه الطاقة لأغراض محددة لمساحات النشاط البركاني مثل أيسلندا، ونيوزلندا، واليابان، وهاواي؛ حيث تُسحب في هذه المناطق المياه الحارة القريبة من سطح الأرض لكي توفر البخار اللازم لتشغيل مولدات التوربينات.

وفي الأماكن التي تكون فيها حرارة النشاط البركاني قريبة من سطح الأرض، ولاتكون فيها مياه جوفية، فإنّ هناك طريقة أخرى واعدة لإنتاج الكهرباء، ألا وهي قدرة الحرارة الجيولوجية للصخور الجافة (الشّكل 36.3). وفي هذه الطريقة، يوضع الماء في جَاويف عميقة وجافة لصخور ساخنة. وعندما يتبخر الماء ثانية يُسحب إلى توربينات على السطح. وبعد أن يشغّل التوربين يعود الماء ثانية إلى الفجوة لكي يُستخدم مرة أخرى. وبهذه الطريقة يمكن إنتاج كهرباء نظيفة.

إنّ عدد سكان العالم في تزايد مستمر. لذا فإنّ الحاجة إلى الطاقة في تزايد مستمر أيضًا. يبحث التقنيون حاليًّا عن طرق جديدة ونظيفة لتطوير مصادر الطاقة مستعينين بقوانين الفيزياء وقواعدها. ولكنهم يتسابقون ليبقوا متقدمين على التزايد المطرد في عدد سكان العالم، وهذا مهم جدًّا، وخصوصًا في الدول النامية. ولكن لسوء الحظ، ما دامت الزيادة السكانية ترجع إلى الموروث الديني والسياسي بصورة سلبية، فإنّ الشقاء الإنساني يصبح هو الدلالة على النموّ السكانيّ غير المحدود. قال العالم ويلز (*في موجز التاريخ*): "تاريخ الإنسانية في سباق محموم بين الثقافة والكارثة".

الشّكل 35.3
يمكن استخدام القدرة المستخلصة من خلايا الجهد الضوئي لاستخلاص الهيدروجين في خلايا وقود المواصلات. إنّ مشاريع القطارات التي تسير بطاقة شمسية مجمّعة على قضبان سكك الحديد هي مشاريع على الورق. (انظر http://www.SuntrainUsa.com).



الشّكل 36.3
الطاقة الجيوحرارية للصخور الجافة. (أ) يُحفر ثقب بطول عدة كيلومترات في الجرانيت. (ب) يُضخ الماء في الثقب تحت ضغط عالٍ، ويحطم الصخور المجاورة، ويشكل فجوة بمساحة سطح أكبر. (ج) يُحفر ثقب ثان ليصل الفجوة. (د) يدور الماء في أحد الثقوب والفجوة، حيث يصبح فائق السخونة قبل رفعه من خلال الثقب الثاني. بعد تشغيل التوربين، يعاد تدويره إلى الفجوة الساخنة مرة أخرى لعمل دورة مغلقة.

لمعلوماتك

■ هناك مصدر آخر للطاقة ينشأ عن عمليتي المد والجزر المتلازمتين؛ حيث يعمل هذا المصدر على إدارة محركات ذات دواليب لإنتاج قدرة. ومن المهم معرفة أنّ هذا الشكل من الطاقة ليس نوويًّا ولا شمسيًّا. بل ينتج عن الطاقة الدورانية لكوكبنا.

علم غير مفيد

على العلماء أن يكونوا منفتحين على الأفكار الجديدة؛ فهكذا تطور العلم. ولكن لا يمكن دحض المعرفة الراسخة بسهولة. وهذا يتضمن حفظ الطاقة المتضمّنة في كل فرع علمي ومؤكد من عدد تجارب لا يحصى، من المستوى الذري إلى الكوني. وحتى الآن، لا يوجد مفهوم حظي بتفكير ساذج أكثر من الطاقة؛ كمحاولة الحصول على طاقة دون مقابل، وذلك عن طريق امتلاك آلة تعطينا طاقة أكثر مما نستهلك! وهذا هو العلم الساذج. يخصص أصحاب السلطة السُّذج استثمارات في مثل هذه المشاريع. ولكن لم ينجح أيّ منهم في الوصول إلى مبتغاه ليكوّن علمًا حقيقيًّا. قد يُكتشف في يوم ما أنّ هناك خللًا في حفظ الطاقة. وإذا حدث هذا فسيحتفل العلماء بهذا الإنجاز وهذه الانطلاقة. ولكن حتى الآن، يبقى حفظ الطاقة راسخًا كما هي المعرفة التي نملكها؛ فلا تراهن على ذلك (أي على وجود خلل في قانون حفظ الطاقة).

تنويه: عندما تتعرّف فكرة جديدة، فعليك التأكّد أولا من أنها لا تتعارض مع ما هو معروف. فعلى سبيل المثال، يجب ألا تتعارض مع قانون حفظ الطاقة.

ملخّص المصطلحات

الزّخم الخطّيّ Momentum: حاصل ضرب كتلة جسم ما في سرعته.

دفع القوة Impulse: حاصل ضرب القوة المؤثرة في جسم ما في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها القوة.

قانون حفظ الزخم Law of conservation of momentum: يبقى زخم النظام ثابتًا إذا لم تكن هناك قوة خارجية مؤثرة فيه. وهكذا فإنّ الزخم قبل حدث ما -بما يتضمنه من قوى داخلية- يساوي الزخم بعد الحدث.

$$mv_{\text{قبل}} = mv_{\text{بعد}}$$

تصادم مرن Elastic collision: تصادم بين أجسام دون إحداث تشوهات أو إنتاج حرارة.

تصادم غير مرن Inelastic collision: تصادم بين أجسام ينتج تشوهات فيها، أو ينتج حرارة أو يلصق هذه الأجسام بعضها ببعض.

الطاقة Energy: خاصية نظام قادر على بذل شغل.

الشغل Work: حاصل ضرب القوة في المسافة المقطوعة تحت تأثير القوة

$$W = Fd$$

(عمومًا، الشغل هو مركبة القوة في اتجاه الحركة مضروبة في المسافة المقطوعة.)

طاقة الوضع Potential energy: الطاقة التي تمتلكها المادة بسبب موقعها

$$PE_{\text{الجاذبية}} = mgh$$

طاقة الحركة Kinetic energy: الطاقة التي يمتلكها جسم ما عند حركته. وتكتب كميًّا وفق العلاقة الآتية:

$$\text{طاقة الحركة} = \frac{1}{2}mv^2$$

نظرية الشغل والطاقة Work – energy theorem: الشغل المبذول على جسم ما يساوي التغير في طاقة حركته.

$$\text{الشغل} = \Delta(KE)$$

قد ينقل الشغل للنظام شكلًا آخر من أشكال الطاقة.

قانون حفظ الطاقة Law of conservation of energy: الطاقة لا يمكن أن تستحدث أو تفنى، ولكنها تتغير من شكل إلى آخر. ومجموعها لا يتغير أبدًا.

القدرة Power: معدل الشغل المبذول

$$\text{القدرة} = \text{الشغل} / \text{الزمن}$$

عادة، القدرة هي معدل استهلاك الطاقة.

الآلة Machine: أداة مثل الرافعة أو البكرة تزيد القوة أو تنقصها؛ أي أنّها تغير اتجاهها.

الرافعة Lever: آلة بسيطة تتكون من قضيب صلب يرتكز في نقطة ثابتة تسمى نقطة الارتكاز.

حفظ الطاقة للآلات Conservation of energy for machines: الشغل الناتج عن أيّ آلة لا يمكن أن يزيد على الشغل المدخل للآلة. في الآلة المثالية، لا توجد أيّ طاقة متحولة إلى طاقة حرارية.

$$\text{الشغل المدخل} = \text{الشغل الناتج}$$
$$(Fd)_{\text{مدخل}} = (Fd)_{\text{ناتج}}$$

الكفاءة Efficiency: نسبة الشغل الناتج إلى الشغل المدخل. (عادة، الطاقة الناتجة مقسومة على الطاقة المدخلة.)

$$\text{الكفاءة} = \text{الطاقة الناتجة} / \text{مجموع الطاقة المدخلة}$$

أسئلة مراجعة

1.3 الزّخم ودفع القوة

1. ما الذي يملك زخمًا أكبر: سيارة ساكنة أم زلاجة متحركة؟
2. عندما تضرب كرة بقوة ما فإنّ السرعة المكتسبة من الكرة تكون أكبر عندما تكون الفترة الزمنية للتلامس أكبر. لماذا؟

2.3 دفع القوة يغير الزخم

3. لِمَ تمدّ يدك نحو الأمام عندما تكون مستعدًّا لالتقاط كرة سريعة؟
4. لماذا يعدّ وضعُ خلفية اليدين على الحائط عند التقاط كرة ساقطة غير مفيد ؟
5. في الكاراتيه، لِمَ تكون القوة المؤثرة لفترة قصيرة أكثر فائدة؟
6. في الملاكمة، لماذا يكون الدوران مع الضربة مفيدًا؟
7. في أيّ ممّا يلي يكون التغير في الزخم أكبر ما يمكن؟
(1) كرة ملتقطة. (2) كرة مقذوفة. (3) كرة التقطت ثم قذفت إلى الخلف. في هذه الحالات جميعها افترض أنّ سرعة الكرة قبل التقاطها مباشرة تساوي سرعة الكرة بعد قذفها مباشرة؟
8. في السؤال السابق، في أيّ حالة يكون دفع القوة اللازم أكبر؟

3.3 حفظ الزخم

9. ما معنى القول إنّ الزخم (أو أي كمية) يكون محفوظًا؟
10. عندما تقذف قذيفة المدفع، فإنّ الزخم يكون محفوظًا للنظام المكون من المدفع والقذيفة. هل يكون الزخم محفوظًا لو لم يكن كمية متجهة؟ اشرح.
11. تتدحرج العربة A بسرعة ما، وتصطدم تصادمًا مرنًا مع العربة B التي لها الكتلة نفسها. بعد التصادم، لوحظ أنّ العربة A قد توقفت. ما سرعة العربة B بعد التصادم مقارنةً بالسرعة الابتدائية للعربة A ؟
12. في السؤال السابق، إذا التحمت العربتان معًا بعد التصادم غير المرن، فما سرعتهما بعد التصادم مقارنة بالسرعة الابتدائية للعربة A؟

4.3 الطّاقة والشّغل

13. متى تكون الطاقة أكثر وضوحًا؟
14. اذكر مثالًا يكون فيه تأثير القوة في جسم ما غير مصحوب بشغل مبذول على ذلك الجسم.
15. أيّهما يحتاج إلى شغل أكثر: رفع 50 كجم مسافة عمودية 2م، أم رفع 25 كجم مسافة عمودية 4 م؟
16. ترفع سيارة إلى الأعلى مسافة ما. وعليه فإنّها تملك طاقة وضع بالنسبة إلى سطح الأرض. إذا رفعت ضعف تلك المسافة، فما طاقة الوضع التي تملكها؟
17. رفعت سيارتان إلى الارتفاع نفسه برافعة محطة خدمات. إذا كانت كتلة إحداهما ضعف كتلة الأخرى، فقارن بين طاقتي وضعهما.
18. سيارة تتحرك بطاقة حركة. إذا تضاعفت سرعتها أربع مرات، فكم تكون طاقة حركتها مقارنة بالسابق؟

5.3 نظرية الشّغل والطّاقة

19. بالمقارنة بسرعة ابتدائية، ما الشغل اللازم بذله من كوابح سيارة لإيقافها إذا كانت تسير بسرعة أربعة أضعاف سرعتها الابتدائية؟ ما المسافة المقطوعة في هذه الحالة مقارنةً بالمسافة المقطوعة عند سرعتها الابتدائية؟
20. إذا دفعت عربة بقوة 100 نيوتن مسافة أفقية 10م، وبافتراض أن قوة الاحتكاك بين العربة والأرض ثابتة وتساوي 70 نيوتن، فما طاقة الحركة المكتسبة من العربة؟

6.3 حفظ الطّاقة

21. ما مقدار طاقة حركة عمود مكبس المضخة عندما تنقص طاقة وضعه 10 كيلوجول؟
22. تفاحة معلقة على غصن، ذات طاقة وضع بسبب ارتفاعها. إذا سقطت التفاحة فماذا تصبح طاقتها: أ- قبل اصطدامها بالأرض مباشرةً؟ ب- عند اصطدامها بالأرض؟

7.3 القدرة

23. إذا رُفع كيسان لهما الكتلة نفسها إلى المسافة نفسها، في الزمن نفسه، فقارن بين القدرة اللازمة لكلٍّ منهما؟ ما القدرة اللازمة لرفع الكيس الأخف إلى المسافة نفسها في نصف الزمن مقارنةً بالقدرة اللازمة للآخر؟

8.3 الآلات

24. هل يمكن للآلة مضاعفة: أ- القوة الداخلة؟ ب- المسافة الداخلة؟ ج- الطاقة الداخلة؟ (إذا كانت إجابتك هي نفسها للثلاث فاطلب المساعدة. السؤال الأخير ذو أهمية خاصة).
25. إذا ضاعفت الآلةُ القوةَ أربع مرات، فما الكمية الأخرى التي تتناقص؟ وما مقدارها؟

9.3 الفاعلية

26. ما فاعلية الآلة المعجزة التي تحول الطاقة الداخلة جميعها إلى طاقة خارجية نافعة؟
27. ما الذي يطرأ على نسبة الطاقة المستفادة عندما تتحول من شكل إلى آخر؟

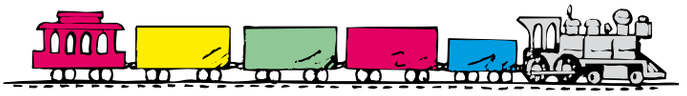
10.3 مصادر الطّاقة

28. ما المصدر الأساس للطاقات المتولدة في وقود المتحجرات: السّدود وطواحين الهواء؟
29. ما المصدر الأساس لطاقة الحرارة الجيولوجية؟
30. هل صحيح إذا قلنا إنّ الهيدروجين مصدرٌ جديد للطاقة؟ اذكر السبب في حال كان الجواب بالإيجاب أو النفي.

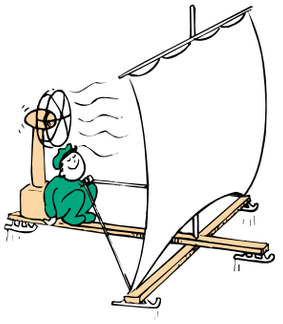
تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

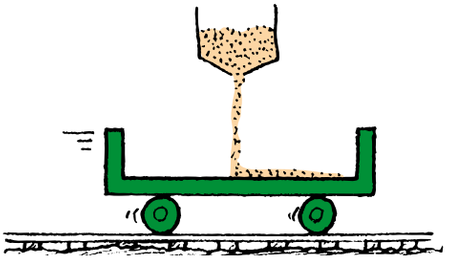
1. ● لإيقاف ناقلة ضخمة؛ يجب إيقاف محركها قبل نحو 25 كم من المرفأ. لماذا يكون من الصعب إيقاف تحويل مسار الناقلة الضخمة؟
2. ● بدلالة دفع القوة والزخم، لماذا تقلّل وسائد الهواء في السيارات احتمالية الإصابة في الحوادث؟
3. ● بدلالة دفع القوة والزخم، لماذا تكون حبال النايلون القابلة للسحب بشكل واضح عند شدها ملائمة لتسلق الجبال؟
4. ● الصلابة من مميزات العربات التي صنعت قديمًا. أما العربات الحديثة فقد صمّمت بحيث تتحطم عند اصطدامها. لماذا؟
5. ● تمّ تجريب عربة فضية على الأرض عند سرعة 15كم/ساعة. فإذا تحركت بالسرعة نفسها على القمر، فهل يكون زخمها، أ- أكبر؟ ب- أقل؟ ج- نفسه؟
6. ● عندما تقوم برمي مجموعة من البيض على حائط فإنها تتكسّر، ولكن إذا رميت البيض بالسرعة نفسها إلى صفيحة مدلاة فإنها لا تتكسر. اشرح سبب هذا مستعينًا بالمفاهيم الواردة في هذا الفصل.
7. ■ عندما يضرب الملاكم حقيبة ثقيلة لأكثر من ساعة، فإنه لا يشعر بالتعب. ولكنه يتعب بسرعة عندما يلاكم خصمًا لبضع دقائق. لماذا؟ (مساعدة: عندما يوجّه الملاكم قبضته للحقيبة، ما الذي يزود قوة الدفع اللازمة لإيقاف الضربات؟ عندما يوجه الملاكم قبضته في اتجاه الخصم، ما الذي يزود قوة الدفع اللازمة لإيقاف الضربات التي لا تنجح؟)
8. ■ ترتبط عربات قطار بشكل غير متماسك بحيث يكون هناك زمن تأخير ملاحظ بين حركة العربتين الأولى والأخيرة عندما تتحرك القاطرة من السكون. ناقش فائدة الربط المرن (الخفيف) والفجوات بين العربات من وجهة نظر الدفع والزخم.



9. ● عندما تقذف كرة أفقيًّا وأنت تقف على أرضية زلقة، فإنك تتدحرج إلى الخلف بزخم يساوي زخم الكرة. هل تتدحرج نحو الخلف إذا أبقيت الكرة في يدك ومشيت معها في أثناء قذفها؟ فسّر اعتمادًا على حفظ الزخم.
10. ● افترض أنّك في مقدمة زورق يطفو بالقرب من الشاطئ، ثمّ قفزت متوقعا أن تستقر على الشاطئ بسهولة، ولكن بدلًا من ذلك سقطت في الماء. اشرح الموقف من خلال حفظ الزخم.
11. ● يرتدي شخص ملابسه كاملة، ويقف في وسط بركة على طبقة مادة عديمة الاحتكاك تمامًا، وعليه الوصول إلى الشاطئ. كيف يمكنه ذلك؟ اشرح الموقف مستعينًا بحفظ الزخم.
12. ■ يمكن شرح الأمثلة في التمارين الثلاثة الماضية من خلال حفظ الزخم. والآن أجب عنها مستعينًا بقانون نيوتن الثالث.
13. ■ في الفصل الماضي، تمّ شرح دفع الصواريخ بدلالة قانون نيوتن الثالث، وهو أنّ القوة التي تدفع الصاروخ تنتج عن الغازات المنبعثة منه، أي ردّ الفعل على قوة الصاروخ المؤثرة في الغازات المنبعثة. اشرح دفع الصاروخ بدلالة حفظ الزخم.
14. ■ يقول صديقك: إنّ قانون حفظ الزخم لا ينطبق عند تدحرج كرة إلى أسفل تل بحيث تكسب زخمًا. ما ردّك؟
15. ■ زخم حبة تفاح تسقط على الأرض غير محفوظ؛ لأنّ قوة الجاذبية الخارجية تؤثر فيها. ولكن الزخم يكون محفوظًا على المنظومة الأكبر. اشرح.
16. ■ أُسقط حجر من أعلى حافة بناء. حدّد النظام الذي تكون محصلة زخمه صفرًا خلال سقوط الحجر.
17. ■ يهبط برونكو من طائرة عمودية (هليوكوبتر) ويلاحظ أن زخمه يزداد. هل هذا يتعارض مع حفظ الزخم؟ اشرح.
18. ■ مركب شراعي جليدي يستقر على بحيرة متجمدة في يوم عديم الرياح. وضع ربان المركب مروحة كما في الشكل. إذا كان هواء المروحة يرتد نحو الخلف من شراع المركب، فهل تحرّك القوة الناشئة المركبَ؟ إذا كان كذلك ففي أيّ اتجاه؟

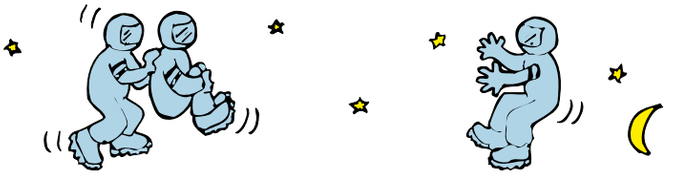


19. ■ هل تختلف إجابة التمرين السابق إذا توقف هواء المروحة عند الشراع ولم يرتدّ؟
20. ■ اشرح ما تراه مفيدًا عند إزالة الشراع في التمرين السابق.
21. ■ لكي تقذف كرة، هل تقوم بالتأثير فيها بدفع قوة؟ هل تؤثر بدفع قوة لكي تلتقطها بالسرعة نفسها؟ ما دفع القوة الذي تؤثر فيها بالمقارنة بالتقاطك الكرة، ثمّ قذفها مباشرة مرة أخرى؟ (تخيل نفسك على لوح تزلج).
22. ♦ عندما يُفرّغُ رمل عموديًّا على سطح عربة تتحرك أفقيًّا، فإنّ العربة تتباطأ. أهمل أيّ احتكاك بين العربة والمسار. هاتِ سببين لذلك؛ أحدهما يتعلق بالقوة الأفقية المؤثرة في العربة والآخر يتعلق بدلالة حفظ الزخم.



23. ♦ في لعبة ما، يقفز البطل الأسطوري مباشرة نحو الأسفل عن جسر في اتجاه قارب صغير يستمر في حركته دون تغير في سرعته. ما وجه التناقض مع الفيزياء هنا؟

24. ♦ افترض أنّ ثلاثة رواد فضاء خارج سفينة فضائية رغبوا أن يلعبوا اللقطة. الرواد جميعًا لهم الوزن نفسه على الأرض، كما أنّهم متساوون في القوة. قذف الرائدُ الأولُ الرائدَ الثاني باتجاه الثالث وهكذا بدأت اللعبة. صفُ حركة الرواد إذا استمر شوط اللعب. كم يستغرق هذا الشوط من اللعب؟



25. ■ إذا دفع صديقك آلة جز العشب أربعة أضعاف المسافة التي دفعتها أنت، ولكن بنصف القوة. أيّكما بذل شغلًا أكثر؟ وما مقدار هذا الشغل الأكثر؟

26. ● ما الذي يحتاج إلى شغل أكثر: سحب زنبرك شديد مسافة معينة، أم سحب زنبرك ضعيف للمسافة نفسها؟ وضح إجابتك.

27. ● تسلّق شخصان لهما الوزن نفسه سلما؛ أكمل الأول التسلق في 30 ثانية، أما الآخر ففي 40 ثانية. من منهما بذل شغلًا أكثر؟ من الذي استخدم قدرة أكبر؟

28. ■ عندما تقذف من بندقية ذات أسطوانة أطول، فإنّ قوة تمدد الغاز تؤثر في القذيفة مسافة أطول. ما تأثير ذلك في سرعة انطلاق القذيفة؟ (ترى، لماذا تملك المدافع الطويلة المدى مثل تلك الأسطوانات الطويلة؟).

29. ■ كرتا البيسبول والجولف لهما الزخم نفسه. أيّهما تملك طاقة حركة أكبر؟

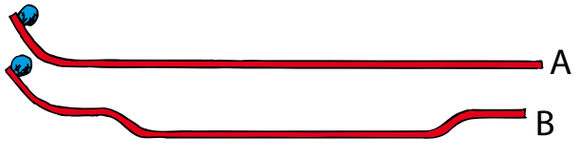
30. ● عند أيّ نقطة من حركة البندول تكون طاقة الحركة K.E لكرة البندول أقصى ما يمكن؟ وعند أيّ نقطة تكون طاقة وضعها أكبر ما يمكن. ومتى تكون طاقة حركتها K.E نصف القيمة القصوى؟ وماذا عند قيمة طاقة وضعها PE ؟

31. ● يوضح مدرس الفيزياء فكرة حفظ الطاقة بترك كرة البندول كما ترى في الرسم المجاور تتأرجح ذهابًا وإيابًا. ماذا سيحدث إذا كان بكامل حيويته، ودفع الكرة بقوة عندما كانت قريبة من أنفه؟ اشرح.

32. ● لماذا تبذل قوة الجاذبية شغلًا على سيارة تتحرك أسفل تل، في حين لاتبذل أيّ شغل عندما تتحرك على سطح مستوٍ؟

33. ● تقلّ طاقة وضع طفلة تلعب على ملعب تزلج بمقدار 1000 جول، إلا أنّ طاقة حركتها تزداد بمقدار 900 جول. ما الشكل الآخر للطاقة المتعلق بذلك؟ ما مقداره؟

34. ■ افترض كرتين متماثلتين تركتا من السكون على مسارين: A، و B كما في الشكل. وعند وصولهما إلى النهايتين من الجهة اليمنى لكلا المسارين، أيهما تكون ذات سرعة أكبر؟ لماذا تكون الإجابة عن هذا السؤال أسهل من الإجابة عن السؤال المشابه (التمرين 33) في الفصل 1؟



35. ■ إذا كانت كرتا جولف وتنس طاولة لهما طاقة الحركة نفسها، فأيهما ذات سرعة أكبر؟ اشرح من خلال تعريف طاقة الحركة. وبالمثل، في خليط غازي يحوي جزيئات ثقيلة وأخرى خفيفة لها متوسط طاقة الحركة نفسه، أيّ الجزيئات لها سرعة أكبر؟

36. ■ هل تحرق السيارة بنزينًا أكثر عندما تكون أنوارها مضاءة؟ وعمومًا هل يتأثر استهلاك البنزين فيما لو كان محرك السيارة يعمل والأنوار مضاءة؟ وضح إجابتك.

37. ■ يبدو هذا وكأنه سؤال فيزيائي نموذجي يسهل الإجابة عنه: ما القوة التي يرتطم بها حجر وزنه 10 نيوتن بالأرض عندما يسقط من السكون من ارتفاع 10م؟ في الحقيقة، لا يمكن الإجابة عن السؤال من دون معلومات إضافية. ما هذه المعلومات، ولماذا؟

38. ■ عند عدم وجود مقاومة هواء، فإنّ الكرة المقذوفة عموديًّا إلى الأعلى بطاقة حركة KE ابتدائية تعود إلى مستواها الأصلي بطاقة الحركة KE نفسها. إذا أخذ تأثير مقاومة الهواء في الحسبان فهل تعود الكرة إلى مستواها الأصلي بطاقة حركة KE نفسها، أم أقل، أم أكثر منها؟ هل تتعارض إجابتك مع قانون حفظ الطاقة؟

39. ■ إذا كنت على سطح بناء وقذفت كرتين: الأولى نحو الأسفل في اتجاه الأرض والأخرى نحو الأعلى، فإنّ الكرة الثانية تصعد ثمَّ تهبط وتصطدم بالأرض. بإهمال مقاومة الهواء، وبافتراض أنّ سرعة قذف الكرة إلى الأعلى والأسفل هي نفسها، فكيف يمكن مقارنة سرعة اصطدام كلتا الكرتين بالأرض؟ (استعن بفكرة حفظ الطاقة.)

40. ■ عندما يؤثر سائق سيارة في الكوابح بحيث تتحرك السيارة إلى أسفل تل بسرعة ثابتة وطاقة حركة ثابتة، فإنّ طاقة وضعها تتناقص. أين ذهبت هذه الطاقة؟ أين تظهر هذه الطاقة في سيارة هجينة (هايبرد)؟

41. ■ هل يمكن لشيء ما أن يملك طاقةً دون أن يملك زخمًا؟ اشرح. وفي المقابل، هل يمكن لشيء ما أن يملك زخمًا دون أن يملك طاقة؟ اشرح.

42. ● إذا تضاعفت كتلة جسم متحرك دون تغير سرعته، فكم يتضاعف زخمه؟ وكم تتضاعف طاقة حركته؟

43. ● عندما تتضاعف سرعة جسم متحرك فكم يتضاعف زخمه؟ وكم تتضاعف طاقة حركته؟

44. ● أيّ الكرتين لها زخم أكبر: كرة كتلتها 1 كجم وتتحرك بسرعة 2 م/ث، أم كرة كتلتها 2 كجم وتتحرك بسرعة 1م/ث؟ أيّ منهما تملك طاقة حركة أكبر؟

45. ■ قطعتان طينيتان لهما زخم متساو في المقدار ومتعاكس، اصطدمتا تصادمًا رأسيًّا مرنًا وتوقفتا. هل الزخم محفوظ؟ هل طاقة الحركة محفوظة؟ لماذا يتفق جوابك أو يختلف؟

46. ■ إذا كانت فاعلية محرك سيارة 100%، وتحول طاقة الوقود

كلّها إلى شغل. هل هذا يؤدي إلى سخونة المحرك عند لمسه؟ هل هنالك طاقة تتسرب إلى هواء المحيط؟ فهل يؤدي هذا إلى ضجيج؟ هل يؤدي هذا إلى اهتزاز؟ أهناك أيّ جزء من الوقود غير مستخدم؟

47. ■ لمحاربة عادات الإسراف، غالبًا ما نتكلم عن "حفظ الطاقة" والتي من خلالها نقوم بإطفاء الأنوار وإغلاق مصدر الماء الساخن عند عدم الحاجة إليهما بحيث يُربط هذا المصدر مع منظم حراري مناسب. وفي هذا الفصل ناقشنا "حفظ الطاقة". ميّز بين هذه الاستخدامات.

48. ■ يدّعي صديقك أنّ هناك طريقة لتسخين نوعية هواء المدينة في وجود إشارات ضوئية متزامنة تساعد على حركة السيارات مسافات طويلة بسرعة ثابتة. ما المبدأ الفيزيائيّ الذي يدعم هذا الادّعاء؟

49. ■ تأتي الطاقة التي تلزمنا لكي نعيش من اختزان طاقة الوضع في الغذاء بشكل كيميائي، والتي تتحول إلى أشكال أخرى من الطاقة خلال العمليات الحيوية. ماذا يحدث للشخص الذي مجموع شغله وطاقته الناتجة أقل من الطاقة التي يستهلكها؟ ماذا يحدث إذا كان مجموع الشغل والطاقة الناتجة أكبر من الطاقة التي يستهلكها؟ هل يمكن لشخص قليل التغذّي أن ينتج شغلًا إضافيًّا دون غذاء إضافي؟ وضح إجاباتك.

50. ♦ ادرس جهاز الكرات المتأرجحة. إذا رُفعت كرتان وتُركتا فإنّ الزخم يكون محفوظًا إذا دفعت كرتان نحو الجهة الأخرى وبسرعة الكرات نفسها. كما أنّ الزخم يكون محفوظًا أيضًا إذا دفعت كرة واحدة بضعف السرعة. اشرح لماذا لا يمكن حدوث ذلك.

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● تعلمنا في الفصل الأول أنّ التسارع $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$. أما في الفصل الثاني فتعلمنا أنّ سبب التسارع يتعلق بقوة محصلة، حيث $a=\frac{F}{m}$ وازن بين هاتين المعادلتين للتسارع، وبيّن أنه بالنسبة لكتلة ثابتة $F\Delta t=\Delta(mv)$.

2. ● دُفعت حقيبة مشتريات كتلتها 5 كجم على طاولة بسرعة 4 م/ث فانزلقت إلى أن توقفت خلال 3 ثوان. ابدأ بالمعادلة التي اشتققتها في المسألة 1، وبيّن أنّ قوة الاحتكاك 6.7 نيوتن.

3. ● تتدحرج كرة كتلتها 8 كجم بسرعة 2 م/ث فاصطدمت بوسادة وتوقفت خلال 0.5 ث. (أ) بيّن أنّ القوة المؤثرة من الوسادة في الكرة 32 نيوتن. (ب) ما القوة المؤثرة من الكرة في الوسادة؟

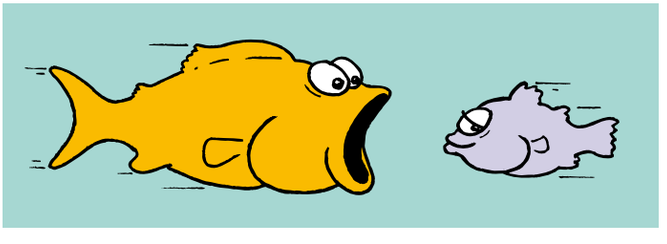
4. ● تتحرك سيارة بسرعة 25 م/ث، اصطدمت بحائط وتوقفت خلال 0.1 ث. بيّن أنّ متوسط القوة المؤثرة في أنموذج تجريبي كتلته 75 كجم مربوط بحزام الأمان أكثر من 18,000 نيوتن.

5. ■ افترض أنّ كرة بيسبول كتلتها 0.15 كجم، وتتحرك بسرعة 40 م/ث. عندما علقت بمروحة. (أ) بيّن أنّ دفع القوة المزوّد واللازم لإيقاف الكرة هو 6 نيوتن.ثانية. (ب) إذا توقفت الكرة خلال 0.03 ثانية، فبيّن أنّ متوسط القوة من الكرة على يد من التقطها هو 200 نيوتن.

6. ■ كتلة جودي (Judy) 40 كجم، ويجلس على جليد زلق، يلتقط كلبه آتي (Atti) الذي كتلته 15 كجم وكان يتحرك بسرعة 3 م/ث. استخدم قانون حفظ الزخم لإثبات أنّ سرعة جودي وكلبه بعد الالتقاط 0.8 م/ث.

7. ■ تزن عربة ذات محرك ديزل أربعة أضعاف وزن سيارة. انزلقت العربة بسرعة 5 كم/ساعة في اتجاه السيارة المتوقفة. استخدم قانون حفظ الزخم لإثبات أنّ سرعتيهما معًا 4 كم/ساعة بعد التحامهما.

8. ■ تسبح سمكة كتلتها 5 كجم بسرعة 1 م/ث. ابتلعت سمكة كتلتها 1 كجم تسبح في اتجاهها وبسرعة بحيث تعمل على إيقافها. بيّن أنّ سرعة السمكة الصغيرة قبل أن تُبتلَع كانت 5 م/ث.



9. ■ تقابل رائد فضاء خارق القوة في الفضاء الخارجي مع كوكب صغير واصطدم به بسرعة 800 م/ث كسرعة طلقة. تبلغ كتلة الكوكب آلاف أضعاف كتلة الرجل. وقد لوحظ عن بُعد أنّ الرجل كان ساكنًا بعد التصادم. آخذًا في الحسبان مفاهيم الفيزياء، بيّن أنّ سرعة الارتداد يجب أن تكون 800,000 م/ث.

10. ● بيلي فلوب (Belly-Flop) يقفز من فوق برج إلى بركة سباحة أسفل منه. إن طاقة وضعه عند النقطة التي غطس منها هي 10,000 جول. بيّن أنه عندما تصبح طاقة وضعه 2000 جول، فإنّ طاقة حركته ستكون 8000 جول.

11. ● استخدمت رافعة لرفع حمل ثقيل. عندما تؤثر قوة 50 نيوتن على إحدى نهايتي الرافعة نحو الأسفل والمسافة 1.2م، فإنّ

النهاية الأخرى للرافعة سترتفع 0.2 م. بيّن أنّ وزن الحمل يساوي 300 نيوتن.

12. ● لرفع بيانو وزنه 5000 نيوتن باستخدام نظام البكرات، لاحظ رافعو البيانو أنه لكلّ 2 م هبوط في حبال البكرات يرتفع البيانو مسافة 0.2 م. بيّن أنّ القوة اللازمة لرفع البيانو هي 500 نيوتن.

13. ● ما القدرة التي يستهلكها رافع أوزان عندما يرفع أثقالًا كتلتها 50 كجم مسافة عمودية 1.2 م في زمن 1.5 ثانية؟

14. ♦ قوة الكبح اللازمة لإيقاف سيارة كتلتها m وتتحرك بسرعة v في زمن t.

(أ) ابدأ بالعلاقة بين دفع القوة والزخم لإثبات أنّ قوة الكبح هي mv/t

(ب) كتلة سيارة 1200 كجم وسرعتها الابتدائية 25 م/ث. بيّن أنّ قوة الكبح اللازمة لإيقافها في 12 ثانية هي 1500 نيوتن.

15. ♦ عربة تسوق مليئة بالمواد كتلتها m وتتحرك أسفل ممر بسرعة v. توقفت العربة تحت تأثير قوة ثابتة.

(أ) استخدم علاقة دفع القوة والزخم لإثبات أنّ الزمن اللازم لإيقاف العربة هو mv/F .

(ب) إذا كان مجموع كتلة العربة 20 كجم، وسرعتها الابتدائية 3 م/ث، وقوة الإيقاف 15 نيوتن، فبيّن أنّ زمن التوقف هو 4 ث.

(جـ) بيّن أنّ طاقة الحركة الابتدائية للعربة المحملة للمواد كانت 90 جول.

16. ♦ عندما يكون متوسط القوة F المؤثرة لمسافة ما على عربة تسوّق كتلتها m، وطاقة حركتها تزداد بمقدار $\frac{1}{2}mv^2$.

(أ) استخدم نظرية الشغل والطاقة لإثبات أنّ المسافة التي تؤثر فيها هي $\frac{mv^2}{2F}$.

(ب) إذا أثرت ضعف القوة لضعف المسافة، فكم تكون الزيادة الناتجة في طاقة الحركة مقارنةً بالزيادة في طاقة الحركة الأصلية؟

أنشطة استكشافية

1. عندما تنجز دراستك مبكرًا، اذهب إلى بركة سباحة أو قاعة بلياردو، وتمعَّن في حفظ الزخم، لاحظ أنه مهما يكن تصادم الكرات معقدًا فإنّ زخم كرة الخصم (المقذوفة) على امتداد خط التأثير (خط عمل القوة المؤثرة) قبل التصادم هو نفسه الزخم الكلي للكرات جميعها في الاتجاه نفسه بعد التصادم، ومجموع مركبات الزخم العمودية على خط التأثير يتلاشى بعد التصادُم إلى الصفر، وهي القيمة نفسها قبل التصادم في هذا الاتجاه. وستلاحظ كلًّا من الطبيعة المتجهة للزخم وحفظه على نحو أوضح عندما تقذف الكرة دونما دوران، أي لا تكون الضربة إنجليزية (تسمى English). عندما تتأثر الكرة بزخم دوراني بتركيز الضرب على حافتها، وليس على مركزها، فإن الزخم الزاوي يكون محفوظًا كذلك، وإن أصبح التحليل أكثر تعقيدًا.

ومهما تكن طريقة ضرب الخصم (المقذوف) في غياب أي قوى أخرى خارجية فإنّ الزخمين الخطي والزاوي محفوظان دائمًا. وفي الواقع، فإنّ البركة وقاعة البلياردو مكانان ممتازان دائمًا لعرض مبدأ حفظ الزخم.

2. ضع كرة مطاطية صغيرة على سطح كرة سلة أو كرة قدم ثم دعهما يسقطا على الأرض معًا. وإذا بقيت إحدى الكرتين موازية للأخرى تمامًا، فستجد أن الكرة الصغيرة قد قفزت مسافات أعلى من الكرة الكبيرة. هل تستطيع أن توافق بين هذه الحقيقة وحفظ الطاقة.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة على الأقل. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر الإجابة الأفضل لكلٍّ مما يلي:

1. عند تقليل كتلة عربة مليئة بالبضائع إلى النصف ومضاعفة سرعتها فإنّ زخم العربة:

(أ) يستمر دون تغيير.

(ب) يتضاعف.

(ج) يتضاعف أربع مرات.

(د) يقلّ.

2. في حين يتعلق دفع القوة بالقوة والزمن، فإنّ الشغل يتعلق بالقوة و:

(أ) الطاقة.

(ب) التسارع.

(ج) المسافة.

(د) القدرة.

3. إذا تضاعفت سرعة حصان سباق، فسيتضاعف أيضًا:
(أ) زخمه.
(ب) طاقة حركته.
(ج) زخمه وطاقة حركته.
(د) لا شيء مما ذكر.

4. كرة كتلتها 1 كجم، لها السرعة نفسها لكرة كتلتها 10 كجم. بالمقارنة مع الكرة 1كجم فإنّ الكرة التي كتلتها 10 كجم تملك:
(أ) زخمًا أقل.
(ب) الزخم نفسه.
(ج) 10 أضعاف الزخم.
(د) 100 ضعف الزخم.

5. المعادلة التي تعطي تمثيلا أفضل لفائدة الوسادة الهوائية في السيارة هي:
(أ) $F = ma$.
(ب) $Ft = \Delta mv$.
(ج) $KE = \frac{1}{2}mv^2$.
(د) $Fd = \Delta\frac{1}{2}mv^2$.

6. المعادلة التي تستخدم أكثر لحلّ مسألة تتعلق بإيجاد المسافة التي يقطعها صندوق ينزلق على سطح قبل أن يتوقف هي:
(أ) $F = ma$.
(ب) $Ft = \Delta mv$
(ج) $KE = {}^{1}mv^2$
(د) $Fd = \Delta^{1}mv^2$.

7. تسير طائرة نموذج بسرعة ثلاثة أضعاف سرعة طائرة نموذج أخرى مماثلة. بمقارنة طاقة حركة الطائرة الأبطأ، فإنّ طاقة حركة الطائرة الأسرع تكون:
(أ) هي نفسها.
(ب) ضعفها.
(ج) أربعة أضعافها.
(د) أكثر من أربعة أضعافها.

8. يحتاج رفع سيارة في محطة خدمات إلى شغل. ولكن رفعها إلى ارتفاع مضاعف يحتاج إلى:
(أ) الشغل نفسه ولكن ضعف القدرة.
(ب) ضعف الشغل.
(ج) ضعف القدرة.
(د) جميع ما ذكر.

9. يملك فيل نشيط طاقة حركة، إنه يملك أيضًا:
(أ) طاقة وضع.
(ب) زخمًا.
(ج) شغلا.
(د) جميع ما ذكر.

10. الآلة لا تزيد:
(أ) القوى.
(ب) المسافات.
(ج) الطاقة.
(د) جميع ما ذكر.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

10د، 9ب، 8ب، 7د، 6ب، 5ج، 4أ، 3ج، 2د، 1أ

المزيد من الاستكشاف

بودانس ديفيد $E=mc^2$: سيره المعادلة الأشهر في العالم. نيويورك: مجموعة بيركلي للنشر، 2002.

هذا كتاب ممتع وجذاب حول تاريخ فهمنا للطاقة. يكمن جمال الكتاب وسحره في التركيز على الأشخاص الذين ساهموا في فهم الطاقة. وإشارة المساواة، والكتلة، وسرعة الضوء، والترميز الأسّي.

الفصل 3 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 3.10، 3.12، 3.13، 3.22، 3.26

دروس تعليمية

- الاصطدامات والزخم
- الطاقة

أشرطة فيديو

- تعريف الزخم
- تغير الزخم
- تناقص الزخم خلال فترة قصيرة
- كرة البولنغ وحفظ الزخم
- حفظ الزخم: أمثلة رقمية حسابية
- الآلات: البكرات

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط

4

الجاذبية، المقذوفات والأقمار

1.4 قانون الجذب الكونيّ

2.4 الجاذبيّة والمسافة: قانون التّربيع العكسيّ

3.4 الوزن وانعدامه

4.4 الجذب الكونيّ

5.4 حركة المقذوفات

6.4 المقذوفات المتحرّكة بسرعة – الأقمار الصّناعيّة

7.4 المدارات الدّائريّة للأقمار الصّناعيّة

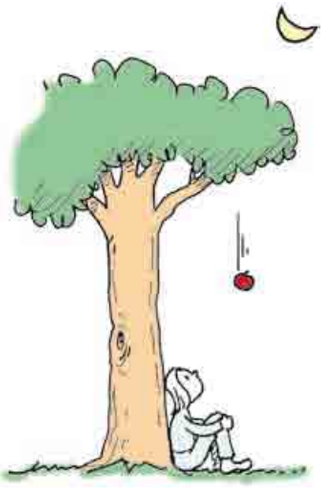
8.4 المدارات الإهليلجيّة

9.4 سرعة الإفلات

■ من الخطأ القول إنّ إسحق نيوتن **(Issac Newton)** هو من اكتشف الجاذبية؛ لأنّ هذا الاكتشاف يعود إلى آلاف من السنين خلت، عندما اختبر ساكنو الأرض نتائج الحركة والسقوط. والحقيقة أنّ ما اكتشفه نيوتن هو أنّ الجاذبية كونية، وهذا يعني أنها ليست للأرض فقط كما افترض بعضهم حينذاك.

قبل اكتشاف نيوتن بقرون، تم النظر إلى الحركة الدائرية للأجسام السماوية على أنها طبيعية. اعتقد أرسطوطاليس وتلاميذه أنّ النجوم والكواكب والقمر والمجرات تتحرك في دوائر سماوية رائعة وحرّة من أيّ قوة تحريك. كما أنّهم افترضوا أنّ هذه الحركة الدائرية لا تحتاج إلى أيّ تفسير. ومع ذلك، فقد أدرك نيوتن وجود قوة من نوع ما تؤثر في الكواكب، إلا فإنّ مساراتها تكون خطوطًا مستقيمة. في ذلك الحين، افترض بعض من تأثروا بأفكار أرسطوطاليس أنّ القوة على الكوكب يجب أن تؤثر بشكل مباشر في طول المسار. ومع هذا، فقد فسّر نيوتن ذلك بأنّ القوة على كلّ كوكب يجب أن تؤثر في اتجاه نقطة مركزية ثابتة؛ في اتجاه الشّمس. إنّ قوة الجاذبية هذه هي القوة نفسها التي تسقط التفاحة عن الشجرة.

تعدّ فكرةُ نيوتن الحدسية - أنّ القوة بين الأرض والتفاحة هي القوة المؤثرة نفسها بين الأقمار والكواكب وأيّ شيء آخر في كوننا - خرقًا جذريًّا للنظرية السائدة آنذاك المتمثلة في وجود مجموعتين من القوانين الطبيعية: الأولى تتعلق بالأحداث الأرضية، والأخرى مختلفة للحركة السماوية. يسمى اتحادُ كلّ من القوانين الأرضية والكونية *التركيبَ النيوتونيّ*.



الشّكل 1.4

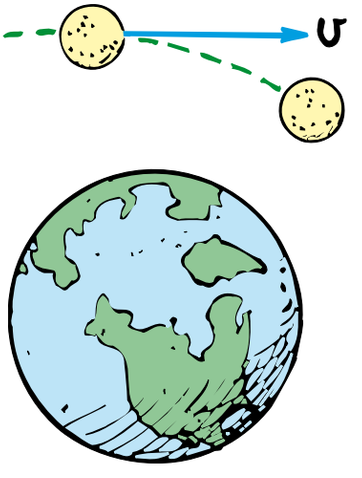
هل يمكن للسّحب الجاذبيّ على التفاحة أن يصل إلى القمر؟

1.4 قانون الجذب الكونيّ

وفق الأسطورة الشعبية، كان نيوتن جالسًا تحت شجرة تفاح عندما راودته فكرة انتشار الجاذبية فوق الأرض. ربما نظر من خلال أغصان الشجرة في اتجاه مصدر التفاحة السّاقطة ولاحظ القمر. وربما ارتطمت التفاحة برأسه كما روت لنا هذه الأسطورة. على أيّ حال، لقد امتلك نيوتن البصيرة ليدرك أنّ القوة بين الأرض والتفاحة السّاقطة هي القوة نفسها التي تحرك القمر في مساره الدورانيّ حول الأرض، وهذا المسار يشبه مسار الكواكب حول الشّمس.

لاختبار هذه الفرضية؛ قارن نيوتن بين سقوط تفاحة ما و"سقوط" القمر. لقد أدرك نيوتن أنّ سقوط القمر يعني أنه *يسقط بعيدًا على خطّ مستقيم إنْ لم تكن هنالك أيّ قوة تؤثّر فيه*. وبسبب السّرعة المماسّيّة، فإنّه يسقط حول الأرض (كما سنوضح ذلك لاحقًا في هذا الفصل). وباستخدام هندسة بسيطة، يمكننا مقارنة المسافة التي يسقطها القمر في وحدة الزمن بالمسافة التي تسقطها تفاحة أو أيّ شيء آخر بعيد عن الأرض في ثانية واحدة. إلا أنّه أحبط بسبب عدم تحقّق حساباته. ولكنه أدرك أنّ الحقيقة المرّة تفوز دائمًا على الفرضية الجميلة. لذا، فقد احتفظ بأوراقه في الأدراج، حيث بقيت فيها مدة 20 عامًا. خلال هذه المدة، استحدث نيوتن موضوع البصريّات الهندسيّة وطوّره، ولهذا السّبب، أصبح مشهورًا لأوّل مرة.

لقد أحيا اكتشافُ مُذَنَّب مدهش عام 1680م اهتمامَ نيوتن بالميكانيكا. فعاد إلى مسألة القمر بإلحاحٍ من صديقه الفلكي إدمون هالي Edmund Halley، الذي سُمِّي المذنب الثاني باسمه. حيث أدخل تصحيحات على البيانات التجريبية التي استخدمها في طريقته السّابقة، فحصل على نتائج ممتازة. وبعد ذلك، نشر واحدًا من أعظم تعميم توصل إليه العقل البشري؛ **إنّه قانون الجذب الكونيّ (Law of universal Gravitation).***



الشّكل 2.4

تسمح السرعة المماسية للقمر حول الأرض له بالسقوط حول الأرض بدلًا من السّقوط عليها. إذا انعدمت هذه السّرعة الزاوية، فماذا يكون مصير القمر؟

يجذب كلُّ جسم كلَّ جسم آخر بطريقة بسيطة تتضمن الكتلة والبعد فقط.. ووفقًا لما قاله نيوتن، فإنّ أيَّ جسم يجذب أيّ جسم آخر بقوة تتناسب مباشرة مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًّا مع مربع البعد الذي يفصلهما.

ويمكن التّعبير عن هذه الصّياغة بـ:

$$\text{القوّة} \sim (\text{الكتلة}_1 \times \text{الكتلة}_2) / (\text{البعد})^2$$

أو بالرمز

$$F \sim \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

حيث m_1، وm_2 كتلتا الجسمين على التّوالي، وd البعد بين مركزيهما. وهكذا، فكلّما كانت الكتلتان m_1، وm_2 أكبر زادت قوة التجاذب بينهما بتناسب مباشر مع كتلتيهما.* وكلّما زادت المسافة (d) التي تفصلهما ضعفت قوة التجاذب، بتناسب عكسيّ مع مربع المسافة بين مركزيهما.

* هذا مثال مثير على المعاناة والفحص الدقيق الذي يُبذل في صياغة النظرية العلمية. وفي المقابل، طريقة تعامل نيوتن مع هذا الفشل. "لعمل واجب الشخص الآخر". قارن بين طريقة نيوتن مع الفشل في "الفشل في القيام بالواجب"، مع الحكم المتسرع، وغياب التمحيص التي غالبًا ما تصف البيانات للمناصرين للنظريات غير العلمية.

نقطة فحص

1. في الشّكل 2.4، رأينا أنّ القمر يسقط حول الأرض بدلًا من السّقوط عليها مباشرة. إذا كانت سرعة القمر المماسية صفرًا، فكيف يتحرك؟
2. حسب معادلة قوة الجاذبية، ماذا يحدث للقوة بين جسمين إذا تضاعفت كتلة أحدهما ؟ وإذا تضاعفت كتلتاهما؟
3. تؤثّر قوّة الجاذبيّة في الأجسام جميعها بالتناسب مع كُتلها. إذن، لماذا لا تسقط الأجسام الثقيلة أسرع من الأجسام الخفيفة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. إذا كانت السّرعة المماسيّة للقمر صفرًا فإنه يسقط على الأرض ويتحطم.
2. إذا تضاعفت كتلة أحد الجسمين فإنّ القوة بين الجسمين تتضاعف. ولكن إذا تضاعفت الكتلتان فستصبح القوة أربعة أضعاف ما كانت عليه.
3. يعود الجواب إلى الفصل الثاني. تذكر من الشّكل 9.2، أنّ الجسمين - الثقيل والخفيف - يسقطان بالتسارع نفسه؛ لأنّ كُلًّا منهما له نسبة الوزن للكتلة نفسها. يذكرنا قانون نيوتن الثاني($a = F / m$) بأنه إذا زادت القوة المؤثرة في جسم كتلته أكبر فلا ينتج عنه زيادة في التسارع.

الشّكل 3.4
عند ابتعاد الصاروخ أكثر عن الأرض تقلّ قوة الجاذبية بينهما.

ثابت الجذب الكونيّ، G

يمكن التعبير عن شكل التناسب في قانون الجذب الكوني بمعادلة دقيقة عندما نعرف ثابت التناسب G. ويسمى G ثابت الجذب الكوني. وعليه، تكون المعادلة

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

أي أنّه يمكن إيجاد قوة الجاذبية بين جسمين بضرب كتلتيهما، ثمّ القسمة على مربع المسافة بين مركزيهما. ثمّ ضرب النتيجة في الثابت G. إنّ قيمة G هي القوة بين زوج من الأجسام كتلة كلّ منهما 1 كجم، ويبعد أحدهما عن الآخر مسافة 1م: 0.0000000000667 نيوتن. وتشير هذه القيمة الصغيرة جدّا إلى أنّ القوة ضعيفة للغاية. باستخدام نظام الوحدات الدولي والشكل العلمي للثابت G*

$$G = 6.67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2/kg^2$$

ترشد المعادلات طالب الفيزياء إلى فهم كيفية ارتباط المفاهيم بعضها ببعض، كما ترشد النوتة الموسيقية الموسيقار في عزفه.

من الأهمية بمكان أن نذكر أنّ نيوتن تمكن من حساب حاصل ضرب G وكتلة الأرض ولكن ليس أيّ منهما وحده. لقد كان العالم الفيزيائي الإنجليزي هنري كافندش (Henry Cavendish) أول من حسب G وحدها في القرن الثامن عشر، أي بعد قرن من عصر نيوتن.

تربط G قوة الجاذبية بالكتلة والبعد كما تربط π محيط الدائرة بقطرها.

* لاحظ الدور المختلف للكتلة هنا. حتى الآن، تعاملنا مع الكتلة على أنّها مقياس للقصور، وتسمّى الكتلة القصورية. والآن، نرى أنّ الكتلة مقياسٌ لقوة الجاذبية، وتسمّى في هذا السياق كتلة الجاذبية. وقد ثبت بالتجربة أنهما متساويتان. ومن ناحية مبدئيّة، فإنّ التكافؤ بين الكتلتين القصورية والجاذبية هو أساس نظرية النسبية العامة لأينشتاين.

** تعتمد القيمة العددية للكمية G على وحدات القياس التي نختارها للكتلة، والمسافة والزمن. تستخدم الوحدات التالية في النظام الدولي: الكيلوجرام للكتلة، والمتر للمسافة، والثانية للزمن. وقد شُرح الترميز العلمي في الملحق أ في نهاية هذا الكتاب.

حَسبَ كافندش G بقياس القوة الضعيفة جدًّا بين كتل صغيرة جدًّا باستخدام ميزان ذي حساسيّة فائقة. ولاحقًا، اكتشف العالم فيليب جولي Phillip Jolly طريقة أبسط، وذلك بربط قارورة كروية من الزئبق بإحدى كفتي الميزان الحسّاس (الشّكل 4.4). ولكي يتزن الميزان؛ توصل إلى أنه يجب وجود كرة كتلتها 6 أطنان من الرّصاص أسفل قارورة الزّئبق. تمّ قياس قوة الجاذبية بين كتلتين بمعرفة الوزن اللازم ووضعه على الكفة المعاكسة للميزان؛ وذلك للحصول على الاتزان من جديد. إنّ الكميات m_1، وm_2، وF، و d جميعها معروفة. وعليه، يمكن حساب قيمة الثابت G كما يلي:

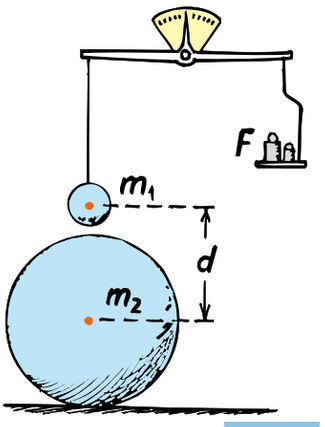
$$G = \frac{F}{\left(\frac{m_1 m_2}{d^2}\right)} = 6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N/kg^2/m^2} = 6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2/kg^2}$$

إنّ قوة الجاذبية هي القوة الأضعف بين القوى الأربع الأساسية المعروفة. (القوى الثلاث الأخرى هي القوة الكهرومغناطيسية، وشَكلا القوى النووية). ويمكننا تحسس الجاذبية فقط عندما تكون الكتل المتعلقة بالقوة شبيهة بكتلة الأرض. إذا كنت تجلس في سفينة كبيرة، فإنّ قوة التجاذب بينكما تكون ضعيفة جدًّا بالنسبة إلى القياسات العادية. في حين أنّ القوة بينك وبين الأرض يمكن قياسها؛ إنّها وزنك. إنّ وزنك لا يعتمد على كتلتك فقط، وإنما على موقعك من مركز الأرض أيضًا؛ فكتلتك على قمة جبل هي نفسها كما في أيّ مكان آخر. ولكن وزنك يكون أقلّ قليلًا عما هو عند مستوى سطح البحر. ويعزى هذا إلى أنّ بُعْدَك عن مركز الأرض يكون أكبر عندما تكون على قمة الجبل.

وعند معرفة قيمة G فإنه يمكن حساب كتلة الأرض بسهولة. إنّ القوة التي تؤثر بها الأرض في كتلة 1كجم على سطحها هي 9.8 نيوتن. وأنّ المسافة بين 1كجم ومركز الأرض، أي نصف قطر الأرض، هي 6.4x106 م. وهكذا، من العلاقة $F = G(m_1 m_2/d^2)$، حيث m_1 هي كتلة الأرض.

$$9.8\ \mathrm{N} = 6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2/kg^2} \frac{1\ \mathrm{kg} \times \mathrm{m_1}}{(6.4 \times 10^6\ \mathrm{m})^2}$$

ومن هذه، يمكن حساب كتلة الأرض m_1 التي تساوي $m_1 = 6 \times 10^{24}\ \mathrm{kg}$ لقد تمّ أول حساب لقيمة G في القرن الثامن عشر، وقد أثار ذلك الناس حول العالم. حيث أعلنت الصحف في كلّ مكان ذلك الاكتشاف، وأنّ شخصا ما قام بقياس كتلة كوكب الأرض. لقد كانت الإثارة في أنّ صيغة نيوتن تعطي كتلة محتوى الكوكب مع المحيطات والجبال جميعها، وحتى الأجزاء الداخلية التي لم تكتشف بعد. لقد تمّ حساب قيمة G وكتلة الأرض في حين أنّ جزءًا كبيرًا من سطح الأرض لم يكن قد اكتشف بعد.



الشّكل 4.4

طريقة فون جولي (Phillip von Jolly) لقياس G. تتجاذب كتلتا الكرتين، m_1، و m_2 بعضها إلى بعض بقوة F تساوي الوزن اللازم لإعادة الميزان.

لا يمكن تغيير شيء واحد فقط! كلّ معادلة تذكّرنا بهذا؛ لا يمكن تغيير أيٍّ من حدود جانبي المعادلة دون التأثير في الجانب الآخر منها.

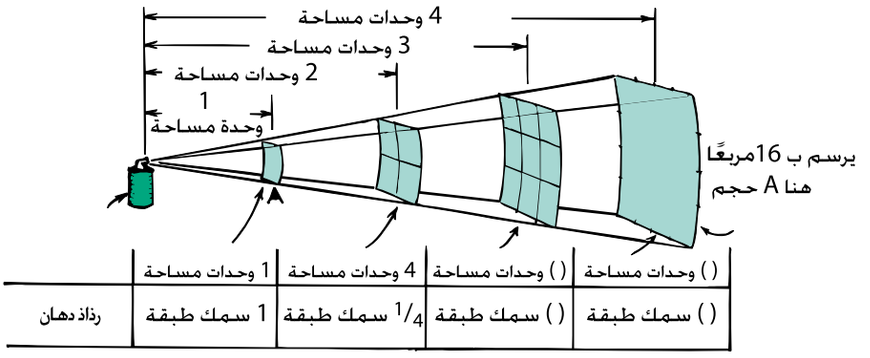
2.4 الجاذبيّة والمسافة

قانون التّربيع - العكسيّ

إذا أردنا الفهم الأفضل لكيفية ضعف الجاذبية مع المسافة؛ فعلينا مشاهدة كيفية انتشار الطلاء من المِرشّ مع زيادة المسافة. (الشكل 5.4). افترض أننا وضعنا المِرشّ في مركز كرة نصف قطرها 1م، وأنّ رشّة الطلاء وصلت مسافة 1م لكي تنتج بقعة طلاء سمكها 1مم. كيف يصبح سمك البقعة عند مضاعفة نصف قطر الكرة أي 2 م؟ إذا كانت كمية الطلاء نفسها قطعت مسافة 2 م في خطوط مستقيمة، فإنها ستنتشر في بقعة لها ضعف الطول وضعف العرض. وعليه، فإنّ الطلاء سينتشر على أربعة أضعاف هذه المسافة. ولهذا فإنّ سُمك طبقة الطلاء يكون $\frac{1}{4}$ مم فقط.

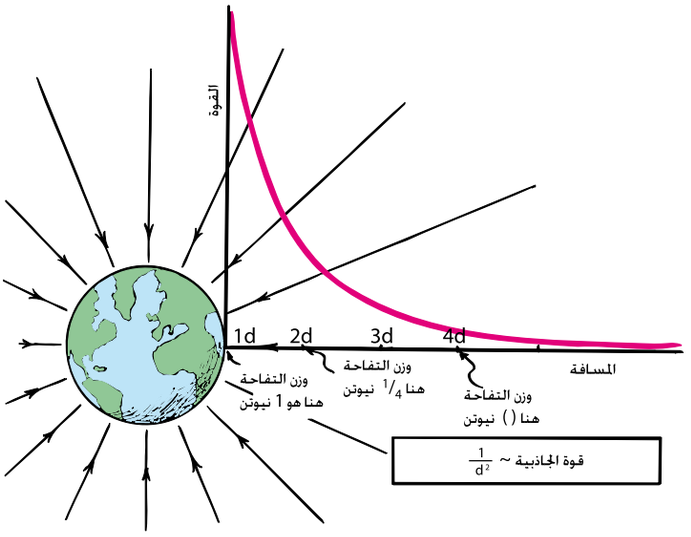
القول إنّ F تتناسب عكسيًّا مع مربع d يعني، مثلًا، إذا زادت d إلى ثلاثة أضعاف، فإنّ F تنقص أصغر – مضروبة في 9.

من الشكل (5.4) هل تمكنت من ملاحظة أنه في حالة الكرة التي نصف قطرها 3م يكون سمك بقعة الطلاء $\frac{1}{9}$ مم فقط. وهل تمكنت من ملاحظة أنّ سمك طبقة الطلاء يقلّ بزيادة مربع المسافة؟ هذا هو **قانون التّربيع - العكسيّ (Inverse - Square Law)**. ينطبق قانون التربيع العكسي على الجاذبية وعلى الظواهر جميعها التي ينتشر فيها تأثير مصدر مركزي بشكل متجانس خلال الفراغ المحيط. مثل: المجال الكهربائي حول إلكترون معزول، والضّوء الصادر من فتيل أو عود ثقاب، والإشعاع من قطعة يورانيوم، وكذلك الصوت الناتج عن ألم التّشنّج.



الشّكل 5.4
قانون التّربيع العكسيّ. ينتقل رذاذ الطلاء قطريًّا مبتعدًا عن فوهة المرشّ في خطوط مستقيمة. وكالجاذبية، فإنّ الشّدّة تخضع لقانون التّربيع العكسيّ.

إنّ قانون نيوتن في الجاذبية - كما كتب - يطبق على أجسام كروية. وكذلك على أجسام غير كروية بعيدة بعضها عن بعض. وأنّ عبارة المسافة d في معادلة نيوتن هي المسافة بين مراكز كتل الأجسام. لاحظ في الشّكل (6.4) أنّ التفاحة التي تزن عادة 1 نيوتن على سطح الأرض، فإنها تزن $\frac{1}{4}$ هذه القيمة عندما يتضاعف ارتفاعها عن مركز الأرض. وكلّما كان ارتفاع موقع جسم عن سطح الأرض أكبر كان وزنه أقلّ؛ فالطفل الذي يزن 300 نيوتن عند سطح البحر، ويزن 299 نيوتن عند قمة إفرست. وعند الارتفاع إلى الأعلى تكون القوة أقلّ. كما أنه عند ارتفاعات عالية جدًّا، تقترب قوة الجاذبية الأرضية من الصفر، ولكنها لا تساويه. حتى لو انتقلت إلى مسافات بعيدة في الكون فسيبقى أثر الوطن (الأرض) يجذبك إليه. ولكن يمكن لهذا الأثر أن يضعف بوجود آثار جاذبية ناجمة عن أجسام أخرى قريبة أو ذات كتل أكبر. إلا أنّ ذلك يظلّ موجودًا. إنّ التأثير الجذبيّ لأيّ جسم ماديّ سواء أكان صغيرًا أم بعيدًا يؤثر خلال الفضاء كاملا.



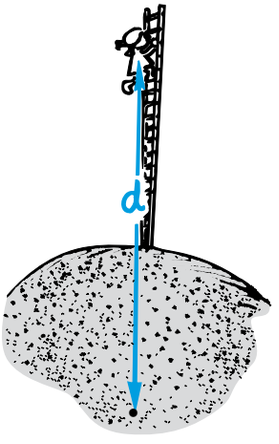
الشّكل 6.4
يعتمد وزن التفاحة على بعدها عن مركز الأرض.

■ نقطة فحص

1. ما مقدار النقصان في قوة الجاذبية بين جسمين عندما تتضاعف المسافة بين مركزيهما: مرّة واحدة؟ ثلاث مرات؟ عشر مرّات؟
2. افترض وجود تفاحة على قمة شجرة، وتسحب بقوة جاذبية من الأرض تساوي 1 نيوتن. إذا تضاعف طول الشجرة فهل تصبح قوة الجاذبية $\frac{1}{4}$ ما كانت عليه فقط ؟ دافع عن إجابتك.

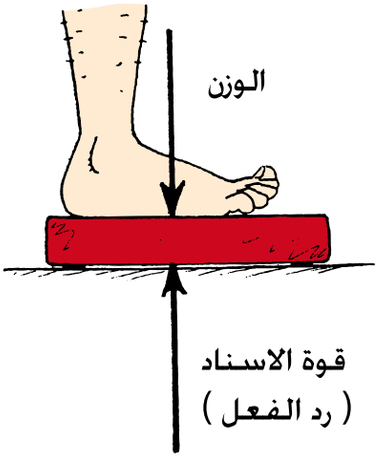
هل كانت هذه إجابتك؟

1. تقلّ إلى: الرّبع، التّسع، واحد في المئة من القيمة الأصلية.
2. لا؛ لأنّ التفاحة عندما تكون على قمة شجرة ذات ارتفاع مضاعف فهذا لا يعني أنّ ارتفاعها قد تضاعف عن مركز الأرض. ولكي يقلّ الوزن إلى $\frac{1}{4}$ قيمته؛ فإنه يجب أن يساوي ارتفاع الشجرة نصف قطر الأرض (6،370 كم). ولكي ينقص وزن جسم ما بنسبة 1%؛ يجب أن يرتفع 32كم – تقريبًا أربعة أضعاف ارتفاع قمة إفرست. عمليّا، نحن نتجاهل تأثيرات التغير في الارتفاع.



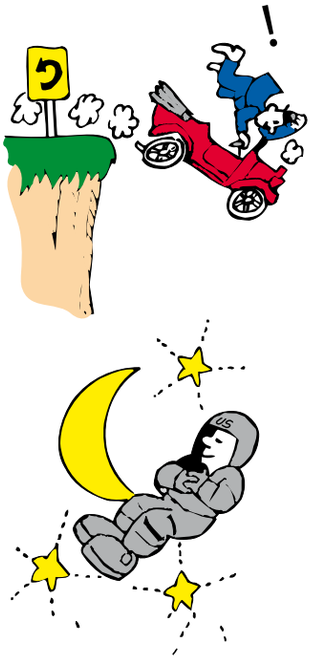
الشّكل 7.4
يتناقص وزن الشخص (ليس كتلته) بازدياد بُعده عن مركز الأرض.

3.4 الوزن وانعدامه



الشّكل 8.4
عندما تقف على ميزان فإنّ قوتين تؤثران فيه؛ الأولى، قوة الجاذبية إلى الأسفل (وزنك العادي، *mg*، إنْ لم يكن هناك تسارع) والأخرى، قوة إسناد إلى الأعلى. تضغط هاتان القوتان على جهاز شبه زنبركيّ داخل الميزان والمعاير ليشير إلى الوزن.

عندما تضع قدمك على ميزان حمام فإنك عمليًّا تضغط على زنبرك داخله. وعندما يتوقف مؤشره فإنّ قوة مرونة الزّنبرك المضغوط تعادل قوة الجاذبية بينك وبين الأرض؛ لا شيء يتحرك، لأنك والميزان في حالة اتزان سكونيّ. وتتم معايرة المؤشر بحيث يظهر **وزنك**. إذا وقفت على ميزان داخل مصعد متحرك، فستجد تغيرات في وزنك؛ فإذا كان المصعد يتسارع نحو الأعلى، فإنّ الزّنبرك داخل الميزان يكون مضغوطًا أكثر. وعليه تكون قراءة وزنك أكبر. أما إذا كان المصعد يتسارع نحو الأسفل فيكون انضغاط الزّنبرك أقلّ، لذا تكون قراءة وزنك أقلّ. ولكن إذا انفصلت حاملات المصعد بحيث يسقط بشكل حرّ فإنّ قراءة الميزان تكون صفرًا. ووفقا لقراءة الميزان، فإنك **عديم الوزن**. فهل حقيقة أنك عديم الوزن؟ يمكننا الإجابة عن هذا السؤال فقط، إذا اتفقنا على مايعنيه *مفهوم الوزن*.

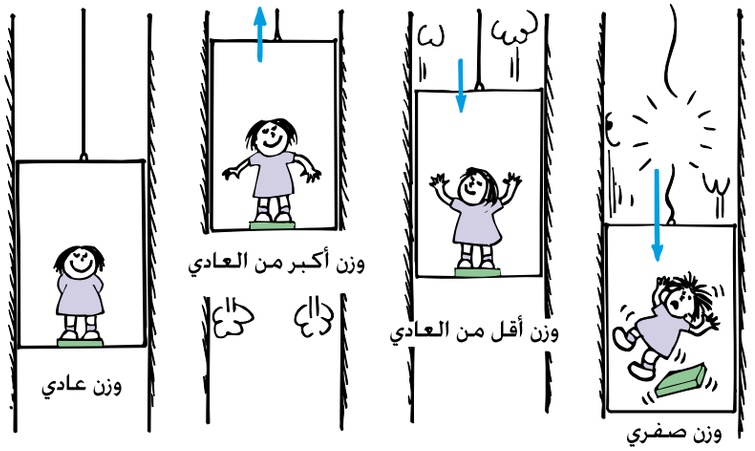


الشّكل 9.4
كلاهما عديم الوزن.

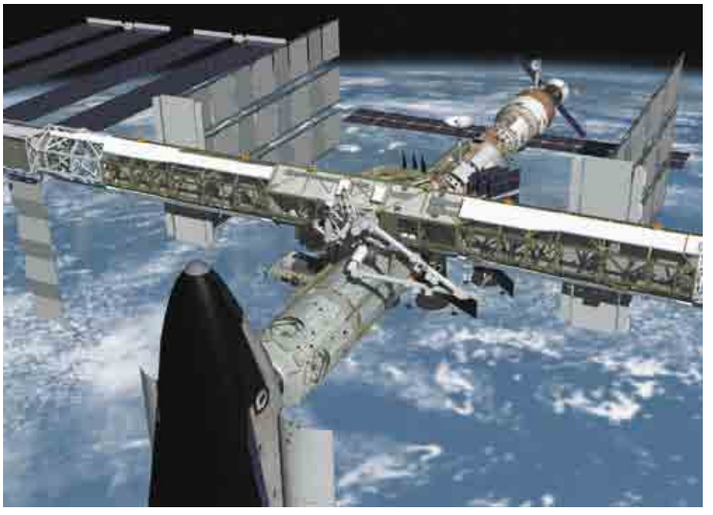
في الفصل الأول، اعتبرنا أنّ وزن جسم ما هو القوة المؤثرة فيه من الجاذبية. عندما يتّزن جسم على سطح صلب، فإنّ الوزن يظهر بقوة الدّفع. أما إذا علّق بحبل، فإنه يظهر بقوّة الشّدّ. وفي كلتا الحالتين بانعدام وجود تسارع، فإنّ الوزن يساوي *mg*. في المساكن المستقبلية المتخيَّلة التي تدور في الفضاء، فإنّ المحيط يؤثّر كطارد مركزيّ هائل دون أخذ الجاذبية في الحسبان. وهكذا فإنّ التعريف الشّائع للوزن هو أنّه القوة المؤثرة ضد السّطح الداعم، أو الحامل للجسم، أو ميزان الوزن. ووفق هذا التعريف، فإنك تكون ثقيلا كما تشعر؛ في مصعد يتسارع نحو الأسفل، فإنّ قوّة الدفع من السّطح تكون أقلّ. وعليه، يكون وزنك أقلّ. ولكن إذا كان المصعد ساقطًا بشكل حرّ، فإنّ وزنك يكون صفرًا (الشّكل 10.4). حتى في حالة انعدام الوزن هذه، فإنّ قوة الجاذبية لا تزال تؤثر فيك بحيث تسبب تسارعك نحو الأسفل. ولكن في هذه الحالة، لا تبدو الجاذبية كالوزن؛ بسبب عدم وجود قوة دفع من السّطح.

إنّ رواد الفضاء في مدارهم لا يكونون تحت تأثير قوة دعم، بل يكونون في حالة انعدام وزن مستمرة. إنّهم يعانون أحيانًا مما يسمى بمرض الفضاء حتى يعتادوا على حالة مستمرة من انعدام الوزن، فهم في حالة سقوط مستمر في مدارهم.

تهيّىء محطة الفضاء الدولية (ISS) المبينة في الشّكل 11.4 بيئة انعدام وزن. إنّ هذه المحطة، ومستلزماتها، ورواد الفضاء جميعهم يتسارعون في اتجاه الأرض بتسارع أقلّ بعض الشّيء من $1g$ بسبب موقعهم المرتفع عن سطح الأرض. وهذا التسارع غير ملموس على الإطلاق. وبالنسبة إلى المحطة، فإنّ رواد الفضاء يتعرضون لتسارع g = صفرًا. وهذا ما يسبب فقدان بعض من قوة العضلات على المدى البعيد. ويعمل كذلك على تَغيُّرات ضارة في الجسم. أما مرتادو الفضاء في المستقبل، فإنّهم لا يحتاجون إلى التعرض لحالة انعدام الوزن هذه. السكان الذين يدورون بتكاسل كما تدور عجلات ضخمة أو أكياس مربوطة بنهاية حبل مشدود سيحلّون مكان مرتادي السفينة الفضائية الحالية الذين لايدورون عمليّا. يُزوِّد الدوران قوة دعم ووزن أيضًا.



الشّكل 10.4
يساوي وزنُك القوةَ التي تضغط بها على الأرضية. إذا تسارعت الأرضية إلى أعلى أو إلى أسفل، فإنّ وزنك يتغير (ومع ذلك، بقيت قوة الجاذبية mg التي تؤثر فيك كما هي).



الشّكل 11.4
يختبر الأشخاص وتجهيزات السّقالات في هذا المختبر باستمرار انعدام الوزن. إنهم في سقوط حرّ حول الأرض. هل تؤثر قوة الجاذبية فيهم؟

لا يصاب سكان محطة الفضاء الدائرة بالدّوار في أثناء دورانهم؛ لأنّ محيطهم يدور معهم (إلا إذا نظروا خارج النافذة).

نقطة فحص

بأيّ شكل يمكن فهم الانسياق في الفضاء بعيدًا عن الأجسام السّماويّة كما في حالة الانزلاق على السّلّم؟

هل كانت هذه إجابتك؟

في كلتا الحالتين، فإنك تتأثر بحالة انعدام وزن. إنّ الانسياق في الفضاء السّحيق يجعلك تستمر في حالة انعدام الوزن بسبب عدم وجود قوة مرئيّة تؤثّر فيك. أمّا في حالة الانزلاق على السّلّم فإنّك تكون للحظة في حالة انعدام وزن؛ لأنّ فقدان قوة الدّعم يكون للحظة أيضًا.

ليس لرواد الفضاء وزن داخل عربة الفضاء التي تدور، مع أنّ قوة الجاذبية بينهم وبين الأرض أقلّ قليلًا منها على سطح الأرض.

4.4 الجذب الكونيّ

نعرف جميعًا أنّ الأرض كروية. ولكن السّؤال هو: لماذا هي كروية؟ والجواب هو: بسبب الجاذبية. كلُّ شيء يجذب كلَّ شيء آخر. وهكذا فإنّ الأرض يجذب بعضها بعضًا قدر الإمكان! أي رُكن من أركان الأرض سُحب نحو الداخل بفعل الجاذبية بحيث أصبحت كلّ أجزاء الأرض على مسافات ثابتة من مركز الجاذبية. وهذا يجعلها كروية. وهكذا فإنّنا نرى من قانون الجاذبية أنّ الشّمس، والقمر، والأرض تكون كرويّة لأنها يجب أن تكون هكذا (على الرّغم من أنّ تأثير الدّوران يجعلها بيضويّة الشّكل تقريبًا).

إذا كان كلُّ شيء يسحب كلَّ شيء آخر فإنّ الكواكب يسحب بعضها بعضًا. إنّ القوة التي توجّه كوكب المشتري على سبيل المثال ليست القوة المؤثرة من الشّمس فقط ؛ بل هناك قوى سحب غيرها من الكواكب الأخرى. ويعدّ تأثير هذه القوى بسيطًا مقارنة بتأثير الشّمس ذات الكتلة الأضخم. ومع ذلك يبقى تأثير الكواكب الأخرى موجودًا. عندما يكون كوكب زحل قريبًا من المشتري، فإنّ قوة سحبه تشوّه مسار المشتري الرّتيب. كلا الكوكبين "يتذبذبان" حول مساريهما المتوقعين. وتسمّى القوى بين الكواكب التي تسبب هذا التذبذب *اضطرابات*. وفي عام 1840م دُرس الكوكب الذي اكتشف متأخرًا من حيث الوقت ألا وهو كوكب أورانوس، حيث تبين أنّ انحرافه عن مساره لا يمكن تفسيره بالاضطرابات الموجودة في الكواكب الأخرى المعروفة كلّها. وقد يعزى هذا إلى أنّ قانون الجاذبية ناقص عند هذه المسافة البعيدة جدًّا عن الشّمس، أو أنّ الكواكب الثّمانية غير المعروفة هي التي أنتجت هذا الاضطراب في مدار أورانوس.

افترض كلّ من البريطاني ج آدمز (J. C. Adams) والفرنسي أوربان ليفيرير (Urbain Leverrier)، صحّة قانون نيوتن، وأجرى كلّ منهما حساباته منفردا مع الأخذ في الحسبان وجود الكواكب الثّمانية الأخرى. أرسل آدمز رسالة إلى مرصد جرين وتش (Greenwich) في إنجلترا، بالتزامن مع رسالة أرسلها ليفيرير إلى مرصد برلين في ألمانيا، حيث اقترحا مساحة محددة من السّماء للاستقصاء عن كوكب جديد. لقد كانت الاستجابة لطلب آدمز متأخرة بسبب سوء الفهم في جرين وتش، في حين قوبل طلب ليفيرير بالاهتمام مباشرة ؛ اكتشف الكوكب نبتون في الليلة ذاتها!

لمعلوماتك

- تشحن المنطقة المحيطة بجميع الأجسام ذات الكتل بمجال جاذبية. وبالمثل تكون المنطقة المحيطة بالمغناطيس مشحونة بالمجال المغناطيسي وكذلك المنطقة الموجودة حول شحنة كهربائية تكون مشحونة بمجال كهربائي.

لمعلوماتك

■ بعد التأكّد من أنّ الأرض لم تعد مركزا للكون، افترض أنّ كلّا من الجنس البشري والأرض تقلصت أهميتهما بحيث لم ينظر إليهما على أنهما متميزان. وعلى النقيض من هذا، فقد أشارت الكتابات في ذلك العصر إلى أنّ معظم الأوربيين ينظرون إلى البشر على أنهم قذرون وآثمون؛ بسبب تدني موقع الأرض بعيدًا عن الجنّة، وجهنم في مركزها. ولم ينظر إلى البشر باحترام ونبل إلا عندما نُظر إلى الشّمس بإيجابيّة، وأخذت موقعًا مركزيًّا. عندئذ أصبحنا متميزين باعترافنا أننا لسنا متميزين!

إنّ متابعة مسار كلٍّ من أورانوس ونبتون أسهمت في اكتشاف بلوتو عام 1930م من مرصد لويل Lowell في أريزونا. ومهما كان العلم الذي تعلمته في المرحلة الابتدائية، فإنّ بلوتو لم يعد كوكبنا. وفي عام 2006م صُنّف هذا الكوكب رسميًّا على أنه كوكب قزم. وهناك أجسام أخرى حجمها كحجم بلوتو تم اكتشافها إلى جانب نبتون* . يحتاج بلوتو إلى 248 سنة لإتمام دورة حول الشّمس. ولهذا لا يمكن لأحد رؤيته مرة أخرى في المكان الذي اكتشف فيه حتى عام 2178.

ويشير دليل حديث إلى أنّ الكون يتمدّد ويتسارع خارجًا مدفوعًا *بالطاقة المعتمة* المضادة للجاذبية، والتي تشكّل حوالي 73% من الكون. أمّا الجزء الآخر من الكون والذي نسبته 23%، فإنّه يتشكّل من جسيمات غريبة لم تُكتشف بعد، ألا وهي المادة المعتمة. في حين أنّ المادة العادية، والنجوم، وما بقي من الكون تشكّل نحو 4% فقط. لقد تمّ التّأكّد من مفهوم الطاقة المعتمة والمادة المعتمة في نهاية القرن العشرين وبداية القرن الحادي والعشرين. وتمّ تقدير المظهر الحالي للكون وتصوره من خلال ملاحظات نيوتن ومَنْ كان في عصره.

أضف إلى ذلك، أن بعض النّظريّات ذات دور مهم في العلوم والحضارة، كالدور الذي قامت به نظرية نيوتن في الجاذبية تمامًا. إنّ النجاحات التي توصّل إليها نيوتن تزامنت مع حركة التنوير. ولقد أظهر نيوتن من خلال الملاحظة والبرهان أنه لا يمكن للناس الإحاطة بكل الكون الفيزيائيّ. إنّ ما يصعب فهمه هو أنّ الأقمار، والكواكب، والنجوم، والمجرات جميعها ينطبق عليها القانون البسيط الآتي:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

تعدّ الصيغة الرياضية البسيطة لهذا القانون أحد الأسباب الرّئيسة التي أسهمت في تقدّم العلوم لاحقا؛ لأنها أعطت الأمل في إمكانية وصف الظواهر الكونية الأخرى بقوانين كونية بسيطة مشابهة.

لقد عزّز هذا الأمل تفكير العديد من العلماء، والأدباء، والكتّاب، والفلاسفة في عام 1700م. ومن هؤلاء الفيلسوف الإنجليزي جون لوكي الذي اقتنع بأنّ الملاحظات والتبريرات التي قدّمها نيوتن هي أفضل حكم ومرشد للأشياء جميعها. كما بيّن لوكي أنّ كلّ ما في الطبيعة، وحتى المجتمع يجب أن يبحث من أجل اكتشاف أيّ قوانين طبيعية قد تكون موجودة. وباستخدام الفيزياء النيوتونية للتفسير، فقد نَمذَجَ لوكي ومن تبعه نظامًا حكوميّا أوجد أتباعًا له في المستعمرات البريطانية الثلاث عشرة عبر الأطلنطي. وقد بلغت هذه الأفكار الذروة في إعلان استقلال الولايات المتحدة الأمريكية ودستورها.

■ 5.4 حركة المقذوفات

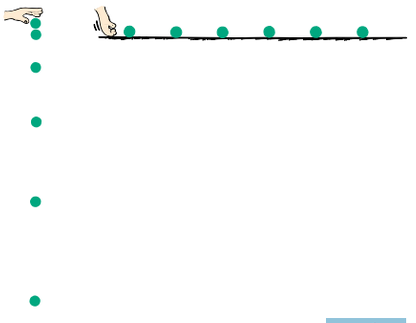
إنّ الحجر المقذوف بزاوية نحو الأعلى يتحرك بخطّ مستقيم دون وجود جاذبية. ولكن في وجود الجاذبية، فإنّ المسار سينحني. يسمى الحجر المضروب، أو قذيفة المدفع، أو أيّ جسم مقذوف بأيّ شكل ويستمر في حركته تحت تأثير قصوره الذاتي **مقذوفًا**. بالنسبة لجنود المدفعية في القرون السابقة، فقد كان المسار المنحني للمقذوفات يبدو معقّدًا جدًّا. أمّا في الوقت الحاضر فإنّ هذه المسارات بسيطة بشكل مدهش إذا نظرنا إلى مركبات السرعتين الأفقية والعمودية بشكل منفصل.

* قواوور (*Quaoar*) له قمر، إيريس (Eris) أكبر 30% من بلوتو. الجسم 2003EL 61 له قمران. شيئان آخران هما سيدنا (Sedna) وبوفي (Buffy) اكتشفا عام 2005. وحجمهما يقارب حجم بلوتو.

إنّ مُركّبة السّرعة الأفقية للمقذوف ليست أعقد من السّرعة الأفقية التي تتدحرج بها كرة البولنج بشكل حرّ على مسارها. وبإهمال قوة الاحتكاك المعيقة للحركة، فإنّ الكرة لا تتأثر بأيّ قوة أفقيّة. وعليه، ستكون سرعتها الأفقية ثابتة. تتدحرج الكرة تحت تأثير قصورها الذاتي بحيث تقطع مسافات متساوية في فترات زمنية متساوية (الشكل 12.4، الأعلى). إنّ المركبة الأفقية لحركة المقذوف هي تمامًا كحركة كرة البولنج في مسارها.

إنّ المركّبة العموديّة لحركة المقذوف في المسار المنحني كحركة الجسم السّاقط بشكل حرّ كما تم وصفه في الفصل الأول. وهذه المركبة هي نفسها تمامًا كما في حالة السّقوط الحرّ عموديًّا نحو الأسفل، كما يظهر في الجزء الأيسر من الشّكل 12.4. كلّما كان الجسم السّاقط أسرع كانت المسافة المقطوعة في وحدة الزمن أكبر. أو إذا قذف الجسم نحو الأعلى، فإنّ المسافة العمودية المقطوعة في وحدة الزمن تتناقص مع زمن صعوده.

إنّ المسار المنحني للمقذوف هو تراكب حركتين: أفقيّة وعموديّة. وإنّ السّرعة هي كمية متجهة، ومتجه السّرعة عند زاوية ما له مركبة أفقيّة وأخرى عموديّة كما يتضح من الشّكل 13.4. وعندما تكون مقاومة الهواء صغيرة بحيث يمكن إهمالها تكون مركبتا السّرعتين الأفقيّة والعموديّة مستقلتين تمامًا إحداهما عن الأخرى. وإنّ دمج تأثيرهما ينتج مسار المقذوف.

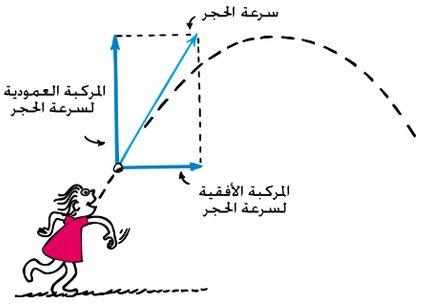


الشّكل 12.4
إلى اليسار، تمّ إسقاط الكرة، وهي تتسارع إلى الأسفل، وتقطع مسافة رأسية أكبر في كلّ ثانية. وإلى اليمين، تتدحرج الكرة على سطح أفقيّ، وسرعتها ثابتة بسبب عدم وجود قوة جاذبية تؤثّر أفقيًّا.

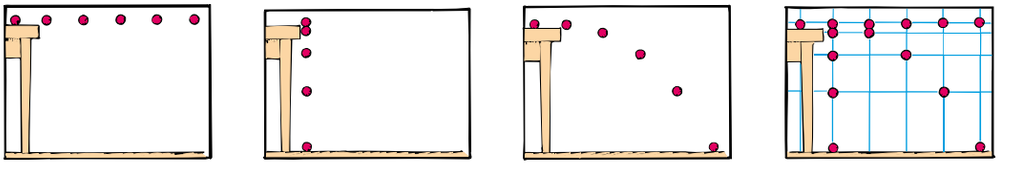
مقذوف يُطلق أفقيًا

تم تحليل حركة مقذوف بشكل رائع، كما في الشّكل 14.4 الذي يوضح محاكاة وميض متكرر لموقع كرة تتدحرج من حافة طاولة. ادرسها جيدًا بتمعن؛ لأنها تحوي كمًّا كبيرًا من المعلومات الفيزيائيّة. إلى يسار الشّكل، نلاحظ المواقع المتتالية في الفترات الزمنية المتساوية للكرة دون أيّ تأثير للجاذبية. في حين يظهر تأثير المركبة الأفقيّة لحركة الكرة فقط. وبعد ذلك، نلاحظ الحركة العموديّة دون المركبة الأفقيّة. لقد تمّ تحليل المسار المنحني في المنظر الثالث جيّدًا آخذين في الحسبان مركبات الحركتين الأفقيّة والعموديّة بشكل مستقل. وهنالك أمران مهمان جديران بالاهتمام: الأول عدم تغيّر المركبة الأفقيّة لسرعة الكرة خلال سقوطها. فالكرة تقطع المسافة الأفقيّة نفسها خلال الفترات الزمنيّة المتعاقبة نفسها، ويعزى ذلك إلى عدم وجود مركبة أفقيّة للجاذبية. وبما أنّ الجاذبية تؤثر نحو الأسفل فقط، فإنّ التّسارع يكون *نحو الأسفل* فقط أيضا. أمّا الأمر الآخر، فهو أنّ المواقع العموديّة تتباعد أكثر مع الزمن. لاحظ أنّ انحناء مسار الكرة هو تراكب الحركتين: الأفقيّة التي تبقى ثابتة، والعموديّة التي تخضع للتّسارع الناتج عن الجاذبيّة.

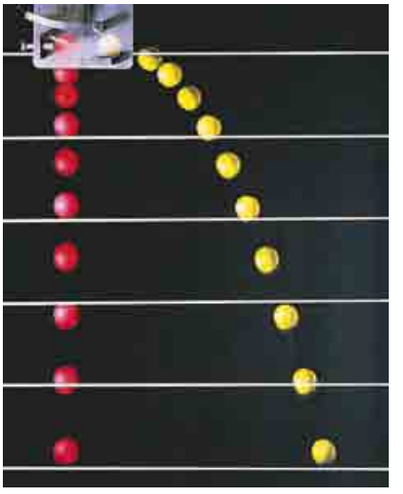
إنّ مسار المقذوف المتسارع فقط في الاتجاه العمودي، والمتحرك بسرعة أفقية ثابتة هو مسار **قطع مكافئ (Parabola)**. عندما تكون مقاومة الهواء صغيرة بما فيه الكفاية (بحيث يمكن إهمالها) كما في حالة جسم ثقيل دون سرعة كبيرة، فإنّ المسار يكون قطعًا مكافئًا.



الشّكل 13.4
المركبتان العموديّة والأفقيّة لسرعة الحجر.



الشّكل 14.4
صور تحاكي حركة كرة مضاءة بمنظار ضوئيّ (ستروبوسكوب).



الشّكل 15.4
صورة بمنظار ضوئيّ لكرتي جولف تطلقان في آن واحد بآلية تسمح لإحدى الكرتين بالسّقوط الحرّ عندما تُقذف أفقيًّا.

■ **نقطة فحص**

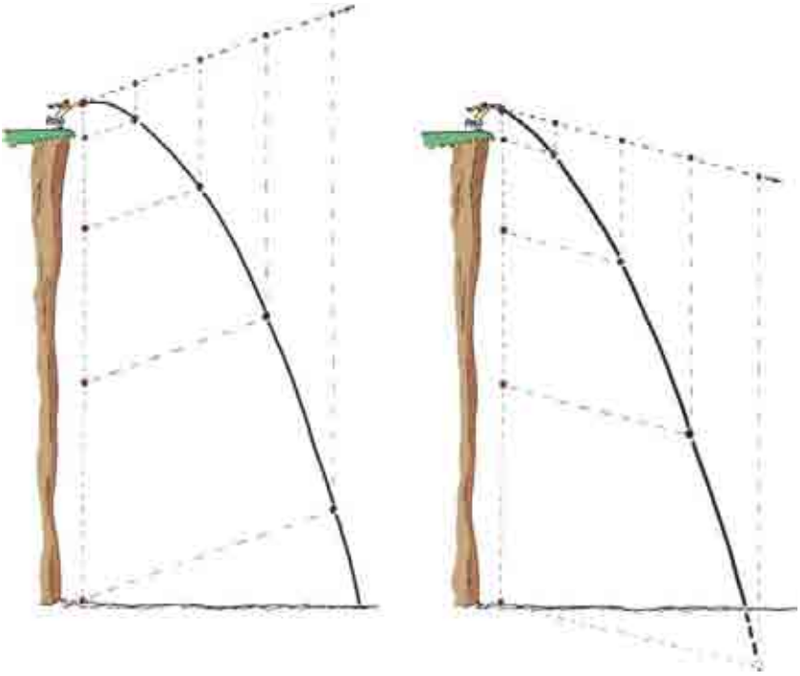
في اللحظة نفسها التي يطلِق فيها مدفع قذيفة أفقيًّا، يُسقِط مدفع آخر قذيفة موجودة عند حافته عموديًّا إلى الأسفل نحو الأرض من السكون. أيّ القذيفتين تصل الأرض أوّلًا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

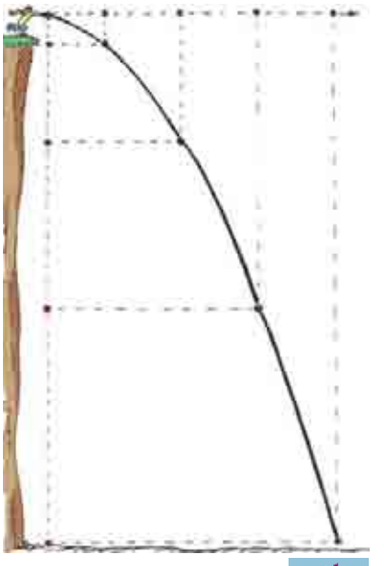
كلتا القذيفتين تصلان الأرض في الوقت نفسه؛ لأنّهما سقطتا من المسافة العمودية نفسها. لاحظ أنّ ذلك يعود إلى مبادئ الفيزياء (الأشكال من 14.4 وحتى 16.4). ويمكننا تبرير ذلك بطريقة مختلفة من خلال السؤال عن أيّ منهما يصطدم بالأرض أولا إذا كان المدفع موجهًا نحو الأعلى بزاوية. وهكذا فإنّ القذيفة التي تسقط تصطدم أولا. أمّا قذيفة المدفع فلا تزال محلّقة في الهواء. وسنفترض الآن أنّ المدفع موجّه *نحو الأسفل*. في هذه الحالة، سنجد أنّ قذيفة المدفع تصطدم أولا. لذا سنلاحظ أنّه في حالة القذف نحو الأعلى فإنّ القذيفة السّاقطة تصطدم أولا، ولكن إذا تمّ القذف نحو الأسفل، فإنّ قذيفة المدفع ستصطدم أولا. هل هنالك زاوية تكون عندها حرارة ضائعة، وعليه تصطدم كلتا القذيفتين بالأرض في الوقت نفسه؟ هل يمكنك ملاحظة حدوث ذلك عندما يكون المدفع أفقيًّا؟

مقذوفات تطلق بزاوية ما

نرى في الشّكل 17.4 مسارات أجسام رُميت بزاوية نحو الأعلى (اليسار)، ونحو الأسفل (اليمين). تُظهر الخطوطُ المستقيمة المتقطعة في أعلى الشّكل المساراتِ المثاليةَ للأجسام بعدم وجود جاذبية. لاحظ أنّ المسافة العمودية التي يقطعها كلّ جسم أسفل مسار الخطّ المستقيم المثالي تكون هي نفسها للفترات الزمنية المتساوية. ولا تعتمد هذه المسافة العمودية على ما يحدث أفقيًّا.



الشّكل 17.4
بغض النظر عما لو أطلقت بزاوية إلى أعلى أو إلى أسفل فإنّ المسافة العموديّة المقطوعة أسفل مسار الخطّ – المستقيم المثالي هي نفسها للأزمان المتساوية.



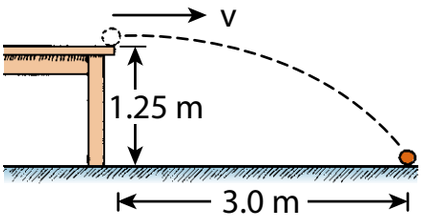
الشّكل 16.4
الخطّ العموديّ المتقطّع في اليسار هو مسار الحجر السّاقط من السكون. أمّا الخطّ الأفقيّ المتقطّع في الأعلى فهو المسار عند عدم وجود جاذبية. في حين يمثّل الخطُّ المنحني المستمر المسارَ الناتج عن الحركتين الأفقيّة والعموديّة معًا.

حساب العلوم الطبيعية

■ **حلّ مسائل**

عينة مسألة 1

تتدحرج كرة كتلتها 1.0 كجم على طاولة مختبر ارتفاعها 1.25م. وترتطم بالأرض على بعد 3 م من قاعدة الطاولة.



(أ) بيّن أنّ الكرة تحتاج إلى زمن 0.5 ث لترتطم بالأرض.

(ب) بيّن أنّ الكرة تترك الطاولة بسرعة 6 م/ث.

الحلّ:

(أ) نريد إيجاد زمن تحليق الكرة في الهواء. بداية، الزمن المستغرق قبل أن تصدم الكرة بالأرض هو الزمن المستغرق نفسه من الكرة الساقطة عموديًّا من السّكون لقطع المسافة y. ويُقال من السّكون؛ لأنها تكون متحركة أفقيًا قبل أن تترك الطاولة، أي أنّ سرعتها الابتدائية العموديّة تساوي صفرًا.

من العلاقة $y = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t^2 = \frac{2y}{g}$

ثم $t = \sqrt{\frac{2y}{g}} = \sqrt{\frac{2(1.25\ \text{m})}{10\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 0.5\ \text{s}$

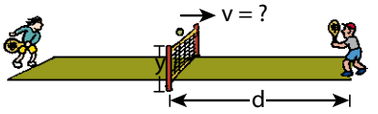
(ب) السرعة الأفقيّة للكرة عند مغادرتها سطح الطاولة باستخدام زمن 0.5 ث هي

$$v_x = \frac{d}{t} = \frac{x}{t} = \frac{3.0\ \text{m}}{0.5\ \text{s}} = 6.0\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

لاحظ أنّ حدود المعادلات تقود إلى الحلّ. ولاحظ أيضًا أنّ كتلة الكرة لا تظهر في المعادلات؛ لذا فهي معلومة غير مطلوبة (تمامًا كلون الكرة).

عينة مسألة 2

تتحرك كرة تنس طاولة أفقيًّا بحيث تكون على وشك ملامسة الشّبكة التي ترتفع مسافة y عن سطح الطّاولة. ولكي تسقط الكرة ضمن حدود الطّاولة، فإنّ الكرة يجب ألا تكون سريعة جدًّا.



(أ) لكي تبقى الكرة ضمن حدود الطّاولة في المسافة الأفقيّة d من أسفل الشّبكة؛ أهمل مقاومة الهواء والأثر الدّورانيّ للكرة. وبيّن أنّ السّرعة القصوى للكرة فوق الشّبكة هي

$$v = \frac{d}{\sqrt{\frac{2y}{g}}}$$

(ب) افترض أنّ ارتفاع الشّبكة هو 1م، وأنّ حدود الطّاولة من أسفل الشّبكة هو 12م. وافترض كذلك أنّ 10 م/ث^2 = g. وبيّن أنّ أقصى سرعة أفقيّة تتحرك بها مباشرة فوق الشّبكة نحو 27 م/ث (60 ميل/ساعة تقريبًا).

(ج) هل تسبب كتلة الكرة أيّ اختلاف؟ وضّح إجابتك.

الحلّ:

(أ) كما في عينة المسألة 1، فإنّ المفهوم الفيزيائي هنا يتضمن حركة مقذوف عند عدم وجود مقاومة هواء؛ حيث إنّ مركبات السّرعتين الأفقيّة والعموديّة لا يعتمد بعضها على بعض. نسأل عن السرعة الأفقيّة. وعليه، يمكننا القول إنّ $g = 10\ \text{m/s}^2$

حيث d المسافة الأفقيّة المقطوعة في الزّمن t. وكما في مسألة العينة الأولى، فإنّ زمن تحليق الكرة t هو نفسه إذا ما أسقطناها من السكون من أعلى الشّبكة عموديًّا مسافة y. وعند مغادرة الكرة الشّبكة حيث تكون على وشك ملامستها- وهذا الموقع للكرة هو أعلى نقطة في مسارها- تكون المركبة العمودية للسرعة صفرًا.

من العلاقة

$$y = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t^2 = \frac{2y}{g} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

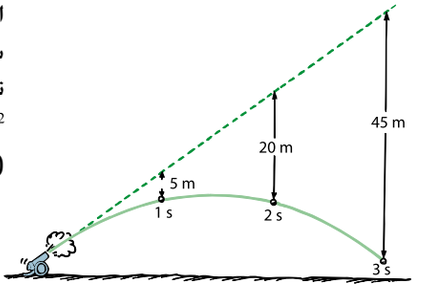
وعليه، فإنّ $v = \frac{d}{t} = \frac{d}{\sqrt{\frac{2y}{g}}}$.

هل يمكنك ملاحظة أنّ الحلّ باستخدام الرموز يوضّح بشكل أفضل أنّ هاتين المسألتين هما ذات المسألة. لقد دُمجت الفيزياء كلّها في الخطوتين أ و ب في عينة المسألة الأولى في الخطوة أ في عينة المسألة الثّانية.

(ب) $$v = \frac{d}{\sqrt{\frac{2y}{g}}} = \frac{12.0\ \text{m}}{\sqrt{\frac{2(1.00\ \text{m})}{10\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}}$$
$$= 26.8\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 27\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

(ج) يمكننا ملاحظة أنّ كتلة الكرة (في كلتا المسألتين) لم تظهر في معادلات الحركة. وهذا يشير إلى أنّ الكتلة ليس لها أثر. بالرجوع إلى الفصل الثاني حيث لا أثر للكتلة في السّقوط الحرّ للأجسام، وأنّ كرة التنس هي جسم ساقط سقوطًا حرًّا (كما يكون المقذوف عند إهمال مقاومة الهواء).

ويوضح الشّكل 18.4 مسافات عموديّة محدّدة لقذيفة مدفع مقذوفة بزاوية نحو الأعلى. إذا لم تكن هنالك جاذبية فإنّ قذيفة المدفع تتبع مسار خطّ مستقيم، وهو الموضّح بخطّ متقطع. ولكن لن يحدث ذلك بعدم وجود الجاذبية. إنّ ما يحدث هو أنّ قذيفة المدفع تسقط على نحو متصل أسفل خطّ تخيّليّ حتى تصطدم بالأرض في النهاية. لاحظ أنّ المسافة العموديّة التي تسقطها أسفل أيّ نقطة على الخطّ المتقطع هي المسافة العمودية نفسها التي تقطعها إذا سقطت من السكون، وسقطت خلال الفترة الزمنية نفسها. تعطى هذه المسافة كما عرفت في الفصل الأول بالعلاقة $d = \frac{1}{2}gt^2$ حيث t الفترة الزمنية المستغرقة. وعندما تكون g = 10 م/ث^2 فهذا يعني أنّ $d = 5t^2$.



الشّكل 18.4
من دون جاذبية، سيسير المقذوف في مسار خطّ - مستقيم (الخطّ المتقطّع). ولكن بسبب الجاذبية سيسقط المقذوف أسفل هذا الخطّ، وبالمسافة العموديّة نفسها كما لو أنه يسقط من السّكون. قارن المسافات المقطوعة مع تلك المعطاة في الجدول 2.1 في الفصل الأول. (افترض أنّ 9.8 م/ث^2 = g. وهذه المسافات بدقة أكثر هي: 4.9 متر، و19.6 متر، و44.1 متر).

ويمكننا مناقشة هذا بطريقة أخرى اقذف مقذوفًا نحو الأعلى بزاوية، وافترض عدم وجود جاذبية. ستجد بعد بضع ثوانٍ من الزمن أنّ t ستكون عند نقطة محددة على مسار الخطّ المستقيم. لكن، وبسبب الجاذبية، فإنّ ذلك غير ممكن. إذن أين يكون موقع المقذوف؟ الجواب هو مباشرة أسفل هذه النقطة. كم يكون البعد نحو الأسفل؟ الجواب هو $5t^2$ (أو أكثر تحديدًا $4.9t^2$). كيف يكون ذلك؟

■ نقطة فحص

1. إذا قُذفت قذيفة المدفع في الشّكل 18.4 بسرعة أكبر، فكم مترًا تكون قد قطعت أسفل الخطّ المتقطّع مع نهاية الثّانية الخامسة؟
2. إذا كانت مركبة السّرعة الأفقيّة لقذيفة المدفع هي 20 م/ث، فما المدى الأفقيّ المقطوع من القذيفة في خمس ثوانٍ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. المسافة العمودية أسفل الخطّ المتقطّع مع نهاية الثّانية الخامسة هو 125م. انظر المقدار فقط: [$d = 5t^2 = 5(5)^2 = 5(25) = 125$م].

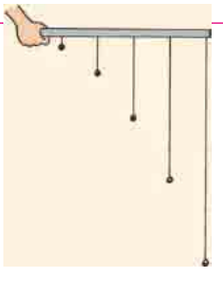
من الأهمية معرفة أنّ هذه المسافة لا تعتمد على زاوية المدفع. وبإهمال مقاومة الهواء، فإنّ أيّ مقذوف سيسقط مسافة $5t^2$ من الأمتار أسفل النقطة التي يصل إليها عند عدم وجود جاذبية.

2. عند عدم وجود مقاومة هواء، فإنّ قذيفة المدفع تقطع مسافة أفقية 100م [$d = v_x t = (20$ م/ث$)(5$ ث$) = 100$م] . لاحظ أنه بسبب الجاذبية التي تؤثر عموديًّا نحو الأسفل فقط، فإنّه لا يوجد أيّ تسارع في الاتجاه الأفقيّ. إنّ قذيفة المدفع تقطع مسافات أفقيّة متساوية في فترات زمنيّة متساوية. وهذه المسافة ببساطة حاصل ضرب مركبة السّرعة الأفقيّة في الزمن (وليس $5t^2$ التي تطبّق فقط على الحركة العموديّة تحت تأثير تسارع الجاذبيّة).

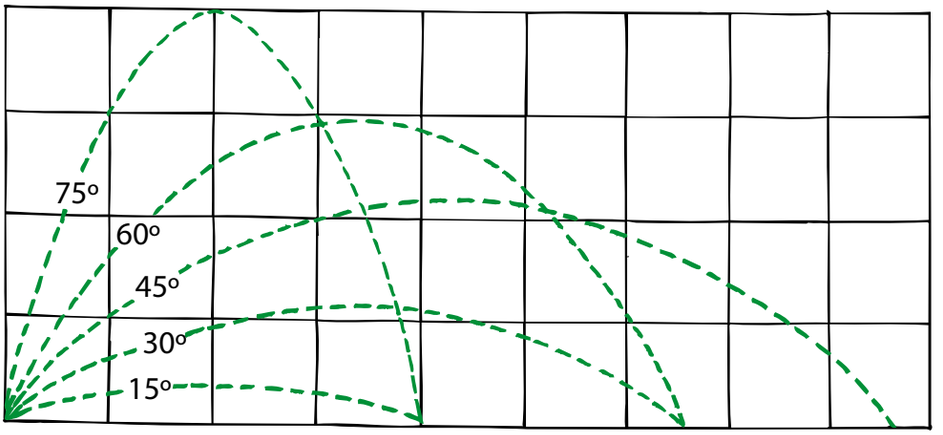
نشاطات في العلوم الفيزيائيّة

■ الأيدي على الخرزات المدلّاة

اعمل بنفسك نموذجًا لمسار مقذوف. قسّم مسطرة أو عصا إلى خمسة أجزاء متساوية. علّق في الموقع الأول خرزة بسلك طوله 1 سم كما في الشّكل. وعلّق في الموقع الثاني خرزة بسلك طوله 4 سم. وفي الموقع الثالث، علّق خرزة بسلك طوله 9 سم. أما في الموقع الرابع فعلّق خرزة بسلك طوله 16 سم، وأخيرا علّق في الموقع الخامس خرزة بسلك طوله 25 سم. إذا جعلت العصا أفقيّة، فستحصل على نسخة من الشّكل 16.4. ولكن إذا ثبّتّ العصا بحيث تميل إلى الأعلى بزاوية صغيرة،

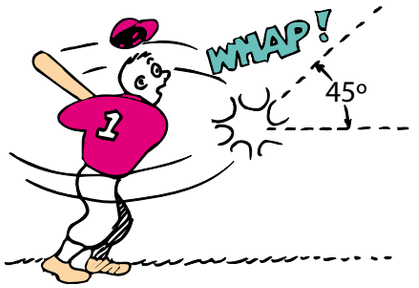


فستحصل حينئذ على نسخة من الشّكل 17.4 (يسار). أمّا إذا ثبّتّ العصا بحيث تميل نحو الأسفل بزاوية صغيرة، فستحصل عندئذ على نسخة من الشّكل 17.4 (يمين).



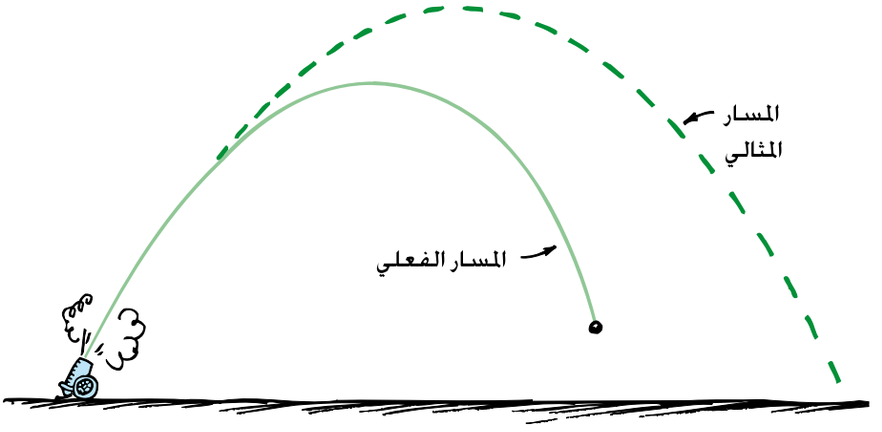
الشّكل 19.4
اختلاف المدى لمقذوف أطلق بالسرعة نفسها وبزوايا قذف مختلفة.

الشّكل 19.4 يوضح مسارات مجموعة مقذوفات. جميعها لها السّرعة الابتدائيّة نفسها. ولكنها تختلف في زوايا الإطلاق. تم إهمال مقاومة الهواء. وعليه، فإنّ مساراتها جميعًا هي قطع مكافئ. لاحظ أنّ هذه المقذوفات تصل ارتفاعات قصوى مختلفة. كما أنّ لكلّ منها مدى أفقيًّا مختلفًا. إنّ الشيء المميز الذي يمكن ملاحظته من الشّكل 19.4 هو أنّه يمكن الحصول على المدى الأفقيّ نفسه من زاويتي إطلاق مختلفتين عندما يكون مجموعهما 90°! وعلى سبيل المثال، إذا قُذف جسم إلى الهواء بزاوية 60°، فسيكون له المدى الأفقيّ نفسه، كما لو تم قذفه بالسّرعة نفسها ولكن بزاوية 30°. وفيما يتعلق بالزاوية الأقلّ، فإنّ الجسم يمكث في الهواء فترة زمنية أقصر. ويكون المدى الأفقيّ أكبر ما يمكن عندما تكون زاوية قذف الجسم 45°، وكذلك عندما تكون مقاومة الهواء مهملة.



الشّكل 20.4
يتحقق أعظم مدى عند قذف الكرة بزاوية قريبة من 45°.

ينتج أكبر مدى أفقيّ لكرة البيسبول عندما تقذف الكرة بزاوية 45° فوق المستوى الأفقيّ عند إهمال تأثير الهواء. ولكن إذا أُخذت مقاومة الهواء والحركة الدّورانيّة للكرة (الفصل 5) في الحسبان فإنّ أفضل (أكبر) مدى يتحقق عندما تكون زاوية الإطلاق أقلّ من 45°. إنّ كلًّا من مقاومة الهواء والحركة الدّورانيّة تكونان ذات أهمية أكبر لكرة الجولف عندما تُقذف بزاوية أقلّ من 38°؛ حيث يكون المدى الأفقيّ عندها أقصى ما يمكن. أمّا فيما يتعلّق بالمقذوفات الثقيلة كرمي رمح أو قذيفة مدفع، فإنّ تأثير مقاومة الهواء يكون أقلّ على المدى الأفقيّ؛ لأنّ الرّمح ثقيل، ويمسح مساحة مقطع ضئيلة جدًّا في الهواء. وعليه، فإنه يتبع مسار قطع مكافئ مثاليًّا عندما يُقذف. وهذا ينطبق أيضًا على قذيفة المدفع. وفي مثل هذه المقذوفات، فإنّ أقصى مدى أفقيّ لسرعة القذف نفسها يكون عند زاوية قذف 45° تقريبًا (أقلّ قليلًا من هذه الزاوية؛ لأنّ علو المقذوف يكون فوق سطح الأرض). ولكن سرعة القذف ليست متساوية لمثل هذا المقذوف بزوايا مختلفة. في حالة رمي الرّمح أو القذيفة فإنّ جزءًا كبيرا من قوة الإطلاق يذهب في مواجهة الجاذبية؛ كلّما كانت الزاوية أكبر، نقصت سرعة الجسم عندما يُغادر يد القاذف. وهكذا فإنّ الجاذبية تؤدّي دورًا قبل عملية الإطلاق وبعدها. ويمكنك فحص ذلك بنفسك؛ إذا رميت جسمًا ثقيلًا أفقيًّا، ثم عموديًّا، فسترى أنّ الرّمي الأفقيّ كان أسرع كثيرًا من الرّمي العموديّ. وعليه، فإنه يمكن الحصول على أقصى مدى أفقي لرمي مقذوف ثقيل من البشر، وهو قذفه بزاوية أقلّ من 45° - وليس بسبب مقاومة الهواء.



الشّكل 21.4
ينقص مسار المقذوف عن المسار المثالي بوجود مقاومة الهواء.

نظرة أخرى على زمن التّحليق

ذكرنا في الفصل الأول أنّ زمن الطيران خلال القفز لا يعتمد على السرعة الأفقيّة. ونسأل الآن: لماذا؟ الحركتان الأفقيّة والعموديّة مستقلتان إحداهما عن الأخرى. وتطبق قواعد حركة المقذوف على القفز. حينما تصبح قدما اللاعب فوق الأرض فإنّ قوة الجاذبية تؤثر فيه (بإهمال مقاومة الهواء). إنّ زمن التّحليق يعتمد على مركبة السّرعة العموديّة الابتدائيّة فقط. ولكن يمكن أن يُحدث فعل الرّكض فرقًا؛ فعندما يركض القافز فإنّ قوة الإقلاع في أثناء القفز يمكن أن تزداد من أثر ضرب القدمين الأرض (وردّ فعل الأرض على الأقدام) في عملية فعل – ردّ فعل). وهكذا فإنّ زمن التّحليق للقافز الذي يركض غالبًا ما يكون أكبر من زمن التّحليق للقافز من الثّبات. ولكن حينما تصبح قدمًا القافز فوق الأرض.

يُحدَّد زمن التّحليق من مركبة السّرعة العموديّة الابتدائيّة فقط.

نقطة فحص

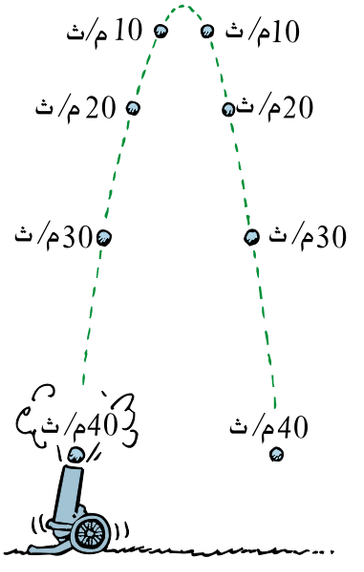
1. إذا قُذفت كرة بيسبول بزاوية في الهواء. فما تسارعاها العموديّ والأفقيّ عندما تكون في الجوّ. مع إهمال مقاومة الهواء؟
2. في أيّ جزء من مسارها تكون سرعة الكرة أقلّ ما يمكن؟
3. خذ كرة بيسبول مقذوفة. وتتبَّع مسار قطع مكافئ في يوم تكون فيه الشّمس عموديّة. قارن سرعة ظلّ الكرة عبر الملعب مع مركبة سرعة الكرة الأفقيّة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. التّسارع العموديّ g؛ لأنّ قوة الجاذبية عموديّة. أمّا التسارع الأفقي فهو صفر لعدم وجود قوة أفقيّة تؤثّر في الكرة.
2. إنّ أقلّ سرعة للكرة تكون عند قمة المسار. إذا قذفت عموديًا. فإنّ سرعتها عند القمة تكون صفرًا. وإذا قذفت بزاوية. فستكون مركبة السّرعة العموديّة صفرًا عند القمة. وتبقى فقط مركبة السّرعة الأفقيّة. وهكذا. تكون السّرعة عند القمة هي المركبة الأفقيّة لسرعة الكرة عند أيّ نقطة. هل هذا منطقيّ؟
3. إنهما متساويتان.

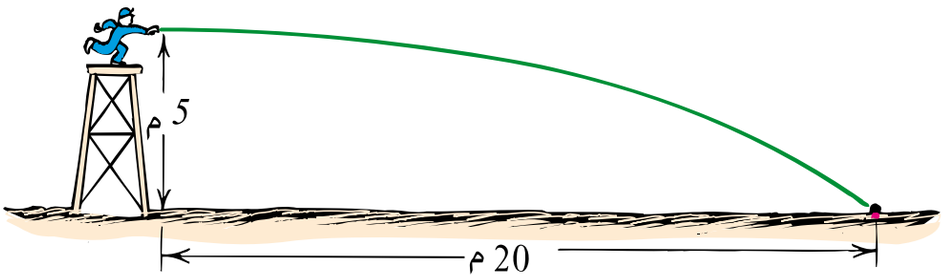
عندما تكون مقاومة الهواء صغيرة بحيث يمكن إهمالها. فإنّ الزّمن اللازم لصعود القذيفة إلى أقصى ارتفاع لها هو الزّمن نفسه الذي تحتاج إليه لترجع إلى مستوى الإطلاق (الشّكل 22.4). ويعزى هذا إلى أنّ التباطؤ الناتج عن الجاذبية والقذيفة صاعدة إلى أعلى هو تسارع الجاذبية نفسه حينما تهبط إلى الأسفل. كما أنّ السّرعة المفقودة في أثناء الصعود تساوي السّرعة المكتسبة في أثناء الهبوط. وهكذا تصل القذيفة إلى مستوى الإطلاق نفسه بسرعة الإطلاق الابتدائيّة نفسها.

تُلعب كرة البيسبول عادة على الأرض. ويمكن اعتبار الملعب سطحًا مستويًا لحركة مقذوف قصيرة - المدى لعدم تأثر طيران كرة البيسبول بانحناء الأرض. ولكن. لحركة مقذوف. طويلة – المدى. يجب أخذ انحناء سطح الأرض في الحسبان. وسنرى ذلك الآن: إذا قذف جسم بسرعة عالية جدًّا وكافية فإنه يسقط بحيث يدور حول الأرض ويصبح قمرًا صناعيًّا أرضيًّا.



الشّكل 22.4

من دون مقاومة الهواء فإنّ نقصان السرعة عند الصعود يكتسب عند الهبوط: يتساوى زمنا كلّ من الصعود والهبوط.



الشّكل 23.4
ما سرعة الكرة المقذوفة؟

■ **نقطة فحص**

عند أعلى برج في الشّكل 23.4، رمى صبيّ كرة إلى أسفل، فسقطت على مسافة 20 م. ما سرعة الرمي؟

هل كانت هذه إجابتك؟

رميت الكرة أفقيًّا. لذا، فإنّ سرعة الرّمي تساوي المسافة الأفقيّة مقسومة على الزّمن. المسافة الأفقيّة معلومة وهي 20 مترًا. أمّا الزّمن فغير مذكور. ولكن، من معرفة ارتفاع مكان الرّمي وهو 5م، فلعلك تتذكّر أنّ مسافة 5 م تحتاج إلى ثانية واحدة! ومن معادلة السّرعة الثابتة (تنطبق كذلك على الحركة الأفقيّة).

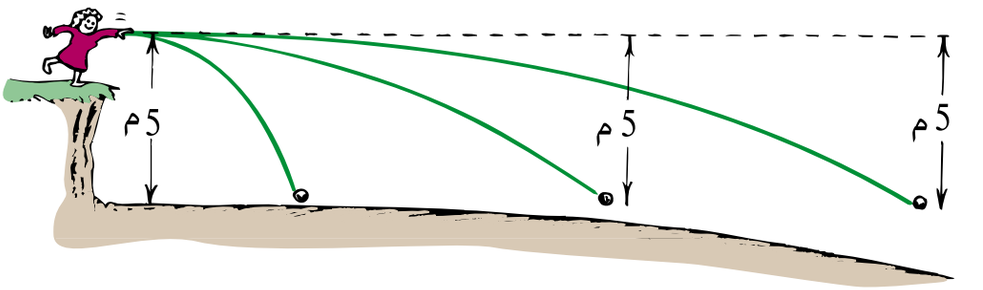
$v = d/t = (20\ \text{m})/(1\ \text{s}) = 20\ \text{m/s}$. ومن المهم ملاحظة أنّ معادلة السرعة الثابتة $v = d / t$ هي دليل تفكيرنا في العامل المهم في هذه المسألة ؛ إنّه *الزّمن*.

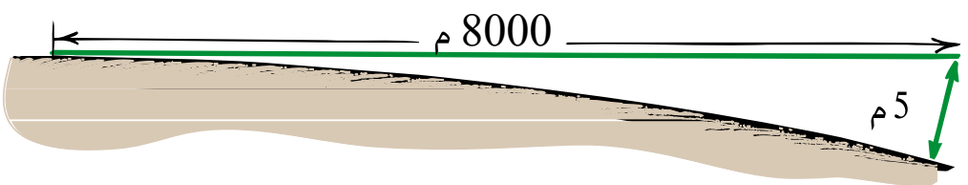
يسقط انحناء الأرض 5 م لكلّ 8 كم، وهذا يعني أنك تطفو في محيط هادئ، ويمكنك رؤية قمة سارية ترتفع 5م فوق سفينة على بعد 8 كم.

6.4 المقذوفات المتحرّكة بسرعة ـ الأقمار الصّناعيّة

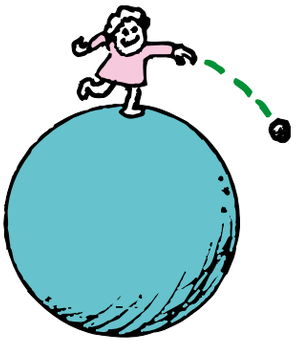
افترض ضارب كرة بيسبول على الحافة كما في الشّكل 24.4. إذا لم تؤثر الجاذبية في الكرة فإنّها ستسلك المسار – الخطّيّ المبيّن بالخطّ المتقطّع. ولكن بسبب تأثير الجاذبية فإنّها ستسلك في الواقع المسار أسفل الخطّ – المتصل. وكما تمّ نقاشه، بعد أن تغادر الكرة يد ضارب الكرة بثانية واحدة فإنها تسقط مسافة عمودية مقدارها 5 أمتار أسفل الخطّ المتقطّع – مهما كانت سرعة الضرب. ويعدّ فهم هذا مهمًّا جدًّا لأنه أساس حركة الأقمار الصّناعيّة.

يعدّ المكّوكُ الفضائي مقذوفًا في حالة مستمرة من السّقوط الحرّ. وبسبب سرعته الزاوية فإنّه يسقط حول الأرض لا عليها.

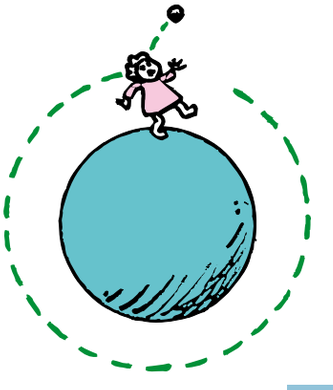




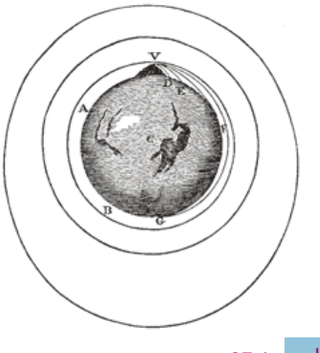
الشّكل 24.4
إذا رميتَ حجرًا بأيّ سرعة، فسيسقط مسافة 5 أمتار إلى أسفل بعد ثانية واحدة.



الشّكل 25.4
انحناء الأرض (لم يؤخذ مقياس الرسم في الحسبان).



الشّكل 26.4
إذا كانت سرعة الحجر وانحناء مساره كبيرين بما فيه الكفاية، فمن الممكن أن يصبح الحجر قمرًا صناعيًا.



الشّكل 27.4
"كلما كبرت السرعة التي يُقذف بها (الحجر)، ذهب أبعد قبل أن يسقط على الأرض. إذن يمكننا الافتراض أنه إذا زادت السرعة كثيرًا، أمكن وصفها بقوس طوله 1، 2، 5، 10، 100، 1000 ميل قبل أن تصل إلى الأرض، حتى تتخطى أخيرًا حدود الأرض، وتذهب إلى الفضاء دون أن ترجع" – من كتاب إسحق نيوتن، نظام العالم *System of the World*.

القمر الصناعي الأرضي ببساطة هو مقذوف يسقط *حول* الأرض بدلًا من سقوطه عليها. ويجب أن تكون سرعة القمر كبيرة بما فيها الكفاية حتى تكون مسافة السّقوط مساوية لانحناء الأرض. وهناك حقيقة هندسية حول انحناء الأرض مفادها أنّ سطحها يسقط مسافة 5 أمتار لكلّ 8000 متر مقابلة للسّطح (الشكل 24.4). إذا رميت كرة البيسبول بسرعة كافية لتقطع مسافة أفقية مقدارها 8 كم وتسقط 5 أمتار خلال ثانية واحدة فإنها ستتبع انحناء الأرض. وهذه السرعة هي 8 كم/ث. وإن كنت لا تعتقد أنها سريعة بما فيها الكفاية، فحوّلها إلى كيلومترات في السّاعة لتحصل على رقم ضخم 29,000 كم/ساعة (أو 18,000 ميل/ساعة)!

تحترق كرة البيسبول من الاحتكاك بالغلاف الجوي عند هذه السرعة، حتى أنّ قطعة الحديد تصبح هشّة. وهذا هو مصير الصّخور والنيازك التي تدخل الغلاف الجوي؛ إنّها تحترق وتظهر "كنجوم ساقطة". ولهذا السبب، تقذف الأقمار الصناعية، مثل المكوك الفضائي إلى ارتفاع 15 كم أو أكثر – حتى ترتفع فوق معظم الغلاف الجوي. ولكي تتخلص كذلك من معظم مقاومة الهواء. وهناك خطأ شائع، وهو أنّ الأقمار الصناعية التي تدور على ارتفاعات عالية لا تتأثر بالجاذبية. وهذا أبعد ما يكون عن الحقيقة. إن شدّة قوة الجاذبية على قمر ارتفاعه 200 كم فوق سطح القمر تقريبًا هي نفسها على سطح الأرض. وما عدا ذلك، فإنّ القمر سيتحرك في خط مستقيم ويغادر الأرض. إنّ الموقع المرتفع للصاروخ ليس خارج الجاذبية، ولكنه خارج الغلاف الجوي للأرض، حيث يمكن الافتراض أنّ مقاومة الهواء في معظمها غائبة.

لقد فُهِمت حركة الصاروخ من إسحق نيوتن الذي بيّن أنّ القمر هو ببساطة قذيفة تدور حول الأرض تحت تأثير الجاذبية. وضّح نيوتن هذا المفهوم بالرّسم الذي عمله (في الشّكل 27.4). حيث قارن بين حركة كلّ من القمر وقذيفة مدفع تطلق من قمة جبل عال. لقد تخيَّل أنّ قمة الجبل فوق الغلاف الجوي الأرضي، ومن ثم فإنّ مقاومة الهواء لا تعيق حركة القذيفة. وعليه،إذا قُذفت القذيفة بسرعة ابتدائية أفقية منخفضة فإنّها ستسلك مسارًا منحنيًا، وستضرب الأرض لاحقًا. ولكن إذا قذفت أسرع من ذلك، فإنّ المسار يكون أقلّ انحناءً، وسيضرب الأرض على مسافة أبعد لاحقًا. أما إذا قذفت بسرعة عالية بما فيها الكفاية، فإنّ نيوتن قد اعتقد بأنّ المسارَ المنحني دائرةٌ، وأنّ القذيفة ستدور في مدار حول الأرض بلا حدود.

إنّ القذيفة والقمر لكلٍّ منهما سرعة زاوية (موازية لسطح الأرض) كافية لتضمن حركة *حول* الأرض بدلًا من *عليها*. ومن دون وجود مقاومة لإنقاص السرعة فإنّ القمر أو أيّ قمر صناعي "يسقط" حول الأرض دون حدود. وبالمثل، تستمر الكواكب في السقوط حول الشّمس في مسارات مغلقة. وإذا سألنا: لِمَ لا تتحطم الكواكب على الشّمس؟ فإنّ الجواب هو: لأنّ لها سرعات زاوية. ولكن، ماذا يحدث إذا نقصت هذه السرعات إلى الصفر؟ الجواب بسيط جدًّا: يكون السّقوط مباشرا على الشّمس. وبالفعل فإنها تتحطم عليها. لقد تحطمت الأجسام جميعها في النظام الشّمسيّ التي لم تكن تمتلك سرعات زاوية كافية منذ زمن بعيد في الشّمس. وما تبقى، فهو هذا التوافق الذي نراه اليوم.

■ **نقطة فحص**

إحدى عجائب الفيزياء هو وجود طرق عدّة لرؤية ظاهرة معينة وتفسيرها. فهل التفسير الآتي صحيح؟ "تبقى الأقمار الصناعية في المدار بدلًا من السّقوط على الأرض لأنها خارج تأثير جاذبية الأرض"

هل كانت هذه إجابتك؟

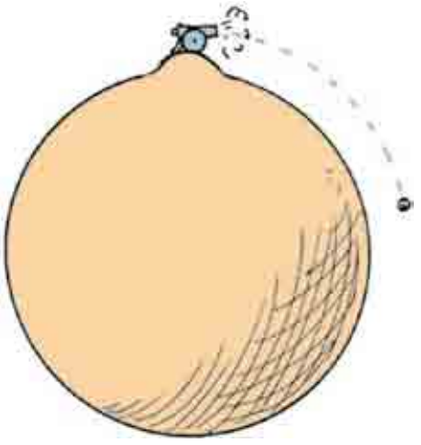
لا؛ إذا كان أيّ جسم متحرك خارج الجاذبية، فسيتحرك في خط مستقيم، ولن ينحني حول الأرض. لذا تبقى الأقمار الصناعية في المدار لأنها تُسحب بالجاذبية، وليس لأنها خارجها. وتكون قوة الجاذبية الأرضية على معظم الأقمار الأرضية التي تكون على ارتفاعات عالية أقلّ بنسبة مئوية قليلة من تلك التي على سطح الأرض.

7.4 المدارات الدّائريّة للأقمار الصّناعيّة

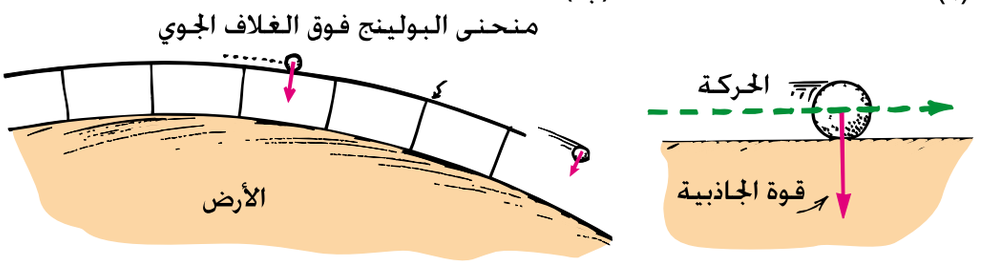
إذا أُطلقت قذيفة مدفع بسرعة 8 كم/ث أفقيًّا من جبل نيوتن فإنها ستتبع انحناء الأرض، وتستمر في الحركة في مسار دائريّ حول الأرض عدّة مرات (بشرط أن يبتعد المدفع وضارب المدفع عن طريقها). ولكن إذا أطلقت القذيفة بسرعة أقلّ من ذلك فإنّ القذيفة ستضرب سطح الأرض. أمّا إذا قذفت بسرعة أكبر من ذلك فإنها ستخرج عن المدار الدائريّ. كما سنناقش بعد قليل. قدّر نيوتن السّرعة اللازمة للجسم حتى يدور في المدار الدائريّ. ولكن بسبب استحالة الحصول على هذه السرعة من فوهة المدفع، لم يستطع البشر تخيل إطلاق الأقمار الصناعية (وكذلك لم يستطيعوا تخيل الصواريخ المتعددة المراحل).

لاحظ أنه في المدار الدائريّ، لا تتغير سرعة القمر بالجاذبية، بل إنّ الذي يتغير هو الاتجاه فقط. ويمكن فهم هذا بمقارنة القمر في المدار الدائريّ وكرة البولنغ المتدحرجة على مسربها. لماذا لا تغير قوة الجاذبية المؤثرة في كرة البولنج من سرعتها؟ الجواب هو أنّ الجاذبية تسحب عموديًّا إلى أسفل دون مركبة قوة تؤثر إلى الأمام أو إلى الخلف.

ادرس مسرب البولنج الذي يحيط بكامل الأرض، ويرتفع بما فيه الكفاية ليكون فوق الغلاف الجوي ومقاومة الهواء. تتدحرج كرة البولنج بسرعة ثابتة على المسرب. إذا قطع جزء من المسرب، فإنّ الكرة تتوقف عن التدحرج عند الحافة، وتسقط إلى الأسفل على الأرض. الكرة الأسرع التي تواجه الفجوة ستضرب الأرض على مسافة أفقية أبعد عبر الفجوة. هل هناك سرعة تجعل الكرة تتخطى الفجوة (مثل سائقي الدراجات الذين يقودون أسفل المنحدر ويقفزون فوق الفجوة إلى المنحدر الذي على الجهة الأخرى)؟ الجواب، نعم: 8 كم/ث تكون كافية لتخطي الفجوة . وأيّ فجوة: حتى فجوة بـ 360°. تكون الكرة في مدار دائريّ.



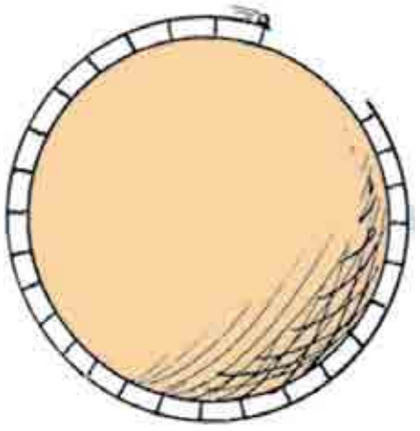
الشّكل 28.4
إذا تم الإطلاق بسرعة كافية، فستذهب القذيفة إلى المدار.



الشّكل 29.4
(أ) تؤثر قوة الجاذبية في كرة البولنج بزاوية 90° مع اتجاه الحركة. وهكذا، فليس هناك مركبة قوة لسحبها إلى الأمام أو إلى الخلف، وتتدحرج الكرة بسرعة ثابتة. (ب) يبقى الأمر نفسه صحيحًا حتى لو كان مسار البولنج أكبر، ويبقى "مستويًا" مع انحناء الأرض.

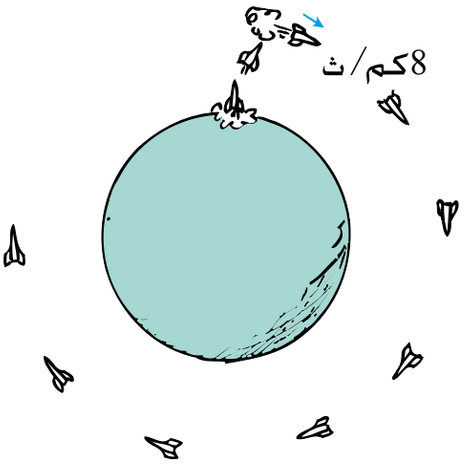
لاحظ أنّ القمر في المدار الدائريّ يتحرك دائمًا في اتجاه متعامد على قوة الجاذبية التي تؤثر فيه. لا توجد مركبة قوة تؤثر في اتجاه حركة القمر لتغير من سرعته. بل يحدث تغير في الاتجاه فقط. وهكذا، يمكننا فهم سبب دوران القمر في مدار دائريّ موازٍ لسطح الأرض بسرعة ثابتة؛ حالة خاصة جدًّا من السّقوط الحرّ.

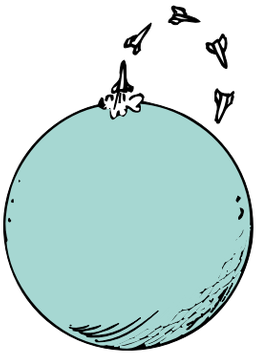
تكون الدورة (الزمن اللازم لإكمال المدار حول الأرض) نحو 90 دقيقة للأقمار الصناعية القريبة من الأرض. وعند ارتفاعات أعلى، تكون السّرعة الزاوية أقلّ، والمسافة أكبر، والدورة أكبر كذلك. فمثلًا، دورة أقمار الاتصالات التي تقع على بعد 5.5 أضعاف نصف قطر الأرض فوق سطحها، تكون 24 ساعة. وهي تساوي الدورة اليومية لدوران الأرض. وحول الاستواء، تبقى هذه الأقمار فوق النقطة نفسها على الأرض. وتكون دورة القمر الأبعد 27.3 يومًا. وكلما كان القمر أعلى، نقصت سرعته. وكلما زاد مساره، زادت دورته*.



الشّكل 30.4
ما السرعة التي تسمح للكرة بالقفز فوق الفجوة؟

* تعطى السرعة للقمر الصناعي في المدار الدائري بـ $v = \sqrt{GM/d}$. أما الدورة فتعطى بـ $T = 2\pi\sqrt{d^3/GM}$. حيث G ثابت الجذب الكوني، وM كتلة الأرض (أو الجسم الذي يدور حوله القمر). أمّا d فهي المسافة بين القمر ومركز الأرض، أو مركز الجسم الذي يدور حوله القمر.





يتطلب وضع حمولة في مدار الأرض التحكم في السّرعة، وكذلك في اتجاه الصّاروخ الذي يحمل الحمولة فوق الغلاف الجويّ. يطلق الصّاروخ في البداية عموديًا. ثم ينحرف قصدا عن الطريق العمودي. وبعد أن يكون فوق مانعة الغلاف الجوي يُوجه أفقيًا، حيث يُعطى دفعًا نهائيًّا إلى السرعة المدارية. ونشاهد ذلك في الشّكل 31.4، حيث وضعت الحمولة كاملة كصاروخ من مرحلة – واحدة من أجل التبسيط وبالسرعة الزاوية الصحيحة، يسقط حول الأرض، بدلًا من سقوطه عليها، ويصبح قمرًا أرضيًّا.

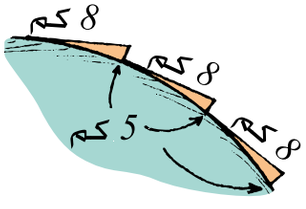
الشّكل 31.4
يرفع الدفع الابتدائي الصاروخ عموديًّا. ويحرفه دفع آخر عن الخط العمودي. وعندما يتحرك أفقيًّا، ينطلق بالسرعة المطلوبة إلى المدار.

نقطة فحص

1. يدور مكوك الفضاء على ارتفاعات أكثر من 150 كم ليكون فوق الجاذبية والغلاف الجويّ الأرضي. هل هذا صحيح؟
2. تسقط (تنزل) الأقمار الصناعية (التوابع) في المدار الدائريّ المغلق حوالي 5 أمتار في كلّ ثانية في المدار. لِمَ لا تتجمع هذه المسافات، ويتحطم القمر على سطح الأرض؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. خطأ؛ لأنّ الأقمار الصناعية (التوابع) موجودة فوق الغلاف الجوي ومقاومة الهواء، وليس فوق الجاذبية! من المهم ملاحظة أنّ جاذبية الأرض تمتد خلال الكون وفق قانون التربيع – العكسي.
2. يسقط (ينزل) القمر الصناعي 5 كم في كلّ ثانية أسفل الخط المستقيم المقابل له لو لم تكن الجاذبية موجودة. ينحني سطح الأرض أيضًا 5 كم أسفل الخط – المستقيم المقابل لكلّ 8 كم. تستمر عملية السقوط مع انحناء الأرض من الخط المقابل إلى الخط المقابل. وهكذا "يتساوى" انحناء مسار القمر مع انحناء مسار الأرض على طول المسار حول الأرض. وفي الحقيقة، فإنّ الأقمار تتحطم على سطح الأرض من وقت إلى آخر عندما تتعرض لمقاومة هواء في أعلى الغلاف الجوي التي تقلّل سرعته الزاوية.

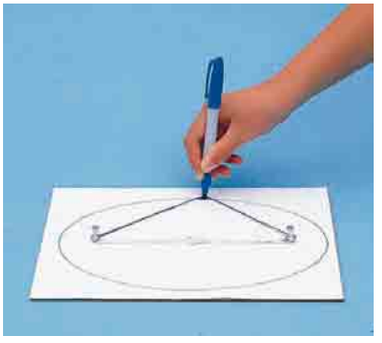


يُدخِل الصعود العمودي الابتدائي الصاروخ بسرعة خلال الجزء الكثيف من الغلاف الجوي. وأخيرًا، يجب أن يستحوذ الصاروخ على سرعة مماسّية كافية ليبقى في المدار دون دفع. وعليه يجب أن يميل حتى يصبح مساره موازيًا لسطح الأرض.

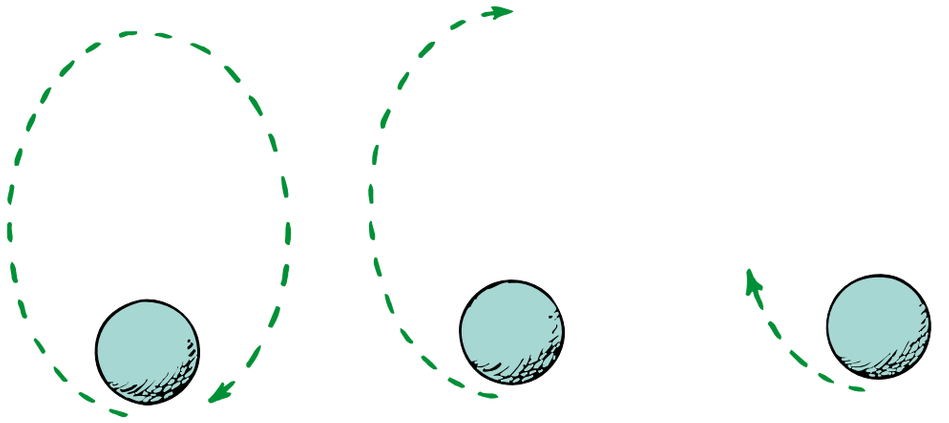
8.4 المدارات الإهليلجيّة

إذا أعطيت القذيفة التي فوق الغلاف الجوي سرعة أفقية أكبر من 8 كم/ث، فإنها تتجاوز المسار الدائري وتتبع مسارًا بيضيًّا يسمى **الإهليلج (القطع الناقص)(Ellipse)**.

الإهليلج (القطع الناقص) هو منحنى خاص، مسار مغلق من قطع ناقص مكون من نقطة تتحرك بطريقة بحيث يكون مجموع بعديها من نقطتين ثابتتين (*البؤرتين*) مقدارًا ثابتًا. وللقمر الصناعي الذي يدور حول الكوكب، فإنّ إحدى هاتين البؤرتين تكون في مركز الكوكب، أما البؤرة الأخرى فتكون داخل الكوكب أو خارجه. ويمكن رسم الإهليلج بسهولة باستخدام مسمارين صغيرين (واحد في كلّ بؤرة)، وعروة خيط، وقلم (الشكل 32.4). كلما كانت البؤرتان أحداهما أقرب إلى الأخرى، اقترب الإهليلج من الشّكل الدائريّ. وعندما تنطبق البؤرتان معًا يصبح الإهليلَج دائرة. وهكذا نرى أنّ الدائرة حالة خاصة من الإهليلج.



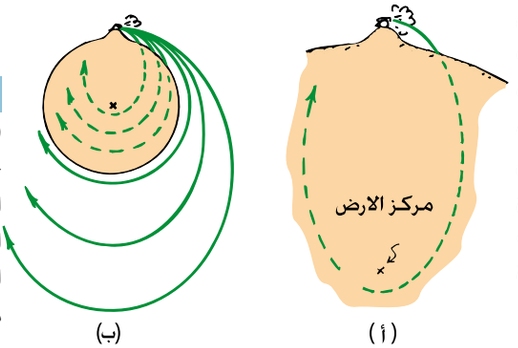
الشّكل 32.4
طريقة بسيطة لرسم الإهليلج.



الشّكل 33.4
المدار الإهليلجيّ. عندما تزيد سرعة القمر الصناعي على 8 كم/ث، (أ) يتجاوز المسار الدائريّ وينتقل بعيدًا عن الأرض ضد الجاذبية. (ب) يبدأ بالعودة عند أقصى ارتفاع في اتجاه الأرض. (ج) تعوّض الخسارة في السرعة في الذهاب بعيدًا بالكسب حين العودة، وهكذا تكرر الدورة نفسها.

عندما تكون سرعة القمر الصناعي ثابتة في المدار الدائريّ تتغير السّرعة في المدار الإهليلجيّ. يتجاوز القمر الصناعي المسار الدائري، ويبتعد عن الأرض ضد قوة الجاذبية إذا كانت سرعته الابتدائية أكبر من 8 كم/ث. وهكذا، فهو يخسر سرعته. تعوّض السرعة المفقودة حين الابتعاد عن الأرض بالسرعة المكتسبة حين العودة إليها. وفي النهاية تلحق بالمسار الأصلي بالسرعة نفسها التي ابتدأت به الحركة (الشكل 33.4). يتكرر الإجراء مرة تلو مرة، وفي كلّ مرة يُرسم إهليلج.

من المدهش أنّ مسار القطع الزائد للمقذوف، مثل كرة بيسبول مضروبة أو قذيفة مدفع، هي في الواقع جزء من إهليلجيّ صغير يمتد داخل الأرض وإلى ما بعد مركزها (الشّكل 34.4أ). في الشّكل 34.3ب، نرى عدة مسارات لقذيفة مدفع أطلقت من قمة جبل نيوتن. واحدة من بؤرتي هذه الإهليلجات جميعها هي مركز الأرض. ويوجد هناك اختلاف مركزي (يقترب من الدائريّ) عندما تزداد السّرعة الابتدائية، وعندما تصل هذه السّرعة الابتدائية إلى 8 كم/ث يصبح الإهليلج دائرة، ولا يضرب سطح الأرض. وتدور القذيفة في مدار دائري. وعند سرعات لقذيفة ابتدائية أعلى، ترسم القذائف الدائرة الإهليلجات الخارجية المألوفة.



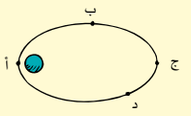
الشّكل 34.4
(أ) مسار القطع المكافئ لقذيفة هو جزء من إهليلج يمتد خلال الأرض. مركز الأرض هو البؤرة البعيدة. (ب) مسارات القذيفة جميعها هي إهليلجات. وبسرعة أقلّ من سرعة المدار، يكون مركز الأرض هو البؤرة البعيدة. أمّا للمسار الدائري، فمركز الأرض هو كلتا البؤرتين، في حين يكون مركز الأرض هو البؤرة القريبة لسرعات أعلى.

لمعلوماتك

■ إذا دخلت سفينة فضاء الغلاف الجويّ بزاوية حادة جدًا، أي أكثر من حوالي 6°، فإنّها قد تحترق. أمّا إذا دخلت بشكل مسطح فإنّها ترجع ثانية إلى الفضاء كحصاة سقطت في ماء.

■ نقطة فحص

المسار المداري للقمر الصناعي مبيّن في الرسم. عند أيّ موقع من تلك المشار إليها، من أ إلى د، تكون للقمر الصناعي: 1. أقصى سرعة؟ 2. أدنى سرعة؟



هل كانت هذه إجابتك؟

يكون للقمر الصناعي أقصى سرعة عندما يصل إلى أ، وأدنى سرعة عند الموقع ج. وبعد أن يتجاوز ج يكتسب سرعة عند سقوطه فيعود إلى أ ليكرّر دورته.

9.4 سرعة الإفلات

نحن نعلم أنه عند إطلاق قذيفة مدفع أفقيًّا بسرعة 8 كم/ثانية من جبل نيوتن، فستكون في المدار. ولكن ماذا يحدث لو أطلقت القذيفة *عموديًا؟* ستصل إلى أقصى ارتفاع ما، ثمَّ تعكس اتجاهها، وأخيرا تسقط على الأرض. وهذا مرادف للقول المأثور: "كلّ صعود يقابله هبوط". فالحجر الذي يقذف إلى السماء يرجع بالجاذبية (إلا إذا كانت سرعته كبيرة بما فيها الكفاية كما سنرى).

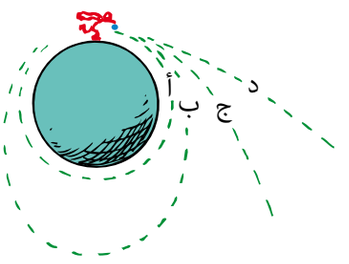
في عصر سباق الفضاء، من الدقة القول: "ما يصعد إلى الأعلى يمكن أن يهبط" لوجود سرعة ابتدائية حدّيّة تسمح للقذيفة بالإفلات من الأرض. تسمّى هذه السرعةُ الحدّيّة **سرعةَ الإفلات**. وإذا كان الاتجاه مهمًّا، فتسمى عندئذ سرعة *الإفلات المتجهة*. وتبلغ سرعة الإفلات من سطح الأرض 11.2 كم/ث. إذا أطلقت قذيفة بأيّ سرعة أعلى من هذه السرعة، فستغادر الأرض، وتسافر ببطء، ثمّ ببطء أكثر، ولكنها لن تتوقف بسبب الجاذبية* . يمكننا فهم مقدار هذه السرعة من اعتبارات الطاقة.

ما مقدار الشغل اللازم لرفع حمولة ضد قوة الجاذبية إلى مسافة بعيدة جدّا ("بعيدة إلى مالانهاية")؟ يمكننا التفكير في أنّ التّغيّر لانهائيّ في طاقة الوضع؛ لأنّ المسافة لانهائية. ولكن الجاذبية تتناقص مع المسافة وفق قانون التربيع – العكسي. تكون قوة الجاذبية على الحمل شديدة بالقرب من الأرض. ويُبذل معظم الشغل في إطلاق الصاروخ ضمن الـ 10,000 كم أو حولها من الأرض. لقد تبيّن أنّ التّغيّر في طاقة الوضع لجسم كتلته 1كجم يتحرك من سطح الأرض إلى مسافة لانهائية هو 62 مليون جول (62 *MJ*). وعليه، فإنّنا نحتاج إلى 62 مليون جول على الأقلّ لكلّ كجم من الحمولة لرفعها مسافة بعيدة جدًّا من سطح الأرض. وهنا، لا نقوم بعمليات حسابية. ولكن، 62 مليون جول/كجم تقابل سرعة 11.2 كم/ث، مهما كانت كتلة الحمولة. وهذه هي سرعة الإفلات من سطح الأرض** .

إذا زوّدنا الحمولة بطاقة أكثر من 62 مليون جول/كجم عند سطح الأرض، أو ما يعادلها، أي سرعة أعلى من 11.2 كم/ث، وبإهمال مقاومة الهواء، فإنّ الحمولة تفلت من الأرض ولا تعود. وإذا استمرت الحمولة في الإفلات فستزداد طاقة وضعها، وتنقص طاقة حركتها. ويستمر سحب جاذبية الأرض فتقلل من سرعتها، ولكن لا يمكن أن تصل بها إلى الصفر؛ تفلت الحمولة.

يبين الجدول 1.4 سرعات الإفلات لمختلف الأجسام في النظام الشّمسيّ. لاحظ أنّ سرعة الإفلات من سطح الشّمس هي 620 كم/ث. وحتى على بعد 150,000,000 كم من الشمس (بعد الأرض)، فإنّ سرعة الإفلات لكي تتحرّر من تأثير الشّمس هي 42.5 كم/ث، وهي أكبر كثيرًا من سرعة الإفلات من الأرض. إنّ قذف جسم من الأرض عند سرعة أكبر من 11.2 كم/ث، ولكن أقلّ من 42.5 كم/ث، سيفلت من الأرض، ولكنه لا يفلت من الشّمس.

لقد كانت بيونير – 10 (*Pioneer* 10) أول مسبار يفلت من النّظام الشّمسيّ، وقذف من سطح الأرض في عام 1972م بسرعة 15 كم/ث. لقد تم تحقيق الإفلات بتوجيه المسبار إلى مسار زحل المقترب. وقد انطلق بقوة من المجال الجاذبي الكبير للمشتري، وكسب سرعة في هذه العملية كزيادة السرعة لكرة البيسبول عندما تصطدم بالمضرب. وازدادت سرعة المغادرة بما فيها الكفاية من المشتري، لتصبح أكبر من سرعة الإفلات من الشّمس عند البعد عن المريخ. كما تخطت *بيونير*- 10 مدار بلوتو *Pluto* في عام 1984. وستبقى بيونير- 10 تتجول إلى الأبد في الفضاء بين النجوم، إلا إذا اصطدمت بجسم آخر. كمدونة داخل علبة ملقاة في البحر، تحتوي على معلومات عن الأرض قد تكون مهمة للأحياء خارجها، على أمل أن "تنظف في يوم من الأيام" وتوجد على مسافة ما من "الشاطئ".



الشّكل 35.4
إذا قذف رجل خارق كرة أفقيًا بسرعة 8 كم/ث من أعلى جبل مرتفع كفاية فوق مقاومة الهواء (أ) يستطيع الاستدارة والتقاط الكرة بعد 90 دقيقة (أهمل دوران الأرض). وإذا زادت سرعتها قليلًا فإنّها (ب) تأخذ مدارًا إهليجيًا وتعود بعد زمن أطول قليلا. ولكن إذا زادت السرعة أكثر من 11.2 كم/ث فإنّها (ج) تغادر الأرض. أمّا إذا قذفت بسرعة 42.5 كم/ث فإنّها (د) تستطيع الإفلات من النظام الشّمسيّ.

---

* تعطى سرعة الإفلات من أيّ كوكب بـ $v = \sqrt{2GM/d}$ ، حيث G ثابت الجذب الكوني، في حين تشير M إلى كتلة الجسم الجاذب. أمّا d فهي المسافة من مركزه. (عند سطح الجسم، تكون d هي نصف قطر الجسم.) وللاستزادة الرياضية: قارن بين هذه الصيغة وتلك التي للسرعة الزاوية في هامش البند 8.4.

** من المناسب جدا تسميتها سرعة *السّقوط العظمى*. أيّ جسم، مهما كان بعيدًا عن الأرض، ينطلق من السكون، ويسمح له بالسقوط إلى الأرض تحت تأثير جاذبية الأرض التي لا تزيد على 11.2 كم/ث. (في وجود مقاومة للهواء تكون أقلّ.)

الجدول 1.4 سرعات الإفلات عند سطوح كواكب النّظام الشّمسيّ.

الجسم الفلكي (الكواكب)	الكتلة (بوحدة كتلة الأرض)	نصف القطر (بوحدة نصف قطر الأرض)	سرعة الإفلات كم/ث
الشّمس	333,000	109	620
الشّمس (عند بعد مدار الأرض عنها)		23,500	42.2
المشتري	318	11	60.2
زحل	95.2	9.2	36.0
نبتون	17.3	3.47	24.9
أورانوس	14.5	3.7	22.3
الأرض	1.00	1.00	11.2
الزّهرة	0.82	0.95	10.4
المريخ	0.11	0.53	5.0
عطارد	0.055	0.38	4.3
القمر	0.0123	0.27	2.4

من المهم التأكيد على أنّ سرعة الإفلات لجسم ما هي السرعة الابتدائية المعطاة من دفع لفترة قصيرة. وبعد ذلك، لا توجد أيّ قوة للمساعدة في الحركة. يمكن الإفلات من الأرض بأيّ سرعة مستدامة أكثر من صفر، إذا أعطيت الزمن الكافي. فمثلًا، افترض أننا أطلقنا صاروخًا إلى مكان ما كالقمر مثلا. إذا احترق محرك الصاروخ عندما كان قريبًا من الأرض، فإنّ الصاروخ يحتاج إلى حدّ أدنى من السرعة 11.2 كم/ث، ولكن إذا أمكن استدامة محرك الصاروخ فترة زمنية طويلة فيمكن للصاروخ عندئذ أن يصل إلى القمر دون أن يحصل على سرعة 11.2 كم/ث.

لمعلوماتك

■ لا يمكنك أن تدرك حدود العلوم الطبيعية إدراكًا كاملًا حتى تنسجم مع أُسسها.

الشّكل 36.4
بيونير – 10، أطلقت من الأرض في عام 1972م، متجاوزة الغلاف الخارجي للكوكب في عام 1984 وهي الآن تتجول في مجرتنا.

الشّكل 37.4
مركبة الفضاء الأوربية – الأميركية كاسيني *Cassini* تصور زحل وقمره العملاق إلى الأرض. وتقيس أيضًا درجة حرارة السطح والمجالات المغناطيسية، والحجم، والسرعة والمسارات للأجسام الفضائية الصغيرة.

كما تدور الكواكب حول الشّمس، فإنّ النّجوم تدور حول مركز المجرات. تلك التي لا تمتلك سرعة مماسّية كافية تسحب إلى الداخل، وتلتهم من نواة المجرة – عادة الثقب الأسود.

العقل الذي يحيط بالكون رائع كروعة الكون الذي يحيط بالعقل.

ومن الجدير بالاهتمام أيضا ملاحظة أنّ الدقة التي يصل بها صاروخ غير مأهول إلى المكان المحدد لا يحصل بالإبقاء على المسار المخطط له مسبقًا. أو العودة إلى المسار الأصلي إذا ضلّ الصاروخ طريقه. وفي هذه الحالة،لا تبذل أيّ محاولة لإرجاع الصاروخ إلى مساره الأصلي. وبدلًا من ذلك، فإنّ مركز السيطرة يسأل: "أين هو الآن؟ وما سرعته؟ وما أفضل طريق ليصل إلى الهدف من موقعه الحالي؟" وباستخدام حواسيب سريعة، تستخدم الإجابات عن هذه الأسئلة لإيجاد طريق جديد له. حيث توجهه تعليمات إرشادية أخرى إلى مساره الجديد. وتكرر هذه العملية على طول طريقه إلى الهدف.*

ملخّص المصطلحات

قانون الجذب الكونيّ Law of universal gravitation: إنّ كلّ جسم في الكون يجذب أيَّ جسم آخر بقوة. وهو لجسمين، يتناسب مباشرة مع حاصل ضرب كتلتيهما، وعكسيًّا مع مربع البعد بينهما:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

قانون التّربيع العكسيّ Inverse-square law: ينتشر الأثر من مصدر نقطي بانتظام خلال الفضاء المحيط، ويتناقص مع مربع المسافة:

الكثافة = 1 / (المسافة)^2

تتبع الجاذبية قانون التربيع- العكسيّ، كما هو الحال أيضًا في الكهرباء، والضّوء، والصّوت وظاهرة الإشعاع.

الوزن Weight: القوة التي يؤثر بها جسم في سطح داعم (وإذا علّقت فإنّها تؤثر في حبل تعليق)، بسبب قوة الجاذبية غالبًا، لا دائمًا.

انعدام الوزن Weightless: عندما يكون الجسم من دون قوة داعمة، كما في السّقوط الحرّ.

القذيفة Projectile: أيّ جسم يتحرك خلال الهواء أو الفضاء تحت تأثير الجاذبية.

القطع المكافئ Parabola: مسار منحنٍ تتبعه القذيفة تحت تأثير الجاذبية الثابتة فقط.

القمر الصّناعيّ Satellite: مقذوف أو جسم سماوي صغير يدور حول جسم سماوي أكبر.

إهليلج Ellipse: مسار بيضيّ يسلكه القمر الصناعي. مجموعُ البعدين من أيّ نقطة على المسار إلى النقطتين المسماتين بالبؤرتين - مقدارٌ ثابتٌ. ويصبح الإهليلج دائرة عندما تنطبق البؤرتان في نقطة واحدة. وعندما تتباعد البؤرتان يصبح مركز الإهليلج أكثر *اختلالا*.

سرعة الإفلات Escape speed: السّرعة التي يجب أن يصل إليها المقذوف أو مِجَسُّ الفضاء أو أيُّ جسم ليفلت من أثر الجاذبية الأرضية، أو أيّ جسم سماويّ آخر ينجذب إليه.

* هل هناك ما يجب تعلمه هنا؟ لنفترض أنك وجدت نفسك خارج المسار عندها، قد تجد أنك مثل الصاروخ، ستتبع مسارًا أكثر فائدة لمتابعة خط سيرك الذي سيؤدي إلى هدفك كما يظهر ذلك من موقفك وظروفك الحالية. وبدلًا من محاولة العودة على المسار نفسه الذي قمت برسمه من نقطة سابقة، وربما تحت ظروف مختلفة.

أسئلة مراجعة

1. ما الذي اكتشفه نيوتن حول الجاذبية؟
2. ما التركيب النيوتوني؟

1.4 قانون الجذب الكوني

3. ما معنى "يسقط" القمر؟
4. اكتب كلًّا من قانون نيوتن في الجذب الكوني ومعادلته.
5. ما مقدار قوة الجاذبية بين جسمين كتلة كلّ منهما 1 كجم على بعد 1م أحدهما من الآخر؟
6. ما مقدار قوة الجاذبية بين جسم كتلته 1 كجم والأرض؟

2.4 الجاذبية والمسافة: قانون التّربيع- العكسيّ

7. كيف تتغير قوة الجاذبية بين جسمين عندما تزداد المسافة بينهما إلى أربعة أضعاف؟
8. في أيّ المكانين تزن أكثر: على مستوى البحر، أم على قمة جبال روكي (Rocky)؟ دافع عن إجابتك.

3.4 الوزن وانعدامه

9. هل تنضغط الزّنبركات داخل ميزان الحمّام أكثر أم أقلّ إذا قست وزنك في مصعد يتسارع إلى الأعلى؟ إلى الأسفل؟
10. هل تنضغط الزّنبركات داخل ميزان الحمّام أكثر أم أقلّ إذا قست وزنك في مصعد يتحرك إلى الأعلى بسرعة ثابتة؟ يتحرك إلى الأسفل بسرعة ثابتة؟
11. فسّر كيف أنّ الرواد في محطة الفضاء الدولية لا وزن لهم، مع أن الجاذبية تمسكهم بثبات.
12. متى يساوي وزنك *mg*؟

4.4 الجذب الكونيّ

13. ما سبب الاضطرابات المكتشفة في مدار كوكب الزهرة؟ ما الاكتشاف الكبير الذي أدّى إليه هذا؟
14. ما الوضع الذي جعل من بلوتو (Pluto) كوكبًا قزمًا؟
15. ما نسبة الكون الذي يخمن على أنه مكوّن من مادة معتمة وطاقة معتمة؟

5.4 حركة المقذوفات

16. لماذا تتغير المركبة العمودية للسرعة مع الزمن، في حين لا تتغير المركبة الأفقية للسرعة؟
17. إذا قذف حجر إلى أعلى بزاوية ما فماذا يحدث لمركبة سُرعته الأفقية عندما يرتفع؟ وعندما يهبط؟
18. إذا قذف حجر إلى أعلى بزاوية ما فماذا يحدث لمركبة سُرعته العمودية عندما يرتفع؟ وعندما يهبط؟
19. إذا أطلقت قذيفة إلى أعلى بزاوية 75° أفقيًّا وارتطمت بالأرض على مدى أفقيّ معين. فعلى أيّ زاوية إطلاق أخرى تصل إلى المدى نفسه إذا أطلقت بالسرعة نفسها؟
20. أطلقت قذيفة عموديًّا إلى أعلى بسرعة 100م/ث. إذا أهملت مقاومة الهواء، فبأيّ سرعة تصل إلى مستوى الإطلاق نفسه؟

6.4 القذائف المتحركة بسرعة – الأقمار الصّناعيّة

21. لماذا يتبع المقذوف الذي يتحرك بسرعة أفقية 8 كم/ث مسارًا يساوي انحناء الأرض؟
22. لماذا يجب أن يكون المقذوف في السؤال السابق فوق الغلاف الجويّ للأرض؟
23. عندما يكون القمر الصناعيّ فوق الغلاف الجويّ للأرض، فهل هو خارج سَحْبِ جاذبية الأرض؟ دافع عن إجابتك.

7.4 المدارات الدّائريّة للأقمار الصّناعيّة

24. لماذا لا تُغيّر قوة الجاذبية سرعة كرة البولنج عندما تتدحرج على مسارها ؟
25. لماذا لا تغيّر قوة الجاذبية سرعة القمر الصناعيّ في المدار الدائريّ؟
26. هل تطول دورة المدار على ارتفاعات كبيرة أم تقصر؟

8.4 المدارات الإهليليجيّة

27. لماذا لا تغيّر قوة الجاذبية سرعة القمر الصّناعيّ في المدار الإهليلجيّ؟
28. في أيّ جزء من المدار الإهليلجيّ تكون سرعة القمر الصناعي أقصى ما يمكن؟ وفي أيّ جزء تكون أقلّ ما يمكن؟

9.4 سرعة الإفلات

29. ماذا يحدث للقمر الصناعيّ بالقرب من سطح الأرض حينما تصل سرعته 11.2 كم/ث؟
30. على الرّغم من أنّ مركبة الفضاء تتغلب على جاذبية الأرض، فهل تتخلص كليًّا منها؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● علِّق فيما إذا كان الملصق التالي على منتج مستهلك يتطلب الحذر. تحذير: *تسحب كتلة هذا المنتج كلّ جسم في الكون بقوة جذب تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب الكتل وتتناسب عكسيًّا مع مربع البعد بينهما.*
2. ● تؤثر قوة الجاذبية في الأجسام جميعها بتناسب مع كتلتها. إذن، لماذا لا يكون سقوط الأجسام الثقيلة أسرع من سقوط الأجسام الخفيفة؟
3. ● هل قوة الجاذبية أقوى على قطعة حديد منها على قطعة خشب، إذا كان لهما الكتلة نفسها ؟ دافع عن إجابتك.
4. ● هل قوة الجاذبية أكبر على قطعة ورق مهشمة منها على ورقة مماثلة لم تهشم؟ دافع عن إجابتك.
5. ● يدّعي صديق لك أنّ رواد الفضاء يكونون عديمي الوزن لأنهم فوق سَحب الجاذبية. صحّح خطأ صديقك.
6. ● تنعدم الجاذبية بين جسمين في مكان ما بين القمر والأرض، فهل هذا المكان أقرب إلى الأرض أم القمر؟
7. ● هل التسارع بسبب الجاذبية على قمة إفرست أكثر من التسارع على مستوى البحر أم أقلّ؟ دافع عن إجابتك.
8. ● نزل رائد فضاء على كوكب كتلته تساوي كتلة الأرض، إلا أنّ قطره ضعف قطر الأرض. كيف يختلف وزن رائد الفضاء على الكوكب مقارنة بوزنه على الأرض؟
9. ● نزل رائد فضاء على كوكب له كتلة تساوي ضعف كتلة الأرض، وقطره ضعف قطر الأرض. كيف يختلف وزن رائد الفضاء على الكوكب مقارنة بوزنه على الأرض؟
10. ● إذا تمددت الأرض بطريقة ما بحيث زاد نصف قطرها، دون زيادة في كتلتها، فكيف يتأثر وزنك؟ كيف يتأثر إذا تقلصت الأرض؟ (مساعدة: استعن بمعادلة قوة الجاذبية).
11. ● وُضِعَ مصدرٌ ضوئيّ صغير على بعد متر واحد أمام فتحة مساحتها متر مربع واحد لإنارة الحائط خلفها (على بعد مترين من مصدر الضوء)، تغطي منطقة الإنارة أربعة أمتار مربعة. ما عدد الأمتار المربعة التي ستضاء إذا كان الحائط على بعد ثلاثة أمتار من مصدر الضوء؟ خمسة أمتار؟ عشرة أمتار؟
12. ● تتغيّر شدة الضوء من مصدر مركزي عكسيّا مع مربع المسافة. إذا عشت في كوكب يبعد عن الشمس نصف بعد الأرض عنها، فكيف تقارن شدة الضوء على ذلك الكوكب مع تلك التي على الأرض؟ ماذا عن كوكب يبعد عن الشمس 10 مرات بعد الأرض عنها؟
13. ■ تبلغ كتلة المشتري 300 مرة كتلة الأرض، لذا يبدو أنّ جسمًا ما يزن 300 مرة أكثر مما يزن على الأرض. ولكن بصعوبة تجد وزن جسم ما 3 مرات وزنه على سطح الأرض. ما سبب ذلك؟ (مساعدة: ارجع إلى الحدود في معادلة قوة الجاذبية).
14. ● لماذا يشعر المسافرون في طائرة نفاثة على ارتفاع عالٍ بالوزن، في حين لا يشعر المسافرون بهذا داخل المركبة في مدارها، كالمكوك الفضائيّ؟
15. ● إذا كنت في مركبة تتحرك عبر حافة جرف، لماذا تشعر للحظة بانعدام الوزن؟ هل ما تزال الجاذبية تؤثر فيك؟
16. ● ما القوتان اللتان تؤثران فيك وأنت في مصعد متحرك؟ متى تكون هاتان القوتان متساويتين في المقدار، ومتى لا تتساويان؟
17. ● إذا أَسقطت قلمًا وأنت في مصعد، فإنه يسقط سقوطًا حُرًّا، ويحوم أمامك. هل تؤثر قوة الجاذبية في القلم؟ دافع عن إجابتك.
18. ● يقول صديقك: إنّ السبب الرئيس لشعور رواد الفضاء بانعدام الوزن أنّه يُسحب من كواكب ونجوم أخرى. هل تتفق مع ما قاله؟
19. ■ وضح خطأ الاستنتاجات التالية: "تجذب الشّمس الأجسام جميعها التي على الأرض. في منتصف الليل، وعندما تكون الشّمس في الأسفل، فإنها تسحبك في اتجاه سحب الأرض لك، وعند الظهيرة، عندما تكون الشّمس فوق رأسك مباشرة، فإنها تسحبك في عكس اتجاه سحب الأرض لك. وعليه فإنّك ستكون أثقل قليلًا في منتصف الليل، وأخفّ قليلا عند الظهيرة".
20. ■ أيهما يحتاج إلى وقود أكثر: صاروخ ينطلق من الأرض إلى القمر، أم صاروخ يعود من القمر إلى الأرض؟ لماذا؟
21. ● يتجاهل بعضهم صحة النظريات العلمية؛ فيدّعون أنّها نظريات فقط. إنّ قانون الجذب الكونيّ نظرية. فهل هذا يعني أنّ العلماء ما زالوا يشكّكون في صحته؟ فسّر.
22. ● إذا دحرجت كرة على سطح طاولة، فهل يعتمد زمن وصولها إلى الأرض على سرعتها؟ (هل تستغرق الكرة الأسرع زمنًا أطول لتصل إلى الأرض؟) دافع عن إجابتك.
23. ● سقط صندوق ثقيل بالخطأ سقوطًا حرًّا من طائرة تطير على ارتفاع عالٍ في أثناء تحليقها مباشرة فوق سيارة حمراء لامعة تقف في موقف للسيارات. أين يسقط الصندوق بالنسبة إلى السيارة؟

24. ● في غياب مقاومة الهواء، لماذا لا تتغير مركبة السرعة الأفقية لمقذوف، في حين تتغير المركبة العمودية؟
25. ● عند أيّ نقطة على مسار كرة البيسبول المضروبة تكون سرعتها أقلّ ما يمكن؟ إذا أمكن إهمال مقاومة الهواء، كيف يمكن مقارنة هذه مع السرعة الأفقية عند نقاط أخرى؟
26. ● يدَّعي شخص أنّ الرصاصات المنطلقة من بندقية سريعة وقوية تنتقل العديد من الأمتار في مسار مستقيم قبل أن تبدأ في السقوط. يَدحَضُ شخص آخر هذا الادّعاء ويقول إنّ الرصاصات جميعها -من أيّ بندقية- تسقط أسفل مسار الخط المستقيم بمسافة عمودية تعطى بالعلاقة، $\frac{1}{2}gt^2$ وأنّ المسار المنحني يكون واضحًا للرصاصات البطيئة ولكنه أقلّ وضوحًا للرصاصات السريعة. والآن: هل تسقط الرصاصات جميعها بالمسافة العمودية نفسها في أزمان متساوية؟ فسّر.
27. ● يضرب لاعبا جولف كرتين كُلًّا على حدة بالسرعة نفسها، ولكن

الأول يضرب كرته بزاوية 60° مع الأفقيّ. أما الآخر فيضرب كرته بزاوية 30° مع الأفقي. أيّ الكرتين تقطع مسافة أكثر؟ أيهما تصل الأرض أولًا؟ (أهمل مقاومة الهواء.)

28. ● يطلق حارس متنزه سهمًا مخدرًا صوب قرد يتعلق بغصن شجرة. سدَّد الحارس مباشرة على القرد (على خطّ البصر). ولم يدرك أنّ السهم سيتبع مسار قطع مكافئ ولذا سيسقط أسفل القرد. ولكن حين شاهد القرد السهم ينطلق من البندقية، ترك الغصن ليتجنب الإصابة بالسهم. هل سيصاب القرد؟ هل تؤثر سرعة السهم في إجابتك على افتراض أنها كبيرة بما فيها الكفاية لتقطع المسافة الأفقية إلى الشجرة قبل أن تصل الأرض؟ دافع عن إجابتك.

29. ■ أطلقت قذيفة عموديًّا إلى أعلى بسرعة ابتدائية 141 م/ث. ما سرعتها في اللحظة التي تصل فيها إلى قمة مسارها؟ افترض أنها أطلقت بزاوية 45°. ما سرعتها عند قمة مسارها؟

30. ● عندما تقفز إلى الأمام فإنّ زمن تحليقك هو الزمن الذي تكون فيه قدماك فوق الأرض. هل يعتمد زمن تحليقك على مركبة السّرعة العمودية لك حينما تقفز، أم على مركبة السّرعة الأفقية، أم على كليهما؟ دافع عن إجابتك.

31. ● يكون زمن التحليق للاعب كرة السلة الذي يقفز عموديًّا إلى ارتفاع قدمين (0.6 متر) نحو ثانية. ما زمن التحليق إذا وصل اللاعب إلى الارتفاع نفسه، وقطع مسافة أفقية مقدارها 4 أقدام (1.2 متر)؟

32. ● لأنّ القمر ينجذب بالجاذبية إلى الأرض، فَلِمَ لا يتحطم على الأرض؟

33. ● هل تعتمد سرعة الجسم السّاقط على كتلته؟ هل تعتمد السّرعة الزاوية لقمر صناعيّ في المدار على كتلته؟ دافع عن إجابتك.

34. ● إذا شاهدت في حياتك إطلاق قمر صناعيّ أرضيّ، فربما تكون قد لاحظت أنّ الصاروخ يبدأ الحركة عموديًّا إلى أعلى، ثم ينحرف عن المسار العموديّ ويستمر في صعوده بزاوية. لماذا يبدأ الحركة عموديًّا؟ ولِمَ لا يستمر كذلك؟

35. ● إذا أطلقت قذيفة مدفع من جبل مرتفع فإنّ الجاذبية تغير سرعتها على طول المسار. ولكن إذا أطلقت بسرعة عالية كافية لتدور في مدار دائريّ، فلا تغيّر الجاذبية سرعتها أبدا. فسِّر.

36. ● يمكن لقمر صناعيّ أن يدور حول القمر على ارتفاع 5 كم منه، ولكن لا يمكنه الدوران حول الأرض على مثل هذا الارتفاع. لماذا؟

37. ● هل تكون سرعة القمر الصّناعيّ الذي يدور في مسار دائري مغلق حول المشتري أكبر من 8 كم/ث؟ أم أقلّ؟ أم تساويه؟

38. ■ لماذا تُطْلَقُ الأقمارُ الصناعية عادة في اتجاه الشرق، أي الاتجاه نفسه الذي تدور به الأرض؟

39. ■ لِمَ تعدّ هاواي أكثر مكان ملائم لإطلاق الأقمار الصناعية غير القطبية في الولايات المتحدة؟ (مساعدة: انظر إلى الأرض الدوّارة من أعلى القطبين وقارنها بطاولة دوّارة).

40. ■ تكون الأرض قريبة من الشّمس في كانون الأول أكثر منها في حزيران. في أيّ هذين الشهرين تتحرك الأرض بسرعة أكبر حول الشّمس؟

41. ● ما شكل المدار عندما تكون سرعة القمر الصناعيّ عمودية في الأماكن كلّها على قوة الجاذبية؟

42. ■ يحوم قمر اتصالات بدورة مقدارها 24 ساعة حول نقطة ثابتة على الأرض. لماذا يوضع في المدار الصحيح في مستوى استواء الأرض؟ (مساعدة: تخيّل مدار القمر خاتمًا حول الأرض.)

43. ■ أسقط مهنيّ مفكًّا من طائرة نفاثة تطير على ارتفاع عالٍ، فارتطم بالأرض. إذا أسقط رائد فضاء في المكوك الفضائي مفكًّا فهل يرتطم بالأرض أيضًا؟ دافع عن إجابتك.

44. ● كيف يمكن لرائد فضاء في مكّوك فضائيّ أن "يُسقط" جسمًا عموديًّا على الأرض؟

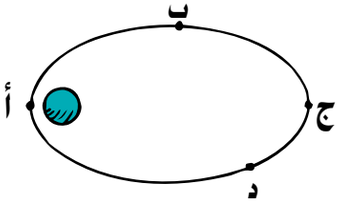
45. ● إذا أُوقف قمرٌ صناعيٌّ أرضيٌّ في مساره فإنه يسقط على الأرض. إذن لِمَ لا يتحطم على الأرض قمر الاتصالات الذي "يحوم دون حركة" فوق المنطقة نفسها من الأرض؟

46. ● السرعة المدارية للأرض حول الشّمس 30 كم/ث تقريبًا. إذا توقفت الأرض فجأة في مسارها فإنها تسقط قطريًّا في الشّمس. صمِّم خطة حيث تحمل حمولة مخلفات إشعاعية على صاروخ لينطلق إلى الشّمس كمكبّ نُفايات دائم. ما سرعة إطلاق الصاروخ واتجاهه بالنسبة إلى مدار الأرض؟

47. ■ انشطر قمر صناعي بسبب حادث انفجار إلى نصفين وهو في مداره الدائريّ حول الأرض. وقد تمّ إيقاف أحد النصفين لحظيًا. ما مصير النصف الذي تم إيقافه؟ ماذا يحدث للنصف الآخر؟ (مساعدة: فكِّر في حفظ الزخم.)

48. ■ إذا توقف بلوتو بطريقة ما في المدار فإنه سيسقط في الشّمس، بدلا من السقوط حولها. ما سرعته عندما يصطدم بالشّمس؟

49. ■ عند أيّ نقطة من تلك المشار إليها يتعرض القمر في المدار الإهليلجيّ لأكبر: قوة جاذبية؟ سرعة؟ سرعة متجهة؟ زخم؟ طاقة حركية؟ طاقة وضع جاذبية؟ مجموع طاقة؟ تسارع؟



50. ♦ ينطلق صاروخ في مدار إهليلجيّ حول الأرض؛ ليحصل على أكبر كمية طاقة حركية للإفلات باستخدام كمية معينة من الوقود. هل عليه إطلاق محركه في اتجاه النقطة الأبعد من الأرض، أم في اتجاه النقطة الأقرب إليها؟ (مساعدة: استعن بالعلاقة $Fd = \Delta KE$. افترض أنّ قوة الدفع F لفترة قصيرة وفي الفترة نفسها في كلتا الحالتين. ثم افترض أنّ d هي المسافة التي يقطعها الصاروخ خلال الانتقال القصير في الاتجاهين).

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

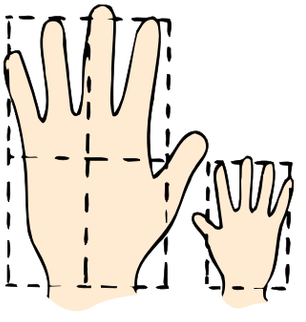
1. ● افترض أنّ المسافة بين كوكبين تتناقص إلى 5 . برهن أنّ القوة بينهما تصبح 25 مرة أقوى.
2. ● يعتقد العديد من الناس خطأً أنّ رواد الفضاء الذي يدورون حول الأرض هم "خارج الجاذبية". إذا علمت أنّ كتلة الأرض 6×10^{24} كجم، ونصف قطرها 6.38×10^{6} متر (6380 كم). فاستخدم قانون التربيع – العكسي لتبيّن أنّ مكوك الفضاء، على بعد 200 كم عن سطح الأرض، وتؤثر فيه قوة جاذبية نحو 94% منها على سطح الأرض.
3. ■ كتلة نجم نيوتروني معين 3.0×10^{30} كجم (1.5 كتل شمسيّة) ونصف قطره 8,000 متر (8 كم). أثبت أنّ قوة الجاذبية عند سطح هذا النجم الكثيف المحترق هي 300 بليون مرة مثل الأرض.
4. ■ رميت كرة أفقيًّا من أعلى مرتفع بسرعة 10 م/ث. بيّن أنّ سرعتها بعد ثانية واحدة هي 14.1 م/ث.
5. ■ طارت طائرة أفقيًّا بسرعة ثابتة مقدارها 1000كم/ ساعة (280 م/ث) عندما سقط المحرك. مع إهمال مقاومة الهواء، افترض أنّ المحرك يصطدم بالأرض بعد 30 ثانية.
(أ) أثبت أنّ ارتفاع الطائرة 4500 متر.
(ب) أثبت أنّ المحرك يسقط على مسافة أفقية مقدارها 8400 متر.
(ج) إذا استمرت الطائرة في الطيران كما لو أنّ شيئًا لم يحدث، فأين يصبح المحرك بالنسبة إلى الطائرة في لحظة اصطدام المحرك بالأرض؟
6. ■ يطلق مدفع كرات بسرعة ابتدائية 141 م/ث بزاوية $45°$ وتتبع مسار قطع مكافئ، ثم تصيب بالونًا عند أعلى المسار. مع إهمال مقاومة الهواء، بيّن أنّ المدفع يضرب البالون بسرعة 100 متر/ث.
7. ■ تبلغ الطاقة الحركية لقمر صناعي معين 8 بلايين جول عند أقرب نقطة للأرض، و5 بلايين جول عند أقصى نقطة عنها. عند انتقال القمر من أقصى نقطة إلى أقرب نقطة، ما مقدار الشغل الذي تبذله الجاذبية؟ هل تزيد طاقة الوضع خلال هذا الزمن، أم تنقص؟ وما مقدار الزيادة أو النقصان؟
8. ■ تعطى القوة المركزية بالمعادلة $F_c = \frac{mv^2}{d}$، حيث m كتلة الجسم المتحرك في مسار دائري، وبسرعة v، وببعد d عن مركز المسار الدائري. وللقمر الذي يدور حول الأرض، فإنّ الجاذبية تعادل القوة المركزية. ساوِ بين القوتين المركزية والجاذبية، وبيّن أنّ سرعة القمر في مداره حول الأرض هي $v = \sqrt{\frac{GM}{d}}$ حيث M كتلة الأرض، وd هي المسافة بين مركزي الأرض والقمر.
9. ■ احسب السرعة بالمتر/ثانية التي تدور بها الأرض حول الشّمس. يمكنك الافتراض أنّ المسار دائريّ تقريبًا.
10. ■ يبعد القمر 3.8×10^{5} كم عن الأرض تقريبًا. بيّن أنّ معدل السّرعة المداريّة حول الأرض 1026 م/ث.
11. ♦ قوة الجاذبية من الأرض عليك هي GmM/d^2 ، حيث G ثابت الجذب الكوني، وm هي كتلتك، أمّا M فهي كتلة الأرض، وd هي بعدك عن مركز الأرض.
(أ) استخدم قانون نيوتن الثاني لإثبات أنك تتسارع بالجاذبية نحو الأرض على مسافة d من مركزها بمقدار $a = GM/d^2$.
(ب) كيف تدعم هذه المعادلة حقيقة أنّ تسارع الجاذبية لا يعتمد على كتلة الجسم في السقوط الحرّ؟
12. ♦ يعرف مجال الجاذبية حول جسم **كبير الكتلة** على أنه قوة الجاذبية للكتلة على جسم ما في جوار الجسم الكتلي. رمز مجال الجاذبية هو g الغامقة (وبقيمة تسارع الجاذبية g نفسها عند تلك النقطة)
(أ) بيّن أنّ مجال الجاذبية على مسافة r من مركز الأرض هو GM/r^2 ، حيث G ثابت الجذب الكوني، وM كتلة الأرض.
(ب) قيمة g عند سطح الأرض 9.8 نيوتن/كجم. بيّن أنّ قيمة g على بعد 4 أضعاف نصف قطر الأرض من مركز الأرض 0.6 م/ث^2.
13. ♦ قُذف حجر أفقيًّا من فوق جسر فارتطم بالماء في الأسفل على مسافة أفقية مقدارها x تقع مباشرة أسفل نقطة القذف. قطع الحجر مسار قطع مكافئ في زمن t.
(أ) بيّن أنّ ارتفاع الجسر $\frac{1}{2}gt^2$.
(ب) ما ارتفاع الجسر إذا كان زمنُ تحليق الحجر ثانيتين؟
(ج) ما المعلومات المتوافرة في الفصل الرابع، ولكنها لم تتوافر في الفصل الثاني لحلّ هذه المسألة؟
14. ♦ ضربت كرة بيسبول بزاوية حادة في الهواء، وصنعت مسار قطع مكافئ أملس. إذا كان الزمن في الهواء هو t، ووصلت إلى أقصى ارتفاع h. افترض أنّ مقاومة الهواء مهملة.
(أ) بيّن أنّ الارتفاع الذي تصل إليه الكرة هو $gt^2/8$.
(ب) إذا مكثت الكرة في الهواء 4 ثوانٍ، فبيّن أنّ الكرة تصل إلى ارتفاع 19.6 متر.
(ج) إذا وصلت الكرة إلى الارتفاع نفسه عند ضربها بزاوية أخرى، فهل يكون زمن التحليق هو نفسه؟
15. ♦ انزلقت قطعة نقود بسرعة مقدارها v عن سطح طاولة أفقية ترتفع مسافة y عن سطح الأرض.
(أ) بيّن أنّ القطعة ستسقط على مسافة $v\sqrt{\frac{2y}{g}}$ من رِجل الطاولة.
(ب) إذا كانت السرعة 3.5 م/ث، وكان ارتفاع الطاولة 0.4 متر، فبيّن أنّ المسافة التي ستسقط عندها تبعد عن رِجل الطاولة 1.0 متر.
16. ♦ يقيس الطلبة في المختبر سرعة كرة فولاذية تنطلق أفقيًّا من سطح طاولة وهي v. إذا كان سطح الطاولة على ارتفاع y فوق الأرضية. ووضعوا علبة قهوة طويلة من القصدير على الأرضية بارتفاع 0.1 متر لتسقط الكرات فيها.

(أ) بيّن أنّه يجب وضع العلبة على مسافة أفقية من رِجل الطاولة مقدارها $v\sqrt{\frac{2(0.9)y}{g}}$.

ب. إذا غادرت الكرة سطح الطاولة بسرعة 4.0 م/ث، وكان سطح الطاولة على ارتفاع 1.5م من الأرضية، وطول العلبة 0.15 متر، فبين أنّ مركز العلبة يجب أن يكون على بعد 0.52 متر من رِجل الطاولة.

أنشطة استكشافية

1. ارفع كفّيك بشكل ممدود أمامك، بحيث تكون المسافة بين إحداهما وعينيك ضعف مسافة الأخرى. للوهلة الأولى أيهما أكبر؟ يرى معظم الناس أنّ لهما الحجم نفسه، في حين يرى العديد منهم أنّ الكفّ الأقرب أكبر قليلا. وغالبًا لا أحد عند الفحص العشوائي، يرى أنّ الأقرب أكبر أربع مرات. ولكن بحسب قانون التربيع – العكسي، فإنّ طول الكفّ الأقرب وعرضها يجب أن يبدو أضعف طول الكفّ الأخرى وعرضها. وعليه، يجب أن تحتل مجالًا بصريًّا أكبر أربع مرات من الكفّ البعيدة. إنّ اعتقادك بأنّ حجم كفّيك هو نفسه يعدّ أقوى هذه المعلومات. والآن، إذا طابقْتَ كفّيك قليلًا، ونظرت إليهما في حال كانت إحدى عينيك مغلقة، فسترى بوضوح أنّ الكفّ القريبة هي الأكبر. وهذا يثير سؤالا مهمًّا، هو: ما الأوهام الأخرى التي لديك، والتي لا يسهل فحصها؟



2. كرّر تجربة فحص العينين باستخدام ورقتي دولار: الأولى عادية (غير مثنية) والثانية مثنية في الوسط طوليًّا، ثم في الوسط عرضيًّا، وهكذا يصبح لها $\frac{1}{4}$ المساحة (مساحة الدولار العادي). ارفع الدولارين أمام عينيك. أين يجب أن تمسك الدولار المثني لكي ترى حجمه بحجم الدولار العادي؟ نشاط جميل؛ تشارك أنت وزملاؤك في تنفيذه.
3. اصنع "مسار عصا" باستعمال عصا وخيط، كما هو مبين في الجزء 4.4 الجزء الثاني.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقلّ مما يلي. أما إذا حصلت على أقلّ من 7 فعليك المزيد من الدراسة قبل الانتقال إلى فصل آخر.

اختر الإجابة الأفضل لكلّ مما يلي:

1. تعتمد قوة الجاذبية بين كوكبين على:
(أ) كتلتيهما والبعد بينهما.
(ب) الغلافين الجوّيين للكوكبين.
(ج) الحركات الدائرية.
(د) جميع ما ذكر.

2. عندما تنقص المسافة بين نجمين إلى الـ $\frac{1}{5}$ فإنّ القوة بينهما:
(أ) تتناقص إلى $\frac{1}{5}$.
(ب) تتناقص إلى $\frac{1}{25}$.
(ج) تزداد إلى 5.
(د) تزداد إلى 25.

3. إذا تضاعفت كتلة الشّمس، فإنّ جذبها للمريخ:
(أ) لا يتغير.
(ب) ضعف ما كان عليه.
(ج) نصف ما كان عليه.
(د) أربعة أضعاف ما كان عليه.

4. عندما ينعدم وزن رائد الفضاء، فإنه:
(أ) خارج سحب جاذبية الأرض.
(ب) ما زال ضمن تأثير جاذبية الأرض.
(ج) يتأثر بجاذبية بين النجوم.

(د) لا شيء مما ذكر.

5. عندما لا تؤثر مقاومة الهواء في كرة البيسبول السريعة الحركة، فإنّ تسارعها هو:
(أ) أقلّ من g.
(ب) بسبب الجمع بين حركتها الأفقية الثابتة وحركة تسارعها إلى الأسفل.
(ج) عكس قوة الجاذبية.
(د) صفر.

6. هل تقطع كرة مضروبة بزاوية 30° مع الأفقي مدًى كتلك التي لها السرعة نفسها وتقذف بزاوية:
(أ) 45°.
(ب) 60°.
(ج) 75°.
(د) لا شيء مما ذكر.

7. عندما تضرب مقذوفًا إلى الجوانب، فإنّه ينحني عندما يسقط. وسيصبح قمرًا أرضيًّا إذا كان المنحنى الذي يعمله:
(أ) يتساوى مع انحناء سطح الأرض.
(ب) يسير في خطوط مستقيمة.
(ج) يستمر إلى الأبد في حركة حلزونية.
(د) لا شيء مما ذكر.

8. إنّ قوة الجاذبية على القمر الصّناعيّ في المدار الدّائريّ:
(أ) ثابتة في المقدار.
(ب) متعامدة مع حركة القمر.
(ج) في اتجاه تسارعها.
(د) جميع ما ذكر.
(هـ) لا شيء مما ذكر.

9. سرعة القمر الصّناعيّ في مدار إهليلجيّ:
(أ)تبقى ثابتة.
(ب) تؤثر بشكل عمودي في حركته.
(ج) تتغير.
(د) جميع ما ذكر.
(هـ) لا شيء مما ذكر.

10. القمر الصناعي في مدار الأرض هو فوق ..... الأرضي
(أ) الغلاف الجوي.
(ب) المجال الجذبي.
(ج) كليهما.
(د) لا شيء مما ذكر.

إجابات إختبار الاستعداد للقراءة

أ10، ج9، د8، أ7، ب6، د5، ب4، د3، ج2، أ1

المزيد من الاستكشاف

كول، كي. سي. الثقب في الكون: كيف أطل العلماء من على حافة الفراغ ووجدوا كل شيء. نيويورك: هاركوت، 2001. قراءات ممتعة لغير العلماء.
اينشتاين، آي. و ل. انفليد. نشوء الفيزياء. نيويورك: سايمون وشوستر، 1938.

إذا كنت تعتقد أن كتابات آينشتاين كانت صعبة للقراءة، فسيغير هذا الكتاب نظرة عن الموضوع.

لمزيد من المعلومات حول توقعات ارتياد الفضاء، يرجى زيارة موقع شبكة جمعية الفضاء الوطنية (NSS) من خلال الرابط http://www.nss.org

الفصل 4 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 4.6، 4.14، 4.15، 4.19، 4.21، 4.28، 4.32، 4.35

دروس تعليمية

- الحركة والجاذبية
- المدارات وقوانين كبلر
- حركة المقذوفات

أشرطة فيديو

- طريقة فون جولي في قياس التجاذب بين كتلتين.
- قانون التربيع العكسي
- الوزن وانعدام الوزن
- انعدام الوزن الظاهري
- اكتشاف نيبتون
- عرض لحركة المقذوفات
- المزيد من حركة المقذوفات
- المدارات الدائرية

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط

ميكانيكا الموائع

5

1.5 الكثافة

2.5 الضغط

3.5 الطّفو في السائل

4.5 قاعدة أرخميدس

5.5 الضّغط في الغاز

6.5 الضّغط الجوّيّ

7.5 مبدأ باسكال

8.5 الطّفو في الغاز

9.5 قاعدة برنولي

■ تسمّى كلّ من السّوائل والغازات موائع بسبب مقدرتها على الجريان؛ وحيث إنّ كليهما موائع فإنّه ينطبق عليهما قوانين ميكانيكيّة متشابهة. كيف يمكن لقارب مصنوع من الحديد ألا يغرق داخل الماء؟ أو ألا يهبط بالون مملوء بالهيليوم من السّماء؟ ما الذي يحدّد ما إذا كان جسم ما يمكن أن يطفو أو يغطس في الماء والهواء؟ لماذا يكون الغاز قابلًا للانضغاط، أما السّائل فلا؟ لماذا يكون من المستحيل استخدام أداة تنفُّس عندما تكون على عمق أكثر من متر داخل الماء؟ لِمَ تتأثر الأذن بقوة عندما تكون في مصعد؟ كيف يمكن للطّائرت الاستمرار في التّحليق؟ لشرح الموائع؛ علينا أن نبدأ بمبدأين هما الكثافة والضغط.

1.5 الكثافة

إنّ الكثافة خاصّية مهمة للمادة، سواء أكانت مادة صلبة، أم سائلة، أم غازيّة. وهي مقياس للتّراصّ (compactness): **الكثافة**. وأنّ ما نعرفه عن الكثافة هو أنّها خفّة المواد ذات القياس نفسه أو ثقلها. وهي مقياس لمقدار شَغْل الكتلة لحيّز معين؛ أي أنّها كمية المادة في وحدة الحجم. وتكتب في صورة المعادلة الآتية:

الكثافة= الكتلة / الحجم

كثافة بعض المواد مدونة في الجدول 1.5 تقاس الكتلة بوحدة الجرام أو الكيلوجرام، أمّا الحجم فيقاس بوحدة السنتيمتر المكعّب أو المتر المكعّب.*

الشّكل 1.5

عندما يقلّ حجم رغيف الخبز، تزداد كثافته إذا كانت الكتلة هي نفسها.

الجدول 1.5 كثافة بعض المواد

المادة	جرام لكلّ سنتيمتر مكعب (جم/سم^3)	كيلوجرام لكلّ متر مكعب (كجم/م^3)
سوائل		
زئبق	13.6	13,600
جلسرين	1.26	1,260
ماء بحر	1.03	1,025
ماء عند درجة 4° س	1.00	1,000
بنزين	0.90	899
الكحول الإيثيلي	0.81	806
مواد صلبة		
إريديوم	22.6	22,650
أوزميوم	22.6	22,610
بلاتين	21.1	21,090
ذهب	19.3	19,300
يورانيوم	19.0	19,050
رصاص	11.3	11,340
فضّة	10.5	10,490
نحاس	8.9	8,920
نحاس أصفر	8.6	8,600
حديد	7.8	7,874
قصدير	7.3	7,310
ألومنيوم	2.7	2,700
جليد	0.92	919
غازات (عند ضغط جويّ عند مستوى سطح البحر)		
هواء جاف		
0° س	1.29	
10° س	1.25	
20° س	1.21	
30° س	1.16	
هيليوم	0.178	
هيدروجين	0.090	
أكسجين	1.43	

* المتر المكعّب هو وحدة حجم تحوي مليون سنتيمتر مكعّب. وعليه، فإنّ المتر المكعّب من الماء يحوي مليون جرام (أو ما يعادل ألف كيلوجرام من الماء في المتر المكعّب). إذن، 1 جم/سم^3 = 1000 كجم/م^3.

لمعلوماتك

■ إنّ كثافة فلزّات الليثيوم، والصّوديوم، والبوتاسيوم (ليست في الجدول 1.5) جميعها أقلّ من كثافة الماء، لذا فإنّها تطفو.

وإنّ كتلة جرام واحد من أيّ مادة تساوي كتلة 1 سم^3 من الماء عند درجة حرارة 4°س. وعليه، فإنّ كثافة الماء هي 1 جم/سم^3. إنّ كثافة الزئبق 13.6 جرام/سم^3، وهذا يعني أنّه يساوي 13.6 ضعف كتلة الماء في حجم الماء نفسه. أمّا الإيريديوم (IR)، فهو عنصر قاسٍ وهشّ، وذو لون أبيض فضّيّ، وهو فلزّ من عائلة البلاتين، ويعدّ أكثف المواد الموجودة على الأرض.

تُستخدم الكمية المعروفة بالكثافة الوزنيّة عادة عندما نشرح ضغط السّائل، ويمكن التّعبير عنها بكمية الوزن لوحدة الحجم*.

الكثافة الوزنيّة = الوزن / الحجم

نقطة فحص

1. أيّهما له كثافة أكبر: 1 كجم من الماء أم 10 كجم في الماء؟
2. أيّهما له كثافة أكبر: 5 كجم من الرّصاص أم 10 كجم من الألومنيوم؟
3. أيّهما له كثافة أكبر: قالب من الحلوى أم نصف قالب منه؟

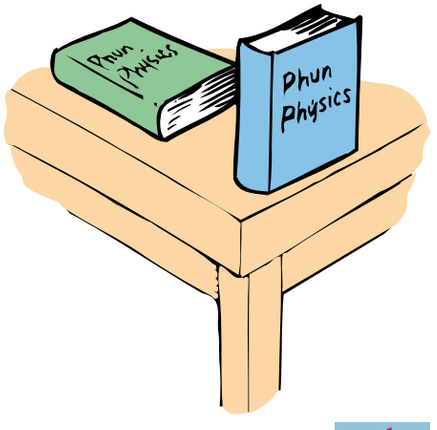
هل كانت هذه إجابتك؟

1. كثافة أيّ كمية من الماء هي نفسها اجم/سم^3 أو ما يكافؤها 1000 كجم/م^3. وهذا يعني أنّ كتلة الماء التي تملأ تمامًا حجم 1 سم^3 هي 1 جم، أو كتلة الماء التي تملأ تمامًا خزّانًا حجمه 1م^3 هي 1000 كجم. إنّ كيلو جرامًا واحدًا من الماء يملأ حجم لتر واحد، أمّا 10 كجم من الماء فتملأ خزّانًا حجمه 10 لترات. ومع ذلك، فإنّ المبدأ المهم هو نسبة الكتلة إلى الحجم، وهو نفسه لأيّ كمية من الماء.
2. الكثافة هي *نسبة* الكتلة إلى الحجم، وهذه النسبة تكون أكبر لأيّ كمية من الرّصاص من تلك التي للألومنيوم - انظر الجدول 1.5.
3. كثافة قالب من الحلوى هي نفسها كثافة نصفه.

2.5 الضّغط

عند وضع كتاب على ميزان بغض النظر عن كيفية وضعه؛ على غلافه، أم على جانبه، أم على زاويته، سنجد أنّه يؤثّر بالقوة نفسها، حيث تكون قراءة الميزان هي نفسها. الآن، قدّر وزن الكتاب بوضعه على راحة كفّك. لا شكّ أنّك ستشعر باختلاف؛ لأنّ ضغط الكتاب يعتمد على المساحة التي تتوزع عليها القوة. (الشّكل 2.5). وهناك فرق بين القوة والضغط؛ **فالضّغط** يُعرّف بأنّه القوة التي تؤثّر في وحدة المساحة كالمتر المربّع أو القدم المربّعة**:

الضّغط = القوّة / المساحة

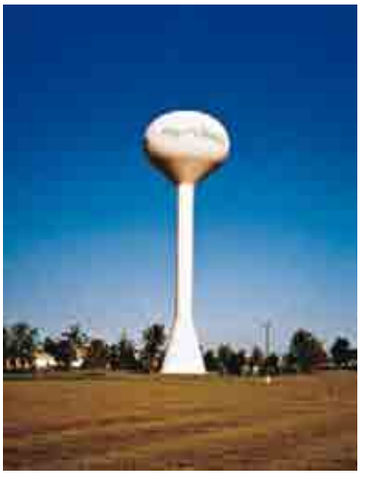


الشّكل 2.5

مع أنّ وزن كلا الكتابين هو نفسه إلاّ أنّ الكتاب الموضوع بشكل عموديّ يؤثّر بضغط أكبر في الطّاولة.

* الكثافة الوزنية معرّفة بالنسبة إلى نظام الوحدات المألوف في الولايات المتحدة الأمريكية (USCS)؛ حيث يزن قدم مكعبة واحدة من الماء النّقيّ (تقريبا 7.5 جالون) 62.4 باوند. وعليه فإنّ الكثافة الحجمية للماء النّقيّ هي 62.4 باوند/قدم^3. في حين أنّ الماء الملحيّ ذو كثافة أعلى قليلًا، ألا وهي 64 باوند/قدم^3.

** يمكن قياس الضغط بأيّ وحدة قوة مقسومة على أيّ وحدة مساحة. في النّظام الدّوليّ للوحدات، وحدة الضّغط هي النيوتن لكلّ متر مربع. وهذا يسمى باسكال (Pa) تكريمًا للعالم باسكال الذي عاش في القرن السابع عشر. إنّ الضّغط الذي مقداره1باسكال يعدّ ضغطًا ضئيلًا جدًّا، حيث يعادل ضغط قطعة نقد دولار واحد موضوعة على سطح طاولة أفقيّة تقريبًا. ومن المفضّل استخدام وحدة الضّغط كيلو باسكال (*kPA*=1000 *Pa*1).



الشّكل 3.5
لبرج الماء وظيفة أكبر من كونه خزان ماء. إنّ ارتفاع الماء فوق مستوى سطح الأرض يضمن ضغط ماء كافيًا لخزانات فرعيّة تزود البيوت بالماء.

■ **نقطة فحص**

ما الذي يقيسه الميزان الزنبركي: الوزن، أم الضّغط، أم كليهما؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ الميزان يقيس الوزن، أي القوّة التي تضغط زنبركًا أو ما يعادله. وقراءة الوزن تكون هي نفسها سواء أكنتَ تقف على قدم واحدة أم على قدمين (ولكن الضّغط على الميزان سيكون مضاعفًا عندما تقف على قدم واحدة).

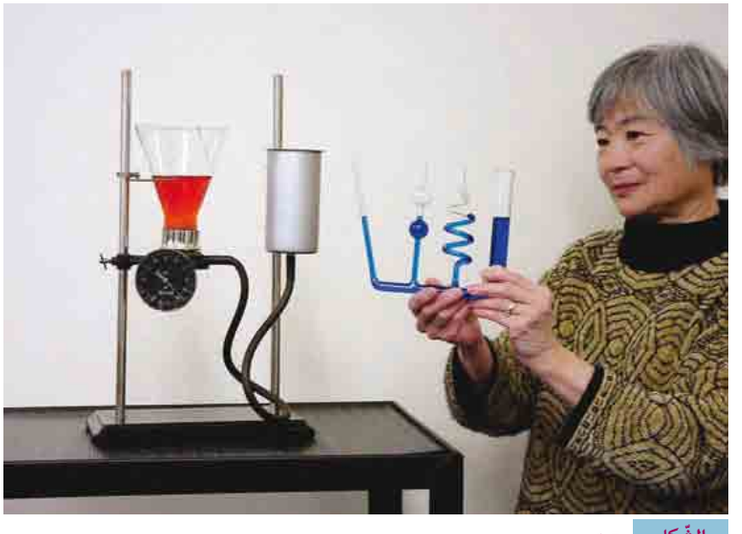
الضّغط في السّائل

عندما تسبح في الماء، تشعر بضغط الماء يؤثّر في طبلة أذنك. وكلما كنت تسبح عند عمق أكبر فإنّ الضّغط يكون أكبر كذلك. ما سبب هذا الضغط؟ إنّه ببساطة وزن الماء من فوقك- الماء والهواء- لأنّه يدفع في اتّجاه مضاد لك. وكلما كنت تسبح على عمق أكبر، يزداد الماء الذي فوقك. وعليه، سيكون الضغط أكبر. وعندما تسبح على عمق مضاعف، فسيتضاعف وزن الماء من فوقك أيضًا. لذا، فإنّ أثر ضغط الماء الذي ستشعر به يكون مضاعفًا. ويُضاف الضّغطُ الجوّيُّ إلى ضغط الماء، وهو يكافئ ضغطًا إضافيًّا لعمود من الماء ارتفاعه 10.3م. ولأنّ الضّغط الجوّيّ على سطح الأرض يكون ثابتًا تقريبًا، فإنّ فرق الضّغط الذي تشعر به تحت سطح الماء يعتمد على التّغير في العمق فقط.

إنّ الضّغط الناتج عن السّائل يساوي بدقة حاصل ضرب الكثافة الوزنيّة في العمق*:

ضغط السّائل = الكثافة الوزنيّة × العمق

لاحظ أنّ الضّغط لا يعتمد على حجم السّائل. إنك تشعر بالضّغط نفسه عندما تكون في بركة ماء على عمق متر واحد، تمامًا كما تشعر به عندما تكون في وسط محيط على عمق المتر الواحد نفسه. ويمكن ملاحظة ذلك في الأوعية الموضّحة في الشّكل 4.5. إذا كان الضّغط عند قعر الأنبوب الأوسع أكبر من الضّغط عند قعر الأنبوب الأضيق المجاور، فإنّ هذا الضّغط الأكبر يدفع الماء جانبًا، ويعمل على رفع الماء في الأنبوب الأضيق إلى مستوى أعلى. لقد وجدنا أنّ هذا لم يحدث، وأنّ الضّغط يعتمد على العمق لا على الحجم.



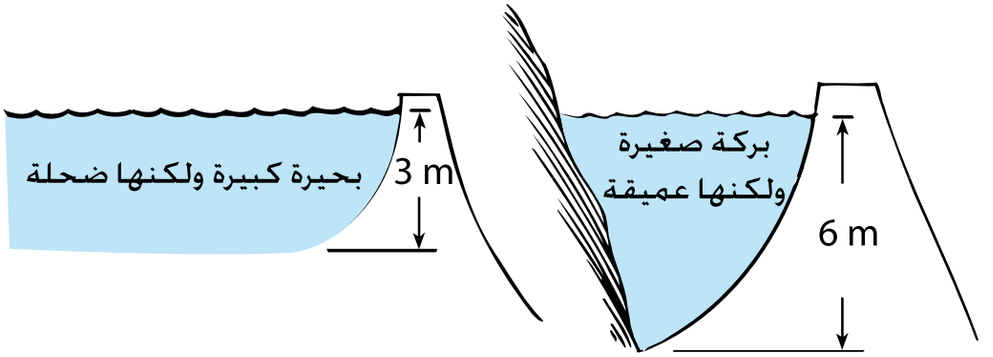
الشّكل 4.5
ضغط السّائل هو نفسه عند أيّ عمق أسفل السّطح، بغض النّظر عن شكل الوعاء الذي يحويه.

يسعى الماء للحفاظ على مستواه الخاص به. ويمكن ملاحظة هذا عندما نملأ خرطوم حديقة بالماء، ونجعل نهايتيه نحو الأعلى. إنّ مستوى ارتفاع الماء يكون نفسه سواء أكانت نهايتا الخرطوم متقاربتين أم متباعد. يعتمد الضّغط على العمق لا على الحجم. وهذا هو تفسير سبب بحث الماء عن مستواه الخاص به.

يؤثر ضغط السّائل بشكل متساوٍ في الاتّجاهات جميعها، إلى جانب الاعتماد على العمق. فعلى سبيل المثال، عندما نغطس في الماء، فإنه لا فرق في الطّريقة التي نُميل بها رؤوسنا. إن آذاننا ستشعر بمقدار ضغط الماء نفسه. ولأنّ السّائل قابل للجريان فإنّ الضّغط لا يكون نحو الأسفل فقط. نحن نعلم أنّ الضّغط يؤثّر نحو الأعلى عندما نحاول دفع كرة بالقرب من سطح الماء نحو الأسفل. إنّ السّطح السّفليّ للقارب بالتأكيد يُدفع نحو الأعلى بواسطة ضغط الماء. كما أنّنا نعلم أنّ ضغط السّائل يؤثر بشكل جانبيّ عندما نرى تدفّق الماء جانبًا من ثقب في وعاء (قائم أو عموديّ). وأنّ الضّغط داخل السّائل عند أيّ نقطة يؤثّر بالمقدار نفسه في الاتّجاهات جميعها.

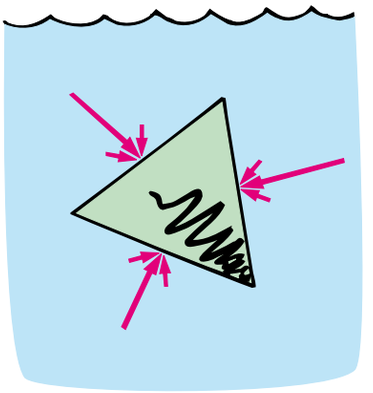
عند قياس ضغط الدم، لاحظ أنك تقيسه في الجزء العلويّ من ذراعك؛ أي على مستوى القلب.

* يمكن اشتقاق هذا من تعريف الضغط والكثافة. لنأخذ مساحة ما عند قعر وعاء يحوي سائلا. إنّ وزن عمود السّائل فوق تلك المساحة مباشرةً يُنتج ضغطًا. ومن تعريف الكثافة الوزنيّة التي تساوي الوزن مقسومًا على الحجم (الكثافة الوزنيّة = الوزن / الحجم). يمكننا التعبير عن وزن السّائل بالعلاقة:
الوزن = الكثافة الوزنيّة × الحجم. حيث إنّ حجم عمود السّائل هو المساحة مضروبة في العمق. وهكذا نحصل على
الضغط = القوة / المساحة = الوزن / المساحة = (الكثافة الوزنيّة × الحجم) / المساحة
= (الكثافة الوزنيّة × المساحة × العمق) / المساحة = الكثافة الوزنية × العمق
لإيجاد الضغط الكلي: يجب إضافة الضّغط الجوّيّ عند سطح السّائل إلى هذه المعادلة.

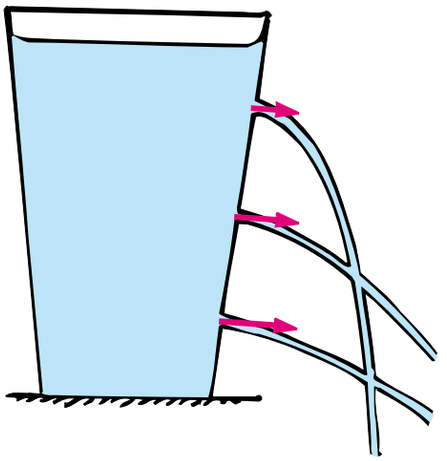


الشّكل 5.5
يعتمد متوسط ضغط الماء المؤثّر في السّدّ على متوسط عمق الماء وليس على حجمه الذي يحجزه خلفه. إنّ البركة الضحلة الواسعة تؤثّر بنصف متوسط الضّغط الذي تؤثّره بركة صغيرة وعميقة فقط.

عندما يضغط السّائل على سطح ما فإنّ القوّة المحصّلة تؤثّر بشكل عموديّ في السّطح (الشّكل 6.5). ولكن إذا كان هنالك ثقب في هذا السّطح، فإنّ السّائل يتدفق بزاوية قائمة معه قبل أن ينحني إلى الأسفل بسبب الجاذبية. (الشّكل 7.5). وعند عمق أكبر، فإنّ ضغط السّائل يكون أكبر أيضًا. كما أنّ سرعة خروجه تكون أكبر كذلك*.



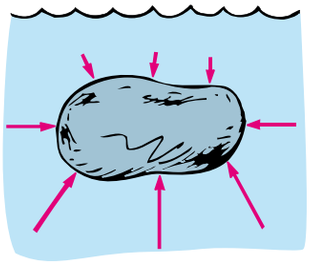
الشّكل 6.5
تتجمّع القوّة الناتجة عن ضغط السّائل على السّطح لإنتاج قوة محصّلة عموديّة عليه.



الشّكل 7.5
يعتمد وزن التفاحة على بُعدها عن مركز الأرض. تؤثّر متجهات القوّة في اتجاه متعامد مع السّطح الداخليّ لسطح الإناء، وتزداد بزيادة العمق.

3.5 الطّفو في السائل

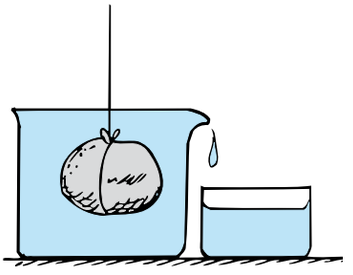
عندما يقوم شخص برفع جسم مغمور داخل الماء نحو الخارج فإنه يلاحظ قوة دفع السّائل. كما يلاحظ أنّ الجسم المغمور يخسر جزءًا من وزنه. فعلى سبيل المثال، إن رفع صخرة كبيرة من قعر نهر تكون مهمة سهلة ما دامت الصّخرة تحت الماء. ولكن عندما تصبح خارجه فإنّ القوة اللازمة لرفعها تكون أكبر. لأنّها تكون تحت تأثير قوّة عموديّة إلى الأعلى تعاكس قوة الجاذبيّة وهي مغمورة في الماء. تسمّى هذه القوّة التي إلى الأعلى **قوةَ الطّفو**. وتكون نتيجة لزيادة الضّغط مع زيادة العمق. يبين الشّكل 8.5 لماذا تؤثّر قوة الطّفو إلى الأعلى. ويكون تأثير الضّغط في كلّ مكان ضد الجسم في اتجاه متعامد على سطحه. تمثل الأسهم



الشّكل 8.5
إنّ زيادة الضّغط على السّطح السّفليّ لجسم مغمور ينتج قوة طفو نحو الأعلى.

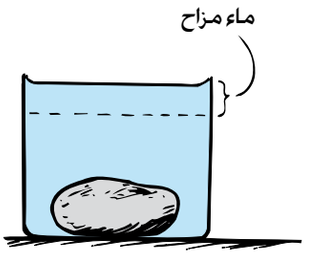
* سرعة تدفّق السّائل من الثقب هي $\sqrt{2gh}$. حيث h عمق الثقب أسفل سطح السّائل. وعلينا إدراك أنّ سرعة الماء هذه هي نفسها للماء أو لأيّ شيء آخر عندما يسقط سقوطًا حرًّا للمسافة h نفسها.

ضع قدمك في بركة سباحة بحيث تكون مغمورة. ارفعها واغمرها كاملة؛ إنّك تغرق.



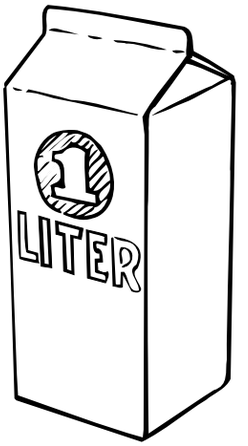
الشّكل 9.5

عندما يغمر حجر في الماء، فإنه يزيح حجمًا من الماء يساوي حجمه.



الشّكل 10.5

إنّ ارتفاع مستوى الماء في وعاء نتيجة وضع حجر فيه يكون هو نفسه إذا سُكِبَ ماءٌ بحجم يساوي حجم الحجر.



الشّكل 11.5

لتر ماء يشغل حجم 1000مم^3، وله كتلة 1 كجم، ووزنه 9.8 نيوتن. ويمكن التّعبير عن كثافته بـ 1 كجم/لتر، وكذلك التّعبير عن الكثافة الوزنيّة بـ 9.8 نيوتن/لتر (ماء البحر أكثف قليلًا، حوالي 10 نيوتن/لتر).

مقدار القوى واتجاهها عند مواقع مختلفة. إنّ القوى التي تنتج ضغوطا على الجوانب عند أعماق متساوية يلغي بعضها بعضًا. ويكون الضّغط أكبر على السّطح السّفليّ للصّخرة. والسّبب في هذا يرجع إلى أنّ السّطح السّفليّ يكون عند عمق أكبر. ولأنّ القوى العموديّة تكون أكبر على السّطح السّفليّ من السّطح العلويّ، فإنّ هذه القوى لا يلغي بعضها بعضًا، وتكون هناك قوة محصّلة إلى الأعلى. هذه القوة المحصّلة هي قوة الطّفو (Buoyant Force).

إذا كان وزن الجسم المغمور أكبر من قوة الطّفو فسيغطس. أما إذا كان وزن الجسم يساوي قوة الطّفو التي تؤثر إلى الأعلى في الجسم المغمور، فإنه يبقى عند أيّ مستوى، كالسّمكة مثلا. ولكن إذا كانت قوة الطّفو أكبر من وزن الجسم المغمور كاملًا، فإنّه سيرتفع إلى السّطح ويطفو.

إذا أردنا فهم الطّفو؛ فعلينا فهم ما يعنيه تعبير"حجم الماء المزاح". إذا وُضِعَ حجر في وعاء مملوء بالماء تمامًا إلى حافته، فإنّ بعض الماء يفيض من الوعاء نتيجة ذلك (الشّكل9.5). لقد *أزيح* الماء بواسطة الحجر. وبتفكير بسيط، سنتأكّد أنّ *حجم الحجر* هو مقدار الحيّز الذي شغله، أو مقدار السنتيمترات المكعّبة التي تساوي *حجم الماء المزاح*. وعند وضع جسم في وعاء مملوء جزئيًّا بالماء فإنّ سطح الماء سيرتفع داخل الوعاء (الشّكل10.5). والسّؤال الآن هو: إلى أيّ ارتفاع؟ الجواب: إلى المستوى الذي يجب أن يصل إليه عندما تضاف إلى الوعاء كمية من الماء تساوي حجم الجسم المغمور تمامًا. وهذه طريقة جيدة لتحديد حجم جسم عشوائيّ الشّكل. *يزيح الجسم المغمور كلّيًا حجمًا من السّائل يساوي حجمه دائمًا.*

4.5 قاعدة أرخميدس

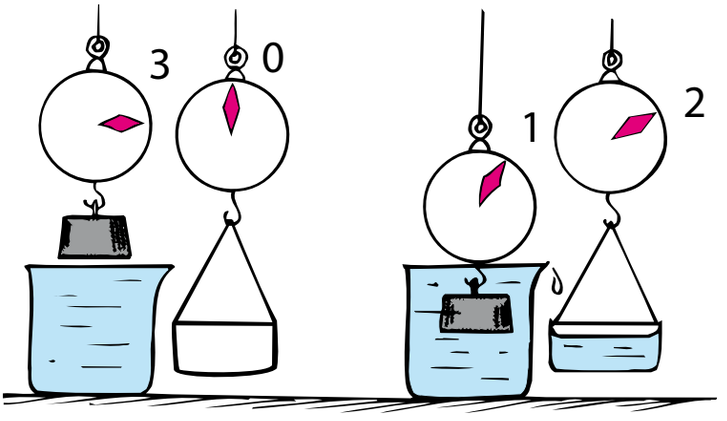
اكتشف العالِم اليوناني أرخميدس العلاقة بين الطّفو والسّائل المُزاح في القرن الثالث قبل الميلاد. وقد صيغت هذه العلاقة بالشّكل الآتي:

يخضع الجسم المغمور في مائع لقوة إلى الأعلى تساوي وزن المائع المزاح

وقد أطلق على هذه العلاقة مُسمّى **قاعدة أرخميدس**. تُطبّق هذه القاعدة على السّوائل والغازات على حدّ سواء لأنّ كليهما مائع. إذا أزاح الجسم المغمور مقدار 1 كجم من المائع، فإنّ قوة الطّفو التي تؤثر في الجسم تكون مساوية لوزن 1 كجم*. ونقصد بالمغمور سواء أكان *مغمورًا كلّيًا أم جزئيًّا*. وعندما يغمر وعاء حجمه لتر واحد ومحكم الإغلاق، ومملوء بالماء حتى نصفه، فإنه يزيح نصف لتر من الماء، ويتأثّر بقوة طفو إلى الأعلى تساوي وزن نصف لتر الماء. ولكن إذا غمرنا الوعاء كليًّا فإنه سيتأثّر بقوة طفو إلى الأعلى تساوي وزن لتر كامل (أو 1 كجم) من الماء. وإن لم يكن الوعاء المغمور بالكامل مضغوطًا، فإنّ قوة الطّفو تساوي وزن كيلوجرام واحد عند أيّ عمق. ويعزى هذا إلى أنّ الجسم لا يزيح من الماء أكثر من حجمه مهما كان عمقه. إنّ وزن هذا الحجم من الماء (ليس وزن الجسم المغمور) يكون مساويًا لقوة الطّفو.

* الكيلوجرام ليس وحدة قوّة بل وحدة كتلة. وبصياغة دقيقة: قوة الطّفو ليست 1 كجم بل وزن 1 كجم، وهو 9.8 نيوتن. ويمكننا القول إنّ قوة الطّفو هي وزن 1 كجم وليس 1 كجم.

عندما يزيح جسم كتلته 25 كجم كمية من المائع كتلته 20 كجم عند غمره في المائع. فإنّ وزنه الظاهريّ يساوي وزن 5 كجم من ذلك المائع. في الشّكل 12.5 لاحظ أنّ الكتلة 3 كجم لها وزن ظاهريّ يساوي وزن 1 كجم عندما تغمر. الوزن الظاهريّ للجسم المغمور هو وزنه خارج الماء مطروحًا منه قوة الطّفو.



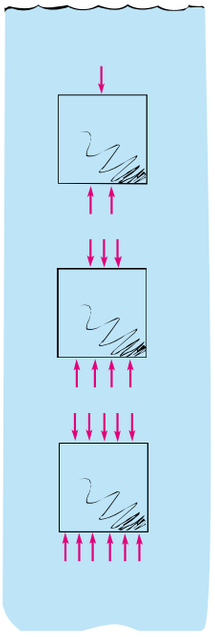
الشّكل 12.5
مكعّب كتلته 3 كجم يزن في الهواء أكثر من وزنه في الماء. عندما يغمر هذا المكعّب في الماء فإنّ مقدار النقصان في وزنه يساوي قوة الطّفو التي تساوي وزن الماء المزاح.

نقطة فحص

1. هل تعني قاعدة أرخميدس أنّ الجسم المغمور عندما يزيح 10 نيوتن من مائع فإنّ قوة الطّفو عليه تكون 10 نيوتن؟
2. وعاء حجمه لتر واحد مملوء تمامًا بمادة الرّصاص. كتلته 11.3 كجم. ومغمور داخل الماء. ما قوة الطّفو المؤثرة فيه؟
3. إذا ألقيت صخرة في بحيرة عميقة. فهل تزداد قوة الطّفو عندما تغرق هذه الصّخرة أعمق فأعمق. أم تقلّ؟

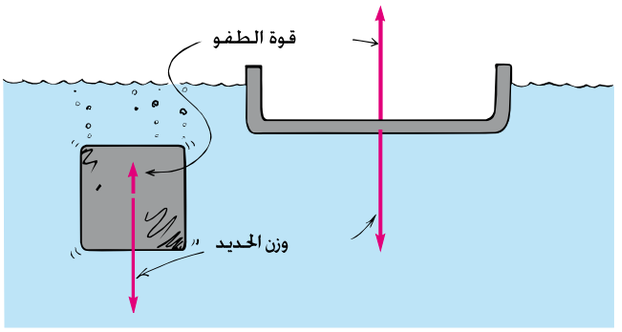
هل كانت هذه إجابتك؟

1. نعم. فُسِّر هذا استنادا إلى قانون نيوتن الثّالث. عندما يُزيح الجسم 10 نيوتن من المائع جانبًا. فإنّ المائع يعاكسه بقوة دفع تساوي 10نيوتن.
2. تساوي قوةُ الطّفو وزنَ 1كجم (9.8 نيوتن)؛ لأنّ حجم الماء المزاح هو لتر واحد. وكتلته 1كجم. ووزنه 9.8 نيوتن. لاتعدّ الكتلة 11.3 من مادة الرّصاص مهمة. إنّ لترًا واحدا من أيّ شيء يغمر في الماء يزيح لترًا واحدًا. وعليه. فإنه يدفع بقوة طفو إلى الأعلى تساوي 9.8 نيوتن. أي وزن 1كجم من الماء. (يمكنك الحصول على هذه النتيجة دون جهد كبير).
3. تبقى قوة الطفو كما هي. فهي لا تتغير بغرق الصخرة؛ لأنّ الصخرة تزيح حجم الماء نفسه عند أيّ عمق. والسّبب في ذلك هو أنّ الماء – عمليّا- غير قابل للانضغاط. فكثافته هي نفسها عند أيّ عمق. وهكذا. فإنّ الماء المزاح أو قوة الطّفو –عمليّا- هي نفسها عند الأعماق جميعها.



الشّكل 13.5
الفرق بين القوى التي إلى الأعلى والتي إلى الأسفل المؤثرة في مكعب مغمور هو نفسه مهما كان العمق.

من المؤكد أنّ مدرسك سيلخّص قاعدة أرخميدس من خلال مثال عدديّ يوضح الفرق بين القوى المؤثرة نحو الأعلى والأسفل على مكعب مغمور (بسبب الاختلاف في الضّغط). ويساوي ذلك (عددًا) وزن المائع المزاح. لا يوجد أيّ فرق من حيث موقع المكعب في الماء. صحيح أنّ الضّغط يزداد مع العمق. إلاّ أنّ الفرق في الضّغط المؤثر بين أسفل المكعب وأعلاه هو نفسه بغض النظر عن العمق (الشكل 13.5) ومهما كان شكل الجسم المغمور. فإنّ قوة الطّفو تساوي وزن المائع المزاح.



الشّكل 14.5
مكعب حديد ينغمر، إلا أنّ المقدار نفسه من الحديد على شكل تجويف يطفو.

الطّفو

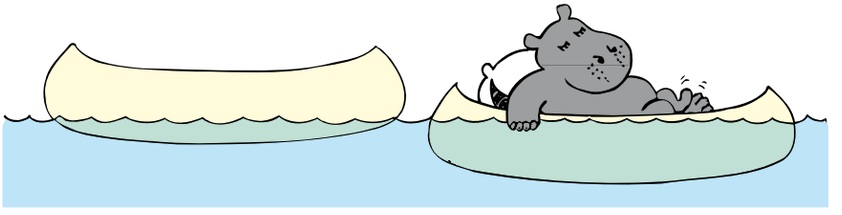
هناك حالة خاصة فقط من الطّفو تكون فيها قوة الطّفو المؤثّرة في جسم ما تساوي وزن الجسم نفسه.

إنّ كثافة الحديد أكبر كثيرًا من كثافة الماء. وعليه، فإنّ الحديد يغرق في الماء. ومع ذلك، تطفو سفينة مصنوعة من الحديد. ما السبب في ذلك؟ سندرس بالتجربة قالبًا حديديًّا صلبًا كتلته طنّ واحد. إنّ كثافة الحديد تعادل ثمانية أضعاف كتلة الماء تقريبًا. وعندما تغمر في الماء، فإنها تزيح $\frac{1}{8}$ طنّ من الماء، وهي بالتأكيد ليست كافية لمنع ذلك القالب من الغرق. وعلى افتراض أننا غيّرنا شكل هذه الكمية نفسها من الحديد بحيث تصبح على شكل تجويف، كما في الشكل 14.5. وبقي لها الوزن نفسه لكتلة طن واحد. فعندما نضعها داخل الماء، فإنها تستوي على الماء بحيث تزيح حجمًا من الماء أكبر من الحجم السابق. وكلما غمرتها أكثر داخل الماء أزاحت كمية أكبر من الماء، و كانت قوة الطّفو المؤثرة فيها أكبر. وعندما تساوي قوة الطّفو وزن طنّ واحد، فإنه لا يمكنها الغوص أكثر.

عندما يزيح القارب الحديديّ وزنًا من الماء يساوي وزنه فإنه يطفو. وهذا ما يسمى **مبدأ الطّفو *(Principle of Flotation)*:**

يزيح الجسم الطّافي وزنًا من المائع يساوي وزنه.

يصمم كلّ منطاد هوائي، أو سفينة، أو غواصة بحيث يزيح وزنًا من المائع يساوي وزنه. وهكذا، فإنّ سفينة كتلتها 10,000 طنّ تبنى بأبعاد تكون كافية لإزاحة 10,000 طنّ من الماء قبل أن تغطس كثيرًا فيه. والشيء نفسه يطبّق على الأوعية في الهواء. فالمنطاد أو البالون الضخم الذي يزن 100 طنّ يزيح 100 طنّ من الهواء على الأقلّ. وإذا أزاح أكثر من ذلك، فإنه يرتفع إلى الأعلى. ولكن إذا أزاح أقلّ من ذلك، فإنه يهبط إلى الأسفل. إما إذا أزاح مقدار وزنه تمامًا، فإنه يحوم عند الارتفاع نفسه.



الشّكل 15.5
وزن جسم يطفو على الماء يساوي وزن الماء المزاح من الجزء المغمور من الجسم.

الفيزياء في التّاريخ

■ **أرخميدس والتّاج الذّهبيّ**

كُلِّف أرخميدس (212 - 287 قبل الميلاد) بمهمة تتلخّص في تحديد ما إذا كان تاج ملك سيراكوزيا هيرو الثاني مصنوعًا من الذهب الخالص، أو أنه يحوي أيضًا بعض الفلزّات الرّخيصة كالفضّة. وكان ما يشغل بال أرخميدس هو تحديد كثافة التّاج دون تحطيمه. لقد كان قادرًا على معرفة وزنه، إلا أنّ تحديد حجمه كان هو المشكلة. تروي لنا القصة أنّ أرخميدس توصل إلى الحلّ عندما غمر جسمه في بركة عامة في سيراكوزيا ولاحظ الارتفاع في مستوى الماء. وكان في غاية الإثارة بحيث خرج من البركة عاريا إلى الشّارع وهو يصرخ: "وجدتها! وجدتها!".

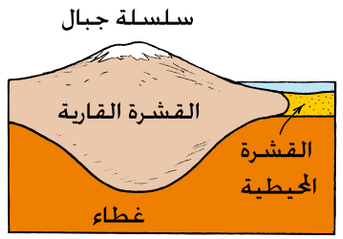
لقد اكتشف أرخميدس طريقة بسيطة ودقيقة لحساب حجم جسم غير منتظم: إنّها طريقة الإزاحة في تحديد الأحجام. وبمجرد معرفته لكلّ من الوزن والحجم أمكنه حساب الكثافة. بعد ذلك، قارن بين كثافة كلّ من التّاج والذهب، فتوصّل إلى أنّ الخاتم قد خُلِطَ بالفضة ولم يكن ذهبا خالصا. إنّ ما توصّل إليه أرخميدس قد سبق قانون نيوتن في الحركة والذي يمكن أن يُشتق منه مبدأ أرخميدس قبل حوالي 2000 سنة.

ربط مع

علوم الأرض

■ جبال طافية

تطفو الجبال على غطاء أرضيّ شبه سائل تماما كجبل جليديّ يطفو فوق سطح الماء. كلاهما (الجبال الأرضيّة أو الجليديّة) له كثافة أقلّ من كثافة المادة التي تطفو عليها. وتمامًا مثل معظم الجبال الجليديّة التي تكون أسفل سطح الماء (90%)، فإنّ معظم الجبال (حوالي 85%) تمتد على غطاء شبه سائل كثيف. إذا كان بإمكانك كشط قمة الجبل الجليديّ، فسيصبح أخفّ. ومن ثمَّ فإنه يُدفع نحو الأعلى حتى يصل إلى علوه الأصليّ نفسه قبل عملية الكشط.. وبالمثل، فإنّ الجبال الأرضيّة عندما تتعرّض للتآكل، فإنها تصبح أخفّ. ومن ثمَّ تدفع نحو الأعلى بحيث تطفو تقريبًا عند علوها الأصليّ نفسه. وهكذا، فإنه عند تآكل 1كم من جبل أرضيّ، فإنّ حوالي 85% من الكيلو متر المتآكل من الجبل سيُسترجع. وهذا يدعونا إلى أن نسأل: لماذا تحتاج الجبال إلى وقت طويل لتتأثر بالعوامل الجوّيّة؟ الجبال - مثل الجبال الجليدية - تكون أكبر مما تبدو لك. إنّ مبدأ



الجبال العائمة أو الطافية يكوّن توازنًا في القشرة الأرضيّة؛ وهذا هو مبدأ أرخميدس للصّخور.

ولأنّ قوّة الطّفو المؤثّرة في الجسم تساوي وزن السّائل المزاح، فإنّ السّوائل الأكثف تؤثّر بقوّة طفو في جسم ما أكبر من تلك التي يؤثّر بها سائل أقلّ كثافة في جسم له الحجم نفسه. وهكذا، فإنّ السّفينة تطفو فوق الماء المالح لعلوّ أكبر منه في حالة الماء النّقيّ؛ لأنّ كثافة الماء المالح أكبر من كثافة الماء النّقيّ. وبالطريقة نفسها فإنّ قطعة من فلزّ الحديد تطفو في الزّئبق مع أنها تغطس في الماء.

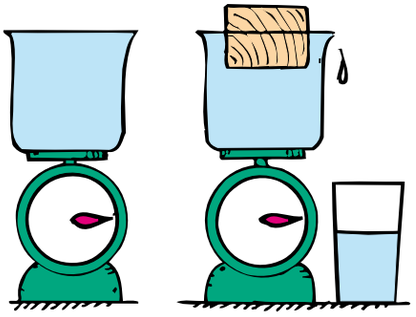
■ نقطة فحص

املأ الفراغ بما يناسبه في العبارتين التاليتين:

1. حجم الجسم المغمور في سائل يساوي _____ السّائل المزاح.
2. وزن الجسم الطّافي يساوي _____ السّائل المزاح.
3. لماذا يكون الطّفو أسهل في الماء المالح منه في الماء النّقيّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. حجم
2. وزن
3. عندما تطفو فوق الماء، فإنّ وزن الماء المزاح يساوي وزنك. ولأنّ الماء المالح أكثف من الماء النّقيّ، فإنك لا تغطس ما دمت لا تزيح وزنك من الماء. ولكنك تطفو لعلوّ أكبر فوق الزئبق (كثافته 13.6 جم/سم^3)، في حين تغطس كليًّا في الكحول (كثافته 0.8 جم/سم^3).



الشّكل 16.5

الجسم الطافي يزيح وزنًا من المائع يساوي وزنه.

لاحظ أننا تناولنا في شرحنا للسّوائل التّعبير عن قاعدة أرخميدس وقانون الطّفو بدلالة الموائع وليس السّوائل. ويعود ذلك إلى أنّ السّوائل والغازات طَوْران مختلفان للمادة.

إنّ 9 من 10 من الناس الذين لا يستطيعون السباحة هم من الذكور؛ لأنّ معظم الذكور يمتلكون عضلات أكثر، كما أنّ كثافتهم أعلى من كثافة الإناث. وتعوم علبة الصودا القليلة السّكّر (الدايت) أما علبة الصودا العادية فتغرق في الماء. ماذا يؤكد ذلك فيما يتعلق بالكثافة النسبية؟

الشّكل 17.5

الباخرة نفسها فارغة ومحمّلة. كيف يمكن المقارنة بين وزن الحمل من جهة ووزن الماء الإضافي المزاح بسبب الحمل من جهة أخرى.

إلا أنّ كليهما موائع ينطبق عليهما كثير من المبادئ الميكانيكية. والآن سنتناول ميكانيكية الغازات تحديدًا.

السّوائل والغازات كلاهما مائع. يأخذ الغاز شكل الإناء الذي يوضع فيه. أما السّائل فهو كذلك أيضًا، ولكن أسفل سطحه.

5.5 الضّغط في الغاز

إنّ الفرق الرّئيس بين الغاز والسّائل يكمن في المسافة بين الجزيئات: ففي الغاز تكون الجزيئات بعيدًا بعضها عن بعض، ومتحررة من قوى التماسك بينها. وهذه القوى هي التي تسيطر على حركة الجزيئات في حالتي المواد الصّلبة والسّائلة. إنّ الحركة الجزيئية في الغاز تكون أقلّ تقييدًا. يتمدد الغاز بحيث يملأ الفراغ المتاح، ويؤثر بضغط في الوعاء الموجود فيه. ولكن عندما تكون كمية الغاز كبيرة كما في حالة الغلاف الجوي الأرضي أو النجم فإنّ قوى الجاذبية تحدّد حجم الغاز أو شكل كتلته.

قانون بويل

إنّ ضغط الهواء داخل إطارات العربة أكبر كثيرًا من الضّغط الجويّ خارجه. كما أنّ كثافة الهواء داخل الإطار تكون أكبر من كثافته في الخارج. ولمعرفة العلاقة بين الضّغط والكثافة: فكّر في جزيئات الهواء (وبخاصّة النيتروجين والأكسجين) داخل الإطار. تسلك الجزيئات سلوك كرات البلياردو المتناهية في الصغر، حيث تتحرك بعشوائية وتضرب بقوة على الجدران الداخلية منتجة قوة شديدة يمكن تحسسها كدفع سكونيّ. إنّ قوة الدّفع هذه على مساحة الجدار تعطي ضغط الهواء الدّاخليّ.

إذا افترضنا وجود عدد مضاعف للجزيئات في الحجم نفسه (الشكل 18.5) فإنّ كثافة الهواء تتضاعف. وعلى افتراض أنّ الجزيئات تتحرك بمتوسط السرعة نفسه - أو ما يعادل ذلك إذا كان لهما درجة الحرارة نفسها - فإنّ عدد التصادمات سيكون مضاعفًا، وهذا يعني أنّ الضّغط يكون مضاعفًا. وهكذا، فإنّ الضّغط يتناسب مع الكثافة.

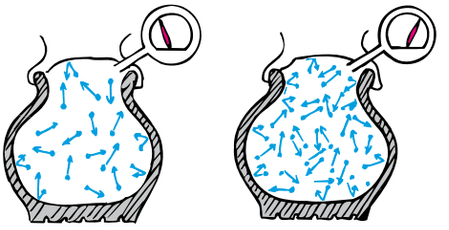
إذا ضاعفنا كثافة الهواء في إطار عربة بمضاعفة كمية الهواء، أيمكننا كذلك مضاعفة الكثافة عند ثبات كمية الهواء عن طريق ضغطه إلى نصف حجمه. وإذا درسنا أسطوانة مع مكبس متحرك، كما في الشّكل 19.5. فإننا سنلاحظ أنّه إذا دُفع المكبس إلى الأسفل بحيث يصبح الحجم نصف الحجم الأصلي فإنّ كثافة الجزيئات تتضاعف. وبناءً عليه يتضاعف الضّغط. ولكن إذا أنقصنا الحجم إلى ثلث الحجم الأصليّ فإنّ الضّغط سيزداد ثلاثة أضعاف. وقِسْ على ذلك (على أن تبقى درجة الحرارة ثابتة).

بملاحظة هذه الأمثلة المتعلقة بالمكبس، فإنّ حاصل ضرب الضّغط في الحجم يبقى ثابتًا. فعلى سبيل المثال، حاصل ضرب ضعف الضّغط في نصف الحجم هو نفسه حاصل ضرب ثلاثة أضعاف الضّغط في ثلث الحجم. وعمومًا، يمكننا صياغة ذلك بأنّ حاصل ضرب الضّغط في الحجم لكتلة ما من الغاز يبقى ثابتًا *ما لم يوجد أيّ تغيير في درجة الحرارة. الضغط × الحجم* لعينة من الغاز عند لحظة زمنية يساوي أيّ *ضغط آخر × حجم آخر* لعينة الغاز نفسها عند أيّ لحظة زمنية أخرى. ويعطى بالرّمز الآتي:

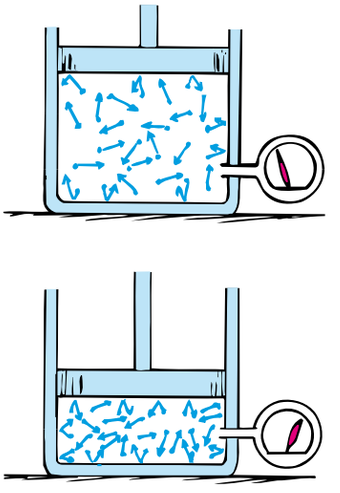
$$P_1V_1 = P_2V_2$$

حيث V_1 و P_1 تمثّلان الضّغط والحجم الأصليّين على التّرتيب. أمّا P_2 و V_2 فتمثلان الضّغط والحجم اللاحقَين. تسمّى هذه العلاقة **قانون بويل**، تكريمًا للفيزيائيّ روبرت بويل (Robert Boyle) الذي عاش في القرن السّابع عشر*.

يُطبّق قانون بويل على الغازات المثاليّة. إنّ الغاز المثاليّ هو ذلك الغاز الذي تهمل القوى بين جزيئاته، وكذلك يهمل حجم جزيئاته المفردة. كما أنّ الهواء والغازات الأخرى تقترب من ظروف الغاز المثاليّ عند الضّغوط ودرجات الحرارة العاديّة.



الشّكل 18.5
عندما تزداد كثافة الغاز داخل الإطار يزداد الضّغط.



الشّكل 19.5
عندما يقلّ حجم الغاز تزداد كثافته وضغطه.

* القانون العام الذي يأخذ في الحسبان تغيرات درجة الحرارة هو $P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2$ حيث T_1 و T_2 تمثلان درجتي الحرارة المطلقة الابتدائيّة والنهائيّة. والمقيسة بوحدات SI التي تسمى كلفن (الفصل 6).

■ **نقطة فحص**

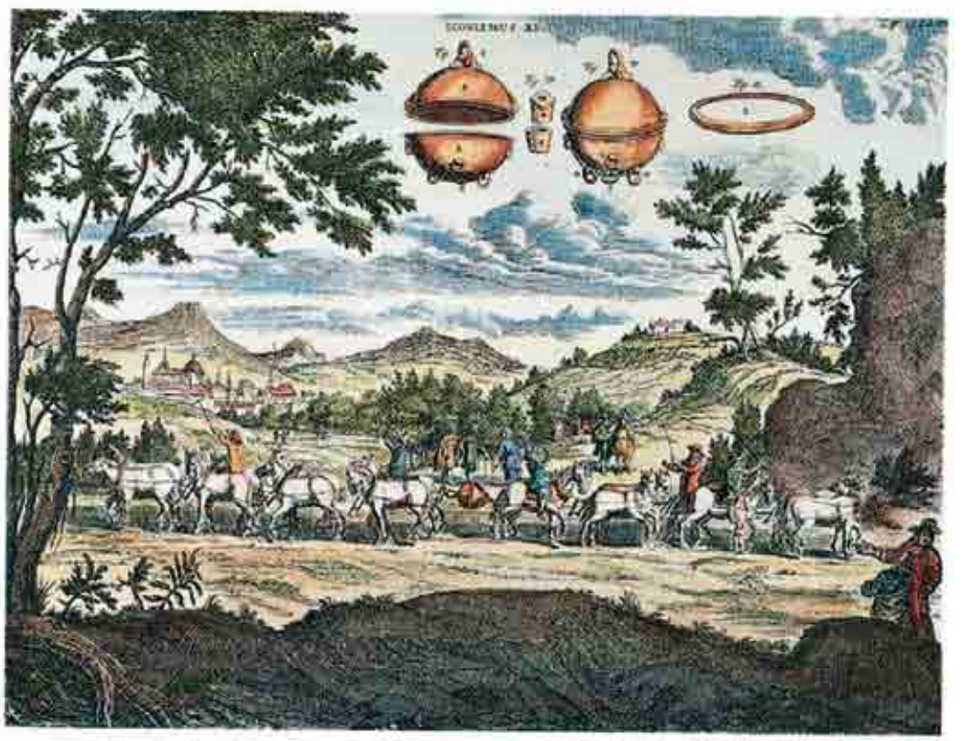
1. سُحب مكبس مرتبط بمضخة هواء محكمة بحيث يتضاعف حجم هواء الحجرة ثلاث مرات. ما التّغير في الضّغط؟
2. يتنفس شخص داخل الماء، بحيث يضغط الهواء القريب من السّطح. إذا استطاع الاحتفاظ بِتَنَفُّسِه حتى خروجه إلى السّطح، فما أثر ذلك في حجم رئتيه؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. يقلّ الضّغط في حجرة المكبس حتى يصل إلى الثّلث، وهذا هو المبدأ الرّئيس لمضخة التّفريغ الميكانيكيّة.
2. عندما يخرج هذا الشّخص إلى السّطح، فإنّ ضغط الماء المحيط بجسمه يقلّ بحيث يسمح لحجم الهواء في رئتيه بالزيادة. إنّ أول درس من دروس الغطس هو ألا تحتفظ بتنفسك عندما تصعد، فمثل هذا التصرف قد يكون مميتًا.

6.5 الضّغط الجوّيّ

نحن نعيش في قعر محيط هوائي؛ فالغلاف الجوّيّ يشبه إلى حدّ كبير الماء في بحيرة، أي أنّه يؤثر بضغط. إحدى أشهر التجارب التي توضّح ضغط الغلاف الجوّيّ أجراها أوتو فون غوريكي (Otto von Guericke) من بلدة "ماجديبرج" الألمانية Magdeburg الذي اخترع مضخّة التّفريغ سنة 1654م. وضع فون جوريكي نصفي كرة مفرغة متلاصقين معًا بحيث يشكلان كرة قطرها 0.5 متر كما في الشّكل 20.5. ثمّ ألصقهما معًا بوضع مادة زيتية وشمعية بينهما بحيث يتلاصقان تمامًا. وبعدها أفرغ الكرة من الهواء باستخدام مضخّة تفريغ. وقد حاولت مجموعتان تتكون كلّ منهما من ثمانية أحصنة فصل نصفي الكرة أحدهما عن الآخر فلم تفلحا.



الشّكل 20.5
توضح تجربة أنصاف كرات ماجديبرج (Magdeburg) سنة 1654 الضّغط الجوّيّ. مجموعتان من الأحصنة لم تفلحا في سحب نصفي الكرة المفرغة أحدهما عن الآخر. هل كان نصفا الكرة مشدودين إلى أحدهما عن الآخر؟ بماذا؟

من المثير للاهتمام أن تجربة فون جوريكي قد سبقت معرفة قانون نيوتن الثالث. إنّ القوى المؤثرة على نصفي الكرة هي نفسها إذا اسْتَخْدَمَ فريقًا واحدًا من الأحصنة وربط الطّرف الآخر من الحبل بشجرة!

عندما ينخفض ضغط الهواء داخل أسطوانة كما في الشّكل 21.5، فإنّ قوّة عموديّة إلى الأعلى تؤثّر في المكبس. وهذه القوة كبيرة وقادرة على رفع وزن ثقيل. وإذا كان القطر الدّاخليّ للأسطوانة 12 سم أو أكثر، عندئذ يمكن رفع شخص بهذه القوة.

ماذا توضح التّجربتان في الشّكلين 20.5 و21.5؟ هل تظهران أنّ الهواء يؤثر بضغط، أم أنّ هنالك قوة سحب؟ إذا قلنا إنّ هنالك قوة سحب، فإننا نفترض أنّ الفراغ يؤثّر بقوة. ولكن ماذا نقصد بالفراغ؟ إنّه عدم وجود مادة؛ أي أنّه حالة اللاوجود. إذن كيف يمكن للعدم أو اللاوجود أن يؤثّر بقوة؟ إنّ نصفي الكرة لم يلتصقا معًا، ولا المكبس هو الذي حمل الثّقل إلى الأعلى، والصّحيح هو أنّ ضغط الغلاف الجوّيّ (الضّغط الجوّيّ) يدفع بقوة على نصفي الكرة والمكبس أيضًا.

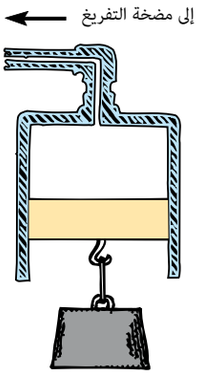
ينتج الضّغط الجوّيّ بسبب وزن الهواء تماما كضغط الماء الذي ينتج بسبب وزن الماء. لقد تكيّفنا تماما مع الهواء غير المرئيّ، والذي ننسى أنّه ذو وزن أحيانا، كالسّمكة التي (تنسى) أنّ للماء وزنًا. إنّ سبب عدم شعورنا بهذا الوزن المؤثّر في أجسامنا هو أنّ الضّغط داخل أجسامنا يساوي ضغط الهواء المحيط بنا. وعليه،لا توجد قوة محصلة لكي نشعر بها.

عند مستوى البحر، فإنّ المتر المكعّب من الهواء عند درجة حرارة 20° سلسيوس له كتلة تساوي 1.2 كجم تقريبًا. ولكي تحسب كتلة الهواء في غرفتك؛ عليك معرفة عدد الأمتار المكعبة وضربها في 1.2 كجم/م^3. لا تندهش إذا وجدتها أثقل من فتاة صغيرة. وإذا كانت هذه الفتاة الصغيرة لا تعتقد أنّ للهواء وزنًا، فهذا يعزى إلى أنها محاطة بالهواء دائمًا. وعندما تحمل وعاءً بلاستيكيًّا مليئًا بالماء، فإنها ستخبرك أنّ له كتلة. ولكن عندما تحمل الوعاء نفسه وهي تغوص في بركة سباحة، فإنها لا تشعر بوزن ذلك الوعاء؛ إننا لا نشعر بوزن الهواء؛ لأننا نغوص فيه.

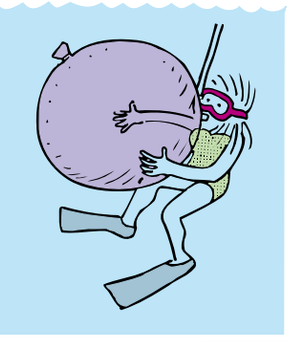
ولأنّ كثافة الماء في بركة هي نفسها عند المستويات جميعها (بافتراض أنّ درجة الحرارة ثابتة)، إلا أنّ كثافة الهواء في الغلاف الجوّيّ تقلّ كلّما زاد الارتفاع. إنّ كتلة متر مكعّب عند سطح البحر تساوي 1.2 كجم، ولكن كتلة الحجم نفسه من الهواء عند ارتفاع 10 كم فهي 0.4 كجم. ولمعادلة ذلك؛ فإنّ الطّائرات يجب عليها أن تتكيّف مع الضغط. إنّ الهواء الإضافيّ اللازم لمعادلة الضّغط على طائرة جامبوجت 747 - على سبيل المثال- أكثر من 1000 كجم. إنّ الهواء يكون ثقيلًا إذا امتلكت كمية كافية منه.

تأمّل كتلة الهواء الموجود في عود قصب أسطوانيّ مجوَّف عموديّ، طوله 30 كم ومساحة مقطعه 1سم^2. وبافتراض أنّ كثافة الهواء داخله هي نفسها خارجه، فإنّ كتلة الهواء المحصور في هذا العود هي 1 كجم تقريبًا. وأنّ وزن هذه الكمية الكبيرة من الهواء حوالي 10 نيوتن. وهكذا، فإنّ الضّغط عند أسفل عود القصب 10 نيوتن/سم^2 تقريبا. وبالطبع، هذا صحيح دون وجود عود القصب. إنّ مترًا مربعًا واحدًا يساوي 10000 سم^2. وعليه، فإنّ كتلة عمود هواء مساحة مقطعه 1م^2، ويمتد إلى الأعلى خلال الغلاف الجوي هي 10,000 كجم تقريبا. إنّ وزن هذا الهواء حوالي 100,000 نيوتن. وهذا الوزن يولّد ضغطًا يساوي 100,000 نيوتن/م^2، أو ما يعادل 100,000 باسكال (*Pa*)، أو 100 كيلوباسكال (*kPa*). ولكي نكون أكثر دقةً، فإنّ متوسط الضّغط الجوّيّ عند سطح البحر هو 101.3 كيلوباسكال.*

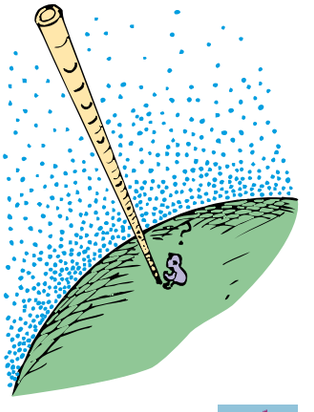
إنّ الضّغط الجوّيّ غير متجانس؛ فإلى جانب الاختلافات النّاتجة عن الارتفاعات فإنّ هناك اختلافات في الضّغط الجوّيّ في المكان الواحد، وهذا ناتج عن حركة العواصف. ويعدّ قياس التّغيّر في ضغط الهواء مهمًّا جدًّا في التّنبؤات الجوّيّة.



الشّكل 21.5
أيُسحبُ المكبسُ أم يُدفعُ؟



الشّكل 22.5
لا يمكن ملاحظة وزن دلو من الماء إذا كنت غاطسًا في الماء. وبالمثل، لا يمكنك ملاحظة وزن الهواء المحيط بك.



الشّكل 23.5
إنّ كتلة الهواء الموجود داخل سارية من الخيزران رفيعة وممتدة إلى أعلى طبقة الغلاف الجوي هي 1 كجم تقريبًا. ووزن هذا الهواء حوالي 10 نيوتن.

*الباسكال هو وحدة قياس الضّغط في النّظام الدّوليّ SI. متوسط الضّغط عند سطح البحر (101.3 kPa) غالبا يسمى 1 ضغط جوي (atm). في نظام الوحدات البريطانيّ، متوسط الضّغط الجوّيّ عند سطح البحر 14.7 باوند/إنش^2 (باوند لكلّ إنش مربع psi).

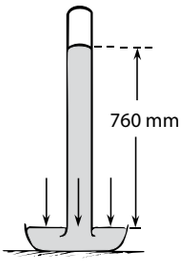
نقطة فحص

1. قدِّر كتلة الهواء بالكيلوجرام في غرفة صفّ مساحة سطحها 200م^2 وارتفاعها 4م (بافتراض أنّ درجة حرارة الغرفة 10 درجات مئوية).
2. لماذا لا يكسر الضّغط الجوّيّ زجاج النّوافذ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. كتلة الهواء هي 1000 كجم. وحجم الهواء 200 م^2 × 4م = 800 م^3. وكتلة كلّ متر مكعّب من الهواء هي 1.25 كجم تقريبًا. وعليه، 800 م^3 × 1.25 كجم/م^3 = 1000 كجم (حوالي طنّ).
2. يؤثّر الضّغط الجوّيّ في جانبي النّافذة. ولهذا، لا توجد محصلة قوّة عليها. وعليه،إذا كان هناك نقص أو زيادة في الضّغط على أحد جانبي النّافذة لسبب أو لآخر كما في حالة وجود ريح قويّة، فعليك الانتباه والحذر!

مقاييس الضّغط الجوّيّ (البارومترات (Barometers))



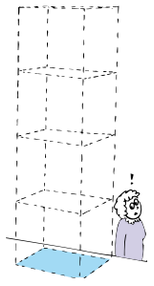
تسمى الأداة التي تستخدم لقياس الضّغط الجوّيّ البارومتر. وهناك بارومتر زئبقيّ موضّح في الشّكل 25.5. يتكوّن من أنبوب زجاجيّ طوله أكثر من 76 سم، ومغلق من إحدى نهايتيه، ومملوء بالزّئبق، ومقلوب رأسًا على عقب في صفيحة من الزّئبق. يتدفّق الزّئبق في الأنبوب خارج النّهاية المفتوحة المغمورة حتى يصبح الفرق بين مستوى الزّئبق في الأنبوب والصفيحة 76 سم. إنّ الفراغ فوق مستوى الزّئبق في الأنبوب ما عدا بعض بخار الزّئبق هو فراغ نقيّ.

إنّ شرح عمل هذا البارومتر يشبه اتزان أرجوحة الأطفال: يتزن البارومتر عندما يكون وزن السّائل في الأنبوب يؤثر بالضغط نفسه الذي يؤثر به الضّغط الجوّيّ في الخارج. وبغض النظر عن مساحة مقطع الأنبوب، فإنّ عمودًا من الزّئبق طوله 76 سم له الوزن نفسه للهواء الذي يملأ أنبوبًا طوله 30 كم، وله كذلك مساحة المقطع نفسها. إذا ازداد الضّغط الجوّيّ، فإنّ الغلاف الجوي يدفع الزّئبق عاليًا داخل الأنبوب. وهكذا فإنّ الزّيادة في ارتفاع عمود الزّئبق تؤثّر بضغط مكافئ.

يمكن استخدام الماء بدلًا من الزّئبق في البارومتر، ولكن في هذه الحالة يجب استخدام أنبوب أطول كثيرًا ؛ أي 13.6 ضِعْفًا؛ لأنّ كثافة الزّئبق تعادل 13.6 ضعف كثافة الماء. وهذا يوضّح سبب أن يكون طول أنبوب الماء 13.6 ضعف طول أنبوب الزّئبق (لهما مساحة المقطع نفسها) لكي نحصل على الوزن نفسه للزّئبق الذي في الأنبوب. يجب أن يكون طول البارومتر المائيّ 13.6 × 0.76 م، أو 10.3م ؛ إنّه طويل جدًّا لكي يمكن استخدامه.

إنّ ما يحدث في البارومتر يشبه ما يحدث عندما تشرب بماصّة. فعندما تستعمل الماصة في الشّرب فإنّك تقلّل ضغط الهواء داخلها عندما توضع في السّائل. إنّ الضّغط الجوّيّ على السّائل يدفعه إلى المنطقة ذات الضّغط المنخفض. وبصياغة دقيقة، فإنّ السّائل لا يُمتصّ إلى الأعلى، ولكن يُدفع خلال الماصّة بضغط الغلاف الجوّيّ. وإذا مُنع الغلاف الجوّيّ من الدّفع على سطح السّائل كما في حالة قارورة تتصل معها الماصّة من خلال سداد فلين محكم الإغلاق، حيث لا تؤدي عملية السّحب في هذه الحالة إلى نتيجة.

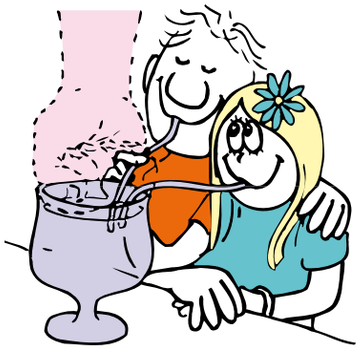
إذا فَهِمت هذه التجارب، أيمكنك فهم لماذا يكون الارتفاع 10.3م هو المدى الذي يمكن رفع الماء اليه باستخدام مضخة تفريغ. تعمل المضخّة الزّراعيّة القديمة الموضّحة في الشّكل 27.5 عن طريق إنتاج فراغ جزئيّ في خرطوم مياه يمتد نحو الأسفل إلى أن يصل ماء البئر. إنّ الضّغط الجوّيّ على سطح الماء يدفعه داخل الخرطوم؛ حيث يكون الضّغط داخله أقلّ. هل يمكنك ملاحظة أنّ أقصى ارتفاع يمكن رفعه بهذه الطريقة هو 10.3م حتى عند وجود فراغ مثاليّ ؟



الشّكل 24.5
إنّ وزن الهواء الذي يضغط إلى الأسفل على سطح مساحته 1م^2 عند سطح البحر هو 100,000نيوتن تقريبًا. وهكذا، فإنّ الضّغط الجوّيّ حوالي 10^5 نيوتن/م^2 أو 100 كيلو باسكال تقريبًا.

الشّكل 25.5
مقياس ضغط زئبقيّ بسيط. يندفع الزّئبق نحو الأعلى في الأنبوب بسبب الضّغط الجوّيّ.

بالنسبة إلى العمّال الذين يعملون في منشآت تحت الماء في محيط هواء مضغوط، يكون مقدار ضغط الهواء في حجراتهم تحت الماء مساويًا لمجموع ضغط الماء والضّغط الجوّيّ الخارجيّ على الأقلّ.



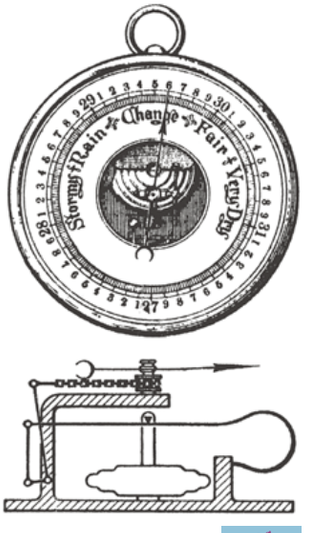
الشّكل 26.5
إنهما لا يمتصان الصودا بالماصتين و لكنهما قلّلا الضغط في الماصتين، مما سمح للضغط الجوي بدفع السائل إلى أعلى. فهل يمكنها شرب الصودا بهذه الطريقة على القمر؟

الشّكل 27.5
يدفع الضّغط الجوّيّ الماء من الأسفل إلى الأنبوب الذي فُرِّغَ بمضخة تفريغ.

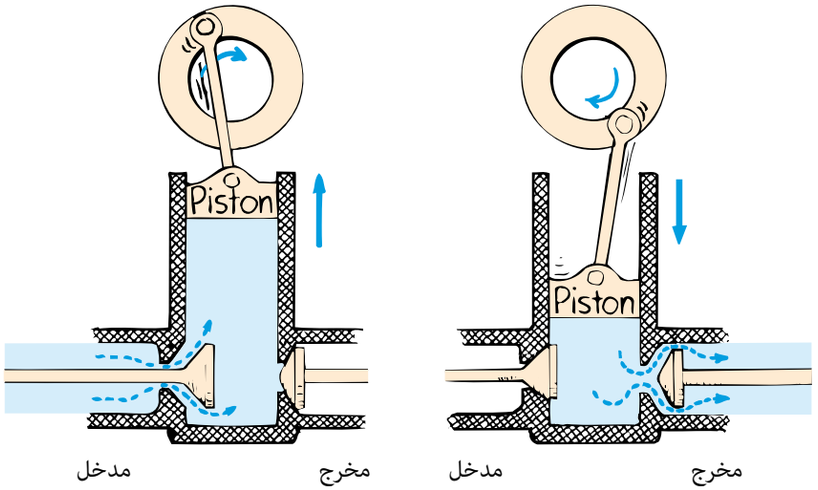
عند رفع مقبض المضخة إلى الأعلى فإنّ الهواء في الأنبوب يضعف عندما يتمدد ليملأ حجمًا أكبر. إنّ الضّغط الجوّيّ على جدران البئر يدفع الماء داخل الأنبوب مسبّبًا تدفّق الماء من الصّنبور.

وهناك أداة صغيرة محمولة تستخدم في قياس الضّغط الجوّيّ هي *البارومتر* اللاسائليّ، مبيّنة في الشّكل 28.5. وهي عبارة عن صندوق فلزّيّ مفرّغ جزئيًّا من الهواء مع غطاء مرن قليلًا بحيث يمكن أن ينحني إلى الداخل أو إلى الخارج عند حدوث تغيُّر في الضّغط الجوّيّ. تظهر حركة الغطاء على تدريج في نظام ميكانيكي مكوّن من زنبرك مع رافعة. ولأنّ الضغط الجوي يقلّ كلّما زاد الارتفاع فإنّنا نستطيع استخدام البارومتر لتحديد الارتفاع. يُسمى البارومترُ المعدنيّ المعاير (Calibrated) مع الارتفاع مقياسَ الارتفاع (الألتمتر). إنّ بعض هذه الأدوات حسّاس بما يكفي للإشارة إلى التّغيّر في الارتفاع عندما تمشي على درج*.

نستطيع تقليل ضغط الهواء بمضخات تعمل بفاعلية الغاز الذي يملأ حاوياتها. هناك حيّز ضغطه أقلّ، يتدفق الغاز من المنطقة ذات ضغط مرتفع إلى منطقة ذات ضغط منخفض، وببساطة، تعمل مضخّة التّفريغ على تفريغ منطقة ما ومن ثم الحصول على ضغط منخفض حيث تنتشر جزيئات الغاز بشكل سريع في تلك المنطقة. ويعاد تخفيض ضغط الهواء بعمل مكبس وصمام (الشّكل 29.5).



الشّكل 28.5
مقياس الضّغط اللاسائليّ (لا يحوي سائلًا).



الشّكل 29.5
مضخّة التّفريغ الميكانيكيّة. عند رفع المكبس يفتح صمام المدخل فيتحرك الهواء لملء الفراغ. وعندما يتحرك المكبس نحو الأسفل، فإنّ صمام المخرج ينفتح، ثمَّ يخرج الهواء إلى الخارج. ما الذي عليك تغييره لتحويل هذه المضخّة إلى ضاغطة هواء؟

* يعدّ البالون الصغير المملوء بالهيليوم ويرتفع في الهواء إثباتًا على اختلاف الضّغط الذي يمكن ملاحظته نتيجة التّغيّر في الارتفاع لمتر واحد أو أقلّ. وفي الحقيقة، فإنّ الغلاف الجوّيّ يدفع بقوة أكبر عند أسفل البالون ما هي عند أعلاه.

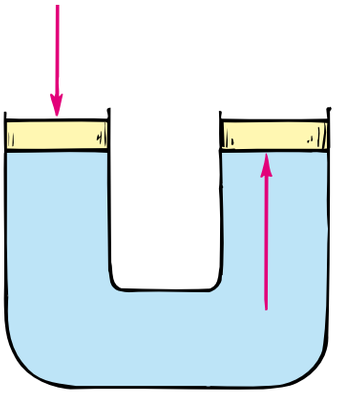
7.5 مبدأ باسكال

إنّ إحدى الحقائق الأكثر أهمية فيما يتعلق بضغط المائع، هي أنّ التّغيّر في الضّغط عند جزء من المائع ينتقل دون نقصان إلى الأجزاء الأخرى منه. فعلى سبيل المثال، إذا زاد ضغط خزّان مدينة بالماء عند محطة الضّخ بمقدار 10 وحدات ضغط فإنّ الضّغط في أنابيب نظام التّوصيل جميعها سيزداد بمقدار 10 وحدات ضغط (على أن يكون الماء في حالة سكون). وهذه القاعدة تسمى **مبدأ باسكال**.

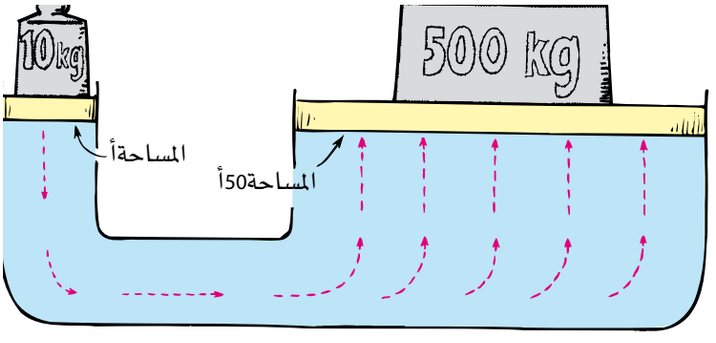
ينتقل التّغيّر في الضّغط عند أيّ نقطة في مائع محصور وساكن دون نقصان إلى أجزاء المائع جميعها.

ككتشف مبدأ باسكال في القرن السّابع عشر على يد العالم اللاهوتي بليس باسكال (Blaise Pascal). سمّيت وحدة الضغط في النظام الدولي SI باسمه. (حيث إنّ 1 باسكال = 1 نيوتن لكلّ متر مربع). 1 نيوتن/م^2 = 1Pa.

املأ أنبوبًا على شكل حرف U بالماء، وثبّت مكبسًا عند كلّ نهاية من نهايتيه. كما في الشّكل 30.5. إنّ الضّغط المؤثّر في المكبس الأيسر ينتقل خلال السّائل، وعلى أسفل المكبس الموجود في الجهة اليمنى. (ببساطة، تسُدُّ المكابس نهايتي المكبس وتنزلق بحرية مع إحكام إغلاق الأنبوب). كما أنّ الضّغط الذي يؤثّر به المكبس الأيسر في الماء يساوي تمامًا الضّغط الذي يؤثّر به الماء في المكبس الأيسر. ولكن إذا كان الأنبوب من الجهة اليمنى أوسع، وتمّ استخدام مكبس مساحته أكبر عند تلك الجهة فإنّ النتيجة ستكون مثيرة. في الشّكل 31.5 المكبس الأيمن له مساحة 50 ضعف مساحة المكبس الأيسر (ولنقل إنّ مساحة المكبس الأيسر 100 سم^2، ومساحة الأيمن 5000 سم^2). وبافتراض أننا وضعنا 10 كجم على المكبس الأيسر فسيكون هناك ضغط إضافيّ نتيجة وزن الكتلة ينتقل خلال السّائل؛ بحيث يؤثّر في المكبس الأيمن. وهنا نتساءل: من أين أتى الفرق بين القوة والضغط؟ إنّ الضّغط الإضافيّ يؤثر في كلّ سنتيمتر مربع من مساحة المكبس الأكبر؛ لأنّ مساحة المكبس الأكبر 50 ضعف مساحة المكبس الأصغر. وهكذا، فإنّ المكبس الأكبر قادر على حمل كتلة 500 كجم - 50 ضعف تلك التي على المكبس الأصغر!



الشّكل 30.5
إنّ القوة المؤثرة في المكبس الأيسر تزيد الضّغط في السّائل، وتنقله إلى المكبس الأيمن.

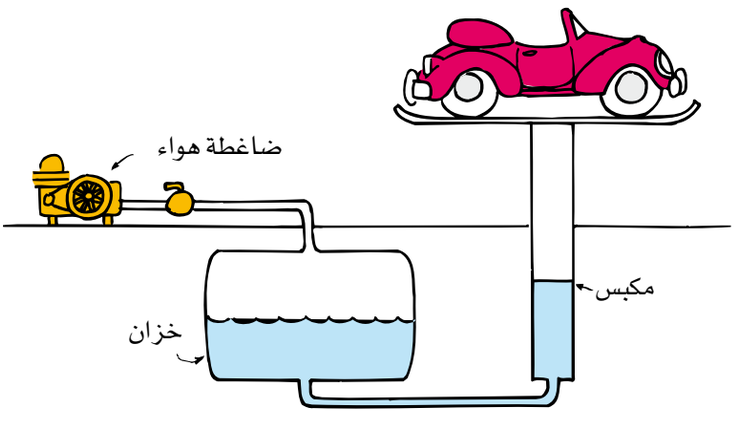


الشّكل 31.5
تدعم كتلة 10 كجم على المكبس الأيسر كتلة 500 كجم على المكبس الأيمن.

إنّ هذا هو ما يجب تناوله؛ وهو أنه يمكننا مضاعفة القوة باستخدام مثل هذه الأداة. ومن الممكن أن ينتج نيوتن واحد 50 نيوتن. وكلّما زدنا مساحة المكبس الأكبر أكثر فأكثر أو قلّلنا مساحة المكبس الأصغر، يمكننا مضاعفة القوة من حيث المبدأ عند أيّ لحظة. إنّ مبدأ باسكال يشكّل الأساس في عمل المكبس الهيدروليكيّ.

إنّ المكبس الهيدروليكيّ لا يتعارض عمله مع مبدأ حفظ الطاقة؛ لأنّ نقصان المسافة التي تتحركها مكوناته تلزم لزيادة القوة. في الشّكل 31.5 عندما يتحرك المكبس الصّغير مسافة 10 سم نحو الأسفل، فإنّ المكبس الأكبر يتحرك ما نسبته واحد إلى خمسين فقط من هذه المسافة، أي 0.2 سم. إنّ القوة المؤثرة في المكبس الصغير مضروبة في المسافة التي يتحركها تساوي القوة النّاتجة مضروبة في المسافة التي يتحركها المكبس الكبير. ويعدّ هذا مثالا آخر على الآلة البسيطة التي تعمل على المبدأ نفسه لعمل الرافعة الميكانيكيّة.

يطبّق مبدأ باسكال على الموائع جميعها سواء كانت غازات أو سوائل. ومن التّطبيقات النموذجيّة على مبدأ باسكال في الغازات والسّوائل رافعة السّيارات التي تستعمل في محطات خدمة السيارات (الشّكل 32.5). حيث تزيد ضغط الهواء الناتج عن الضّاغطة، ثمّ يُنقل خلال الهواء إلى سطح الزّيت الموجود في خزان تحت الأرض. وهنا يقوم الزّيت بنقل الضّغط إلى المكبس الذي يرفع السّيارة إلى الأعلى. إنّ الضّغط المنخفض نسبيًّا، والذي يؤثّر كقوة رفع في المكبس هو ضغط الهواء في إطارات السّيارة نفسه تقريبًا.



الشّكل 32.5
قاعدة باسكال في محطة خدمة السّيارات.

يستخدم علم الهيدروليّات (علم السّوائل أو الموائع المتحرّكة) في الأدوات الحديثة بدءًا من الصغيرة جدًّا وحتى الكبيرة جدًّا. ويمكن ملاحظة المكابس الهيدروليكيّة تقريبا في آلات البناء جميعها، حيث ترفع أوزانا ثقيلة (الشّكل 33.5).

الشّكل 33.5
يمكن تطبيق مبدأ باسكال على الآلات الهيدروليكيّة عمومًا، وبخاصّة الآلات الضّخمة.

■ **نقطة فحص**

1. لرفع السّيّارة في الشّكل 32.5، كيف يتغيّر مستوى الزّيت في الخزّان مقارنة مع المسافة التي ترتفعها السيارة؟
2. إذا أخبرك صديق إنّ الأداة الهيدروليكيّة هي طريقة عامة لمضاعفة القوة، فما ردّك؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. ترتفع السّيارة نحو الأعلى مسافة أكبر من المسافة التي ينخفضها مستوى الزيت لأنّ مساحة المكبس أصغر من مساحة سطح الزّيت في الخزّان.
2. لا؛ على الرّغم من أنّ الآلة الهيدروليكيّة كالرّافعة الميكانيكيّة لديها إمكانية مضاعفة القوة، إلا أنّها تقوم بذلك على حساب المسافة دائمًا. الطاقة هي حاصل ضرب القوة في المسافة. ولأنّ زيادة إحداهما تعني تقليل الأخرى، فإنه لا توجد آلة يمكنها *مضاعفة الطاقة*!

■ 8.5 الطّفو في الغازّ

يعيش سرطان الماء في قعر المحيط، وينظر إلى الأعلى صوب السّمك الهلاميّ وغيره من الأحياء البحرية الأخفّ من الماء التي تسبح فوقه. وهكذا نحن: نعيش في قعر محيط من الهواء، وننظر إلى الأعلى حيث البالونات والأجسام الأخفّ من الهواء تتحرك فوقنا. وكما أنّ البالون معلّق في الهواء، فإنّ السّمك الهلاميّ معلّق في الماء للسّبب نفسه: كلّ منهما يدفع بقوة طفو إلى الأعلى تزيح وزنًا من المائع يساوي وزنها. تخضع الأجسام في الماء لتأثير قوة طفو إلى الأعلى؛ لأنّ الضّغط المؤثّر في السّطح السّفليّ للأجسام نحو الأعلى يزيد على الضّغط المؤثر في السّطح العلويّ للأجسام نحو الأسفل. وبالمثل، فإنّ ضغط الهواء المؤثّر إلى الأعلى في الأجسام المغمورة في الهواء يكون أكبر من الضّغط المؤثّر في الأجسام نحو الأسفل. كما أنّ قوّة الطّفو في كلتا الحالتين تساوي وزن المائع المزاح عدديًّا. ويمكننا تطبيق قاعدة أرخميدس على الهواء كما على الماء تمامًا:

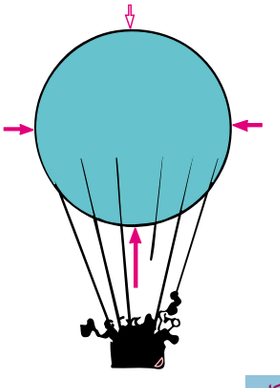
أيّ جسم محاط بالهواء يقع تحت تأثير قوة طفو إلى الأعلى تساوي وزن الهواء المزاح.

نحن نعلم أنّ كتلة متر مكعّب من الهواء عند ضغط جوّيّ عاديّ ودرجة حرارة الغرفة تساوي 1.2 كجم . وعليه، فإنّ وزنه يساوي 12 نيوتن تقريبًا. وهكذا، فإنّ جسمًا حجمه 1م^3 في الهواء يتأثر بقوة طفو 12 نيوتن. إذا كانت كتلة هذا الجسم الذي حجمه 1م^3 أكبر من 1.2 كجم (وزنه أكبر من 12 نيوتن) فإنه سيسقط نحو الأرض عندما يُترك. وإذا كان هناك جسم بهذا الحجم، ولكن كتلته أقلّ من 1.2كجم، فإنّ قوة الطّفو عليه تكون أكبر من وزنه. ولهذا، فإنه سيرتفع في الهواء. إنّ أيّ جسم كتلته أقلّ من كتلة حجمه من الهواء سيرتفع في الهواء. وبتعبير آخر، فإنّ أيّ جسم كثافته أقلّ من كثافة الهواء سيرتفع في الهواء. إذن، كثافة البالون المملوء بالغاز الذي يرتفع في الهواء أقلّ من كثافة الهواء.

إذا كان البالون فارغًا تمامًا من الغاز، فهذا يعني أن لا وزن له (ما عدا وزن مادة البالون فقط). ولكن هذا البالون سينكمش بسبب الضّغط الجوّيّ. يعدّ الهيدروجين أخفّ الغازات، ولكنه نادر الاستعمال بسبب قابليته العالية للاشتعال. الغاز الموجود داخل البالون يحول دون انكماشه تحت تأثير الضّغط الجوّيّ. أمّا الغاز المستخدم في البالونات الرّياضيّة فهو ببساطة هواء ساخن. يستخدم غاز الهيليوم عادة في البالونات التي نرغب في أن ترتفع عاليًا، أو تبقى في الفضاء فترات زمنية طويلة. إنّ كثافة الهيليوم قليلة، بحيث إنّ وزنَي البالون والهيليوم معًا أقلّ من وزن الهواء المزاح. يستخدم الغاز ذو الكثافة القليلة في البالون للسّبب نفسه الذي يستخدم فيه فِلِّين الحافظات. ليس للفِلِّين قابلية الغوص تحت سطح الماء، كما الغاز ليس له ميل للارتفاع. إنّ كلًّا من الفِلِّين والغاز يتأثّران بقوة طفو إلى الأعلى كأيّ شيء آخر. وببساطة، فإنهما خفيفان لدرجة أنّ قوة الطّفو المؤثّرة فيهما ذات أهمية.

لمعلوماتك

■ كان باسكال معتلّ الصّحّة وهو في الثّامنة عشرة من العمر، وبقي كذلك حتى وافته المنيّة وهو في سنّ التّاسعة والثّلاثين. وقد صنّف على أنّه عالِم لأنّه مؤسّس الهيدروليكا التي غيّرت تقنية الطّبيعة أكثر ما تصور. كما أنّه يعدّ لاهوتيًّا بسبب ما كان يؤمن به من مزاعم، وخصوصًا فيما يتعلق بالطّبائع الإنسانيّة؛ ومن هذه المزاعم قوله: لايقترف الناس فعل الشّر ويتمنونه بابتهاج كما لو قاموا به بناءً على معتقد دينيّ.



الشّكل 34.5
تُدفع الأجسام جميعها إلى الأعلى بقوة تساوي وزن الهواء الذي تزيحه. إذن لماذا لا تطفو الأجسام جميعها كالبالون؟

وبعكس الماء، فإنّ أعلى الغلاف الجوّيّ ليس محدّدًا تماما بسطح. ومع ذلك، وعلى خلاف الماء، فإنّ كثافة الغلاف الجوّيّ تقلّ مع الارتفاع. وفي حين يطفو الفِلِّين على سطح الماء، فإنّ البالون المليء بغاز الهيليوم لا يرتفع إلى أيّ سطح غلاف جوّيّ. هل يصعد بالون الغاز الأخفّ من الهواء إلى ارتفاع غير معروف؟ ما الارتفاع الذي يصل إليه البالون؟ يمكننا صياغة الإجابة بعدة طرق: يرتفع البالون المليء بالغاز ما دام وزن الهواء المزاح أكبر من وزن البالون. ولأنّ الهواء يصبح أقلّ كثافة مع الارتفاع، فإنّ وزن حجم الهواء المزاح يكون أقلّ كلّما ارتفع البالون مسافة أكثر. وعندما يكون وزن الهواء المزاح مساويًا لمجموع وزن البالون فإنّ حركة البالون إلى الأعلى تتوقف. ويمكننا القول كذلك أنّه عندما تكون قوة الطّفو على البالون مساويةً لوزنه فإنّ البالون يتوقف عن الارتفاع. وبالمثل، عندما تكون كثافة البالون (بما يحويه) مساوية لكثافة الهواء المحيط به فإنّ البالون يتوقف عن الصعود. عادةً، ينقضي بعض الوقت على إطلاق البالون المطّاطيّ اللعبة المليء بالهيليوم إلى الهواء، وعند تمدّد الهيليوم الموجود داخله، فإنّه يقلّص المطاط حتى يتمزّق البالون.

■ نقطة فحص

هل تؤثّر قوة الطّفو فيك؟ إذا كان الأمر كذلك، فلِمَ لا ترفعك هذه القوة إلى الأعلى؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ قوة الطّفو تؤثّر فيك، وأنت تخضع لتأثيرها في اتجاه الأعلى. ولكنك لا تعيرها اهتمامًا؛ لأنّ وزنك أكبر منها كثيرًا.

تصمّم المناطيد الطّائرة ذوات المحركات، والمليئة بالهيليوم، بحيث إنه عند ملئها ترتفع ببطء في الهواء. وهذا يعني أنّ اوزانها قائمة (مع حمولتها) أقلّ قليلًا من وزن الهواء المزاح. وعندما تتحرك، يتم التّحكم فيها صعودًا وهبوطًا بمصاعد أفقيّة.

وهكذا، فإننا اعتبرنا أنّ الضغط ينطبق على الموائع السّاكنة فقط؛ الحركة تنتج تأثيرًا إضافيًّا.

■ 9.5 قاعدة برنولي

افترض أنّ مائعًا (سائلًا أو غازًا) يتدفّق بصورة مستمرّة خلال أنبوب؛ حجم المائع المتدفّق، والذي يتجاوز أيّ مساحة مقطع خلال فترة زمنية معينة يكون له الحجم المتدفّق نفسه عندما يتجاوز أيّ مساحة مقطع آخر من الأنبوب في الفترة الزمنيّة نفسها، حتى لو كان الأنبوب أضيق. وفيما يتعلّق بالتّدفّق المستمرّ، فإنّ سرعته تزداد إذا كانت حركة السّائل من الجزء الأوسع إلى الجزء الأضيق من الأنبوب. ويعدّ هذا إثباتًا على التّوسع؛ فالنهر البطيء في جريانه يصبح ذا تدفّق سريع عندما يدخل منطقة ضيقة. ويظهر ذلك واضحًا عند تدفق الماء خلال خرطوم المياه، حيث تزداد سرعة تدفق الماء فيه إذا ضُغطت نهايته لجعل تياره أضيق.

إنّ حركة المائع في الجريان الثّابت يتبع خطوط جريان يمكن تمثيلها بخطوط *رفيعة* في الشّكل 35.5. وفي الأشكال الأخرى اللاحقة، تعدّ خطوط الجريان مسارات ناعمة للأجزاء الصغيرة المكوّنة للسّائل. تكون الخطوط قريبة بعضها من بعض في مناطق الجريان الضّيقة حيث تكون سرعة الجريان أكبر. (تشاهَد خطوط الجريان عند تدفّق دخان أو مائع مرئيّ بحيث تكون هذه الخطوط متباعدة بشكل متجانس كما في حالة نفق الرّياح).

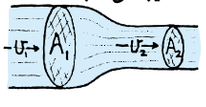
لمعلوماتك

■ إذا كان مسموحًا للبالون بالتّمدد عندما يرتفع، فإنه يصبح أكبر. ولكن كثافة الهواء المحيط به تقلّ. وهكذا، فمن المدهش أنّ حجمًا أكبر من الهواء المزاح لا يزن أكثر. وعليه، فإنّ قوة الطّفو تبقى كما هي! ولكن إن لم يسمح للبالون بالتّمدد فإنّ قوة الطّفو تقلّ عندما يرتفع البالون؛ لأنّ كثافة الهواء المزاح تكون أقلّ. عادةً، تتمدد البالونات عندما ترتفع. وإن لم تتمزق، فإنّ تمدّدها يصلّ إلى الحدّ الذي تتوافق قيمة قوة الطّفو مع وزن البالون.

الشّكل 35.5
تزداد سرعة جريان ماء الغدير عندما يجري الماء في الجزء الضّيق أو الضّحل منه ؛ لأنّ الجريان متصل.

لمعلوماتك

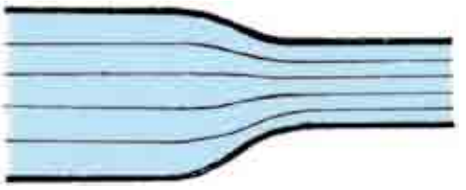
■ إنّ سرعة التّدفّق v تكون أكبر عند المساحة الأصغر. في حين تكون سرعة التّدفّق أقلّ عندما تكون المساحة أكبر. والسّبب في هذا أنّ حجم الماء المتدفق من أنبوب ذي مقاطع بمساحات A مختلفة يبقى ثابتًا.



وهذا موضّح في معادلة الاستمراريّة الآتية:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

حاصل ضرب $A_1 v_1$ عند النقطة 1 يساوي حاصل الضرب $A_2 v_2$ عند النقطة 2.



الشّكل 36.5
تزداد سرعة جريان الماء عندما يجري في الجزء الضّيق من الأنبوب. خطوط الجريان المتراصّة دليل على زيادة السّرعة ونقصان الضّغط الدّاخليّ.

لقد درس العالِم السّويسريّ دانييل برنولي (Daniel Bernoulli) في القرن الثّامن عشر جريان المائع في الأنابيب. وهذا ما يعرف الآن **بقاعدة برنولي** التي يمكن صياغتها كالتالي:

كلّما زادت سرعة المائع قلّ ضغط المائع الدّاخليّ.

حيثما تكون خطوط جريان المائع قريبة بعضها من بعض، فإنّ سرعة الجريان تكون أكبر ويكون الضّغط في المائع أقلّ. إنّ تغيرات الضّغط الدّاخليّ مؤشر على وجود فقاعات هواء في الماء. ويعتمد حجم فقاعات الهواء على ضغط الماء المحيط بها. وكلّما زادت سرعة الماء يقلّ الضّغط، مما يؤدي إلى زيادة حجم هذه الفقاعات. وفي حالة تباطؤ حركة الماء فإنّ الضّغط يزداد، لذا فإنّ الفقاعات تتقلّص ويقلّ حجمها.

قاعدة برنولي هي نتيجة لحفظ الطّاقة، على الرّغم من أنه توصّل إلى هذه القاعدة قبل صياغة مبدأ الطّاقة بوقت طويل*. إنّ الصّورة الكاملة للطّاقة في المائع المتحرك معقدة إلى حدّ كبير. وبتعبير بسيط، فإنّ زيادة السّرعة، ومن ثم الطّاقة الحركيّة تعني نقصان الضّغط. أمّا زيادة الضّغط فتعني نقصان السّرعة، أي نقصان طاقة الحركة.

تطبّق قاعدة برنولي على الجريان السّلس المستقر (الجريان الصّفحيّ) (Laminar Flow) للمائع ذي الكثافة الثّابتة. وعند سُرعة أعلى من قيمة حرجة يصبح الجريان عشوائيًّا (chaotic)، ويسمى جريانًا *اضطرابيًا*. ويتبعه تغيير في المسارات يسمّى دوامات. وهذا يؤثر بقوة احتكاك في المائع، مستهلكًا بعض الطّاقة. وهكذا فإنّ معادلة برنولي لا تنطبق بصورة جيدة.

إنّ نقصان ضغط المائع مع زيادة السّرعة يمكن أن يكون مدهشًا للوهلة الأولى، وخصوصًا إذا أخفقت في التّمييز بين الضّغط خلال المائع والضّغط الدّاخليّ. وكذلك الضّغط من المائع على شيء ما يعترض جريانه. إنّ الضّغطَ الدّاخليّ خلال الماء المتدفق والضّغط الخارجيّ المؤثّر في الماء ضغطان مختلفان. عندما يقلّ زخم ماء متحرك أو أيّ مائع آخر فجأة فإنّ دفع القوة المؤثر يكون هائلًا نسبيًّا. ومثال ذلك استخدام ماء متدفّق بسرعة عالية لقطع المعادن في المعامل الحديثة. وعلى الرّغم من أنّ الضّغط الدّاخليّ للماء قليل، إلا أنّ ضغطَ خطوطه التي تؤثر في المعدن الذي يعترض جريانه هائلٌ.

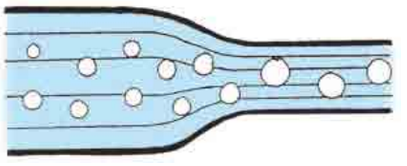
تطبيقات على قاعدة برنولي

أمسك ورقة أمام فمك، كما في الشّكل 38.5، وانفخ على طول السّطح العلويّ للورقة، ستشاهد عندئذٍ أنّ الورقة ترتفع؛ لأنّ الضّغط الدّاخليّ للهواء المتحرك على السّطح العلويّ للورقة أقلّ من الضّغط الجوّيّ حولها.

إنّ أيّ من يركب سيارة ذات سقف قماشيّ يلاحظ أنّ السّقف ينفث (أو يدفع) الهواء إلى الأعلى كلّما تحركت السيارة. هذه هي قاعدة برنولي مرة أخرى. إنّ الضّغط في الخارج – عند السّطح العلويّ، حيث يتحرك الهواء –أقلّ من الضّغط الجوّيّ السّاكن على السّطح الداخليّ.

لمعلوماتك

- يسمّى احتكاك السّوائل والغازات المنزلقة بعضها فوق بعض لزوجة، وهي خاصية للموائع جميعها.

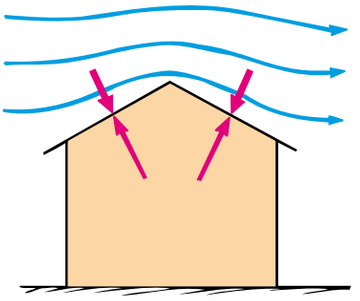


الشّكل 37.5
يكون الضّغط الدّاخليّ أكبر في الماء المتحرك ببطء في الجزء الواسع من الأنبوب كما هو واضح من فقاعات الهواء الصّغيرة. في حين تكون الفقاعات أكبر في الجزء الضيق من الأنبوب؛ لأنّ الضّغط الدّاخليّ قليل.

بالرجوع إلى الفصل الثالث، فإنّ التغيّر الكبير في الزّخم يتعلق بدفع قوة كبير. لذا فإنّ الماء المتدفق من خرطوم المياه الذي يستعمله رجل الإطفاء قد يعطّل قدميك إذا اصطدمتا به؛ هذا مدهش. إنّ الضّغط خلال الماء قليل نسبيًّا!

الشّكل 38.5
ترتفع الورقة عندما ينفخ على طول سطحها العلويّ.

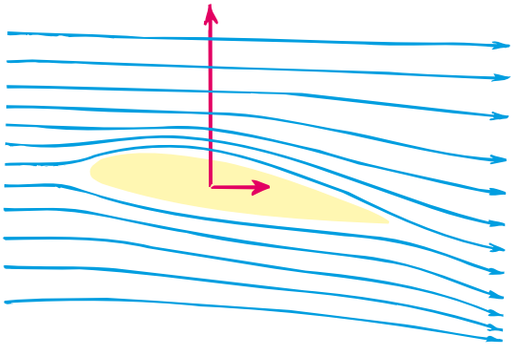
* في الصّيغة الرّياضيّة $\frac{1}{2}mv^2 + mgy + pV$ = ثابت (على خطوط الجريان)، حيث تشير m إلى كتلة حجم صغير V، أمّا v فتشير إلى سرعته، في حين تمثّل g التّسارع النّاجم من الجاذبية، أما y فتعني الارتفاع، في حين تدلّ p على الضّغط الدّاخليّ. وبالتعبير عن m بدلالة الكثافة ρ حيث $\rho = m/V$، وبقسمة كلّ حدّ على V، فإنّ معادلة برنولي يمكن صياغتها كما يلي: $p + \rho gy + \frac{1}{2}\rho v^2$ = ثابت. وهكذا، فإنّ هذه الحدود جميعها لها وحدة ضغط. إذا كانت y ثابتة، فإنّ زيادة v تعني نقصان p والعكس صحيح. لاحظ أنه إذا كانت v صفرًا، فإنّ معادلة برنولي تؤول إلى الشّكل $\Delta p = \rho g \Delta y$ (الكثافة الوزنيّة × العمق).



الشّكل 39.5
إنّ ضغط الهواء فوق السّطح أقلّ من ضغط الهواء على جانبيه.

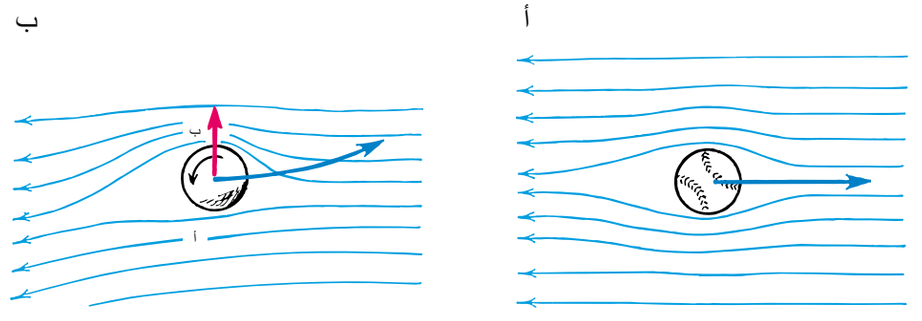
وإذا افترضنا أنّ الرّيح تهبّ على طول السّقف الحادّ (شكل زاوية) فإنّها تكتسب سرعة عندما تهبّ فوق السّطح كما هو واضح من خطوط التّيّار المتراصّة في الشّكل 39.5. يقلّ الضّغط على طول خطوط التّيّار عندما تكون الخطوط قريبة بعضها من بعض. إنّ زيادة الضّغط داخل السّقف قد يكون السّبب في اقتلاعه. ولهذا يجب ألا يكون الفرق كبيرًا بين ضغطي الدّاخل والخارج خلال وجود عاصفة قوية. حتى أنّ فرقا قليلا في الضغط على مساحة كبيرة ينتج قوّة قد تكون هائلة.

إذا فكرنا في السّقف المقلوع كجناح طائرة، أمكننا فهم قوة الرّفع للطّائرة الثّقيلة بشكل أفضل. في كلتا الحالتين، يدفع الضّغط العالي تحت السّقف أو الجناح إلى المناطق التي يكون فيها الضّغط فوق السّطح أقلّ. وهناك تصاميم عديدة للأجنحة، يجمعها شيء مشترك هو أن يكون انسياب الهواء فوق سطح الجناح أسرع من انسيابه من الأسفل. ويتحقّق هذا عن طريق إمالة الجناح، وهذا ما يسمى زاوية الهجوم. ينساب الهواء أسرع فوق السّطح للسبب نفسه الذي ينساب فيه الهواء أسرع في الأنابيب الضيقة أو أيّ من المناطق المتقلصة الأخرى. في معظم الأحيان، وليس دائمًا، يزداد الفرق في سرعات انسياب الهواء فوق الجناح وأسفله باختلاف انحناء السّطح العلويّ والسّفليّ للجناح أو تقوّسه. وتكون النّتيجة زيادةَ ازدحام خطوط الهواء على طول السّطح العلويّ أكثر منها على السّطح السّفليّ للجناح. ومن هنا يتمّ الحصول على قوة تدفع إلى الأعلى؛ أي الرّفع. يزداد الرفع كلّما زادت مساحة سطح الجناح. وكذلك كلّما حلّقت الطّائرة بسرعة كبيرة. تكون مساحة سطح جناح الطّائرة الشّراعيّة كبيرة بالنسبة إلى وزنها. ولهذا، فهي ليست بحاجة إلى الطّيران بسرعة كبيرة للحصول على قوة رفع كافية. وفي الجانب الآخر، نلاحظ أنّ مساحةَ جناح الطّائرة المقاتلة المصمّمة للطيران بسرعة عالية صغيرةٌ بالنسبة إلى وزنها. واستنادا إلى ذلك، عليها الإقلاع والهبوط بسرعات عالية.



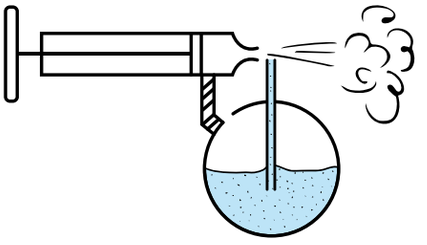
الشّكل 40.5
يمثّل المتجهُ العموديّ القوةَ المحصلة إلى الأعلى (رفع)، والناتجة عن ضغط هواء أكبر عند أسفل الجناح من ضغط الهواء فوقه. ويمثّل هذا المتّجه الأفقيّ سحب الهواء.

إنّ رامي كرة البيسبول يمكنه رمي الكرة بطريقة بحيث تنحني إلى أحد الجوانب عندما تقترب من القاعدة الرّئيسة، عن طريق منح الكرة برمًا كبيرًا. وبالمثل، يمكن أن يضرب لاعب التّنس الكرة بحيث تنحني مثل هذا الانحناء. تسحب طبقة رقيقة من الهواء حول الكرة المبرومة بالاحتكاك. وهذا شائع في لعبة كرة البيسبول و التّنس. تنتج الطبقة المتحركة من الهواء خطوط هواء مزدحمة على أحد الجوانب، الشّكل 41.5ب. إن الخطوط أكثر ازدحامًا عند ب منها عند أ لاتجاه البرم المبين. وإنّ ضغط الهواء أكبر عند أ، لذا تنحني الكرة كما هو مبين.



الشّكل 41.5
(أ) تكون خطوط الجريان هي نفسها على جانبي الكرة التي لا تدور. (ب) تنتج الكرة التي تدور خطوط جريان مكتظة. تسبب قوة الرفع الناتجة (السّهم الأحمر) انحناء في حركة الكرة (السّهم الأزرق).

حركة الهواء بالنسبة للكرة

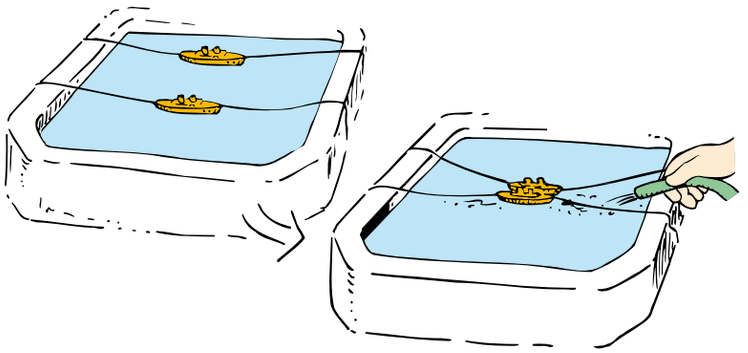


الشّكل 42.5
لماذا يرتفع السّائل من الخزان إلى الأنبوب؟

لقد أظهرت الدّراسات الحديثة أنّ معظم الحشرات تزيد من قوة رفعها بتوظيف حركات مشابهة لتلك التي لكرة البيسبول المنحنية. ومن المدهش أنّ معظم الحشرات لا ترفرف بأجنحتها إلى الأعلى وإلى الأسفل، بل ترفرف بأجنحتها إلى الأمام والخلف وبإمالتها حيث يزوّدها هذا بزاوية الهجوم. وفي أثناء عملية الرّفرفة، تنتج الأجنحة حركات شبه دائريّة لتتزوّد بعملية الرّفع.

يستخدم مِرذاذ (بخّاخ) العطر المألوف مبدأ برنولي (Bernoulli). فعندما يُضغط عليه من الأعلى، يندفع الهواء عبر النهاية المفتوحة للأنبوب المغموس في العطر. وهذا يقلّل من الضّغط في الأنبوب. وعندئذٍ، فإنّ الضّغط الجوّيّ على السّائل في الأسفل يدفعه إلى الأنبوب، حيث يُحمل بعيدًا بتيار الهواء.

يفسِّر مبدأ برنولي لِمَ تسحب الشّاحنات بعضها بعضًا عندما تسير متقاربة على الطريق السّريع. وكذلك سبب تعرّض السّفن إلى الاصطدامات الجانبية. ينساب الماء بين السّفن بشكل أسرع من الماء الذي على الجوانب الخارجية الأخرى. وتكون التيارات بين السّفن أقرب بعضها إلى بعض من التيارات التي في الجوانب الخارجية، وهكذا ينقص تأثير ضغط الماء على هيكلها. وإن لم توجّه دفّة السّفينة لمعادلة هذا الضّغط فإنّ الضّغط الزّائد على الجوانب الخارجيّة للسّفن يجبرها على الاقتراب بعضها من بعض. ويبين الشّكل 43.5 تجربة ذلك في مغسلة المطبخ، أو في حوض الاستحمام.



الشّكل 43.5
جرّب ذلك في مغسلتك. إذا تركت قاربين (لعبة) مربوطين بحبلين غير مشدودين، ثمَّ وجّهت مصدر مياه بينهما، فستلاحظ أنّهما يتقاربان ويصطدمان. لماذا؟

يؤدّي مبدأ برنولي دورًا صغيرًا عندما تتأرجح ستارة حمامك نحوك عندما يكون التيّار المائي قويًّا. يقلّ الضّغط في حجيرة الحمّام عندما يتحرك المائع (الماء)؛ لأنّ الضّغط خارج ستارة الحمام أكبر منه نسبيًّا داخلها، فتندفع الستارة نحو الداخل. ويعدّ هذا أحد مبادئ الفيزياء العملية. والأهم من ذلك هو حمل الهواء في الحمَّام. وعلى أيّ حال، عندما تستحم وتتأرجح السّتارة مقابل قدميك في المرة القادمة، فكّر في مبدأ برنولي.

ينقص الضّغط في حجيرة الحمَّام عندما يكون السّائل متحرّكًا، ويدفع الضّغط الزّائد خارج السّتارة إلى الدّاخل.

الشّكل 44.5
إنّ الشّكل المنحني للمظلة قد يكون ضارًّا في يوم عاصف.

■ **نقطة فحص**

1. في يوم عاصف، يكون ارتفاع الأمواج في البحيرة أو المحيط أعلى من معدّل ارتفاعها. كيف يساهم مبدأ برنولي في زيادة الارتفاع؟
2. تعمل المناطيد، والطّائرات، والصّواريخ وفق ثلاثة مبادئ مختلفة، أيّها يعمل بطريقة: أ- الطّفو ب- مبدأ برنولي ج- قانون نيوتن الثّالث؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. تكون بطون الموجات محميّة من الرّيح، وهكذا ينتقل الهواء أسرع فوق القمم. ينقص الضّغط عند القمم أكثر منه أسفل البطون. ويدفع الضّغط الكبير عند البطون الماء حتى إلى القمم العالية.
2. تعمل المناطيد بطريقة الطّفو، في حين تعمل الطّائرات وفق مبدأ برنولي، أمّا الصّواريخ فتستند في عملها إلى قانون نيوتن الثّالث. والمدهش أنّ قانون نيوتن الثالث يؤدّي دورًا مهمًّا في تحليق الطّائرة؛ يدفع الجناحُ الهواءَ إلى الأسفل، ثمّ يدفع الهواءُ الجناحَ إلى الأعلى.

ملخّص المصطلحات

الكثافة Density: كمية المادة في وحدة الحجم.

الكثافة = الكتلة / الحجم

الكثافة الوزنية هي الوزن في وحدة الحجم.

الضّغط Pressure: النسبة بين القوة والمساحة التي تتوزع عليها القوة:

الضّغط = القوة / المساحة

ضغط السّائل = الكثافة الوزنيّة × العمق

قوة الطّفو Buoyant force: محصلة القوة إلى الأعلى التي يؤثر بها السائل في جسم مغمور فيه.

قاعدة أرخميدس Archimedes' principle: عندما يُغمر جسمٌ في مائع فإنّه يتأثر بقوة طفو إلى الأعلى تساوي وزن المائع المزاح (لكلّ من الغازات والسوائل).

مبدأ العوم Principle of flotation: الجسم العائم على سطح مائع يزيح من المائع مقدارَ وزنه.

قانون بويل Boyle's law: حاصل ضرب الضغط في الحجم يكون ثابتًا لكتلة ما من غاز محصور بغض النظر عن تغيّر أيّ منهما بشكل منفرد ما دامت درجة الحرارة ثابتة:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

الضّغط الجوّيّ Atmospheric pressure: الضّغط المؤثّر على الأجسام المغمورة في الغلاف الجوي الناتج عن وزن الهواء الموجود فوق هذه الأجسام. ويساوي 101 كيلو باسكال تقريبًا عند مستوى سطح البحر.

مقياس الضّغط الجوّيّ Barometer: أيّ أداة تُستخدم لقياس الضّغط الجوّيّ.

قاعدة باسكال Pascal's principle: ينتقل التّغيّر في الضّغط عند أيّ نقطة في مائع محصور وساكن إلى أجزاء المائع جميعها.

قاعدة برنولي Bernoulli's principle: يتحرّك الضّغط في مائع بثبات ودون احتكاك أو تغيّر في طاقته الداخلية، ويقلّ بزيادة سرعة المائع.

أسئلة مراجعة

1. اذكر مثالين على الموائع.

1.5 الكثافة

2. إذا تقلّص رغيف من الخبز، فماذا يحصل لكلّ من حجمه، وكتلته، وكثافته؟
3. ميّز بين الكثافتين الكتليّة والوزنيّة. ما كثافة الماء الكتلية والوزنية؟

2.5 الضّغط

4. ما الفرق بين القوة والضّغط؟
5. كيف يتغير الضّغط داخل السّائل مع العمق؟ كيف يتغير الضّغط المؤثر من السّائل بتغير كثافته ؟
6. مع إهمال الضّغط الجوّيّ، إذا كنت تسبح على عمق مضاعف، فما الزيادة في ضغط السّائل المؤثّر في أذنيك؟ وإذا كنت تسبح في ماء مالح، فهل يكون الضّغط أكثر من الضّغط في حالة الماء العذب وعند العمق نفسه ؟ لماذا؟
7. ما ضغط الماء على عمق متر واحد في بركة صغيرة مقارنة بضغط الماء على العمق نفسه في بركة ضخمة؟
8. إذا ثقبت وعاءً مليئًا بالماء من أحد جوانبه. ففي أيّ اتجاه سيتدفق الماء نحو الخارج في البداية؟

3.5 الطّفو في السّائل

9. لماذا تؤثّر قوة الطّفو إلى الأعلى في جسم مغمور في الماء؟
10. كيف يمكنك المقارنة بين حجم جسم مغمور كليًّا في الماء وحجم الماء المزاح؟

4.5 قاعدة أرخميدس

11. اذكر نصّ قاعدة أرخميدس؟
12. ما الفرق بين ينغمر و يغوص؟
13. ما قوّة الطّفو على جسم مغمور كليًّا مقارنة بوزن السّائل المزاح؟
14. ما كتلة لتر واحد من الماء بوحدة الكيلوجرام؟ ما وزنه بوحدة النيوتن؟
15. إذا غمر نصف وعاء حجمه لتر واحد في الماء، فما حجم الماء المزاح؟ ما قوّة الطّفو المؤثّرة في الوعاء؟
16. علام تعتمد قوّة الطّفو على الجسم العائم: على وزنه، أم على وزن السّائل الذي أزاحه؟ أم هل كلا الوزنين هو نفسه لحالة خاصة من الطّفو؟ وضّح أجابتك.
17. ما وزن الماء المزاح الناتج عن طفو سفينة كتلتها 100 طنّ؟ ما قوة الطّفو التي تؤثّر في السّفينة؟

5.5 الضّغط في الغاز

18. ما الزّيادة في كثافة غاز عند ضغطه إلى نصف حجمه؟
19. ماذا يحدث لضغط الهواء داخل بالون عندما يتقلّص إلى نصف حجمه عند درجة حرارة ثابتة؟

6.5 الضّغط الجوّيّ

20. ما الكتلة التّقريبيّة بوحدة الكيلوجرام لعمود من الهواء مساحة مقطعه 1سم^2، ويرتفع من سطح البحر إلى نهاية الغلاف الجوّيّ؟ ما وزن هذه الكميّة من الهواء بالنيوتن؟
21. ما الضغط إلى الأسفل الذي يؤثّر به عمود من الهواء أسفل الغلاف الجوّيّ؟
22. كيف يمكن مقارنة وزن الزّئبق في أنبوب جهاز قياس الضّغط الجوّيّ مع وزن عمود هواء له مساحة المقطع نفسها، ويرتفع من مستوى سطح البحر إلى أعلى الغلاف الجوّيّ؟
23. لماذا يجب أن يكون طول عمود الماء في جهاز قياس الضّغط الجوّيّ 13.6 ضعفًا مقارنةً بجهاز قياس الضّغط الجوّيّ الزّئبقيّ؟
24. عندما تشرب سائلًا بماصّة، فأيّ القولين أكثر دقة: السّائل يندفع داخل الماصّة أم أنه يُمتَّص؟ ما الذي يقوم بعملية الدّفع بالضّبط؟ وضِّح إجابتك.

7.5 مبدأ باسكال

25. ماذا يحدث للضّغط في جميع أجزاء مائع محصور عندما يزيد الضّغط عند جزء من أجزائه؟
26. هل تشترط قاعدة باسكال طريقة للحصول على طاقة من الآلة أكثر من تلك التي تُعطى لها؟ وضِّح إجابتك.

8.5 الطّفو في الغاز

27. بالون وزنه نيوتن واحد معلّق في الهواء، لا يرتفع ولا يهبط. ما قوة الطّفو المؤثّرة فيه؟ ماذا سيحدث إذا زادت قوة الطّفو أو نقصت؟

9.5 قاعدة برنولي

28. ما خطوط الدّفق؟ هل يكون الضّغطُ أكبر في المناطق التي تكون فيها خطوط الدّفق مكتظّة أم أقلّ؟
29. هل تنطبق قاعدة برنولي على تغيّرات الضّغط الدّاخليّ في المائع، أم على الضّغوط التي يمكن أن يؤثّر بها المائع في الأجسام التي يقابلها؟
30. ما الذي تفعله أعالي السّطوح الحادّة أو أجنحة الطّائرات عندما يتحرك الهواء بسرعة أكبر عند سطوحها العلويّة؟

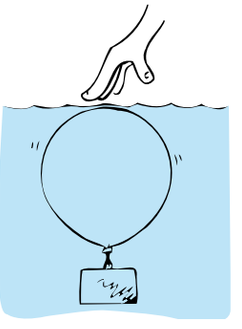
تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

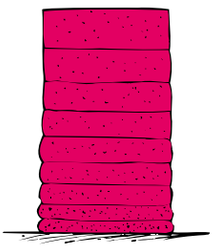
1. ● قف على ميزان واقرأ وزنك. إذا رفعت إحدى قدميك إلى الأعلى ووقفت على قدم واحدة، فهل تتغيّر القراءة؟ ماذا يقرأ الميزان: القوّة أم الضّغط؟
2. ● تظهر الصّورة مدرس الفيزياء مارشال إلنشتين في غرفة الصّفّ حافي القدمين على زجاج قوارير مكسَّرة. ما المبدأ الفيزيائي الذي يرغب إلنشتين في توضيحه؟ ولِمَ أصرّ أن تكون قطع الزّجاج صغيرة وكثيرة العدد؟ (الأشرطة المساعدة على قدميه للدّعابة!)

3. ● عندما يغوص حوت في عمق الماء فإنه ينضغط بشكل يمكن إدراكه تحت تأثير ضغط الماء المحيط به. ماذا يحدث لكثافة الحوت؟
4. ● لا تتغيّر كثافة الصّخرة عندما تغمر في الماء. هل تتغير كثافتك عندما تغوص في الماء؟ وضِّح إجابتك.
5. ● لماذا يكون ظهور التّقرّح على أجسام الأشخاص الذين يستخدمون الفرشة المائية أقلّ احتمالًا من أولئك الذين يستخدمون فُرُش النوم العادية؟
6. ● عندما تفتح صنابير المياه في الطّوابق العلويّة والسّفليّة، هل يكون تدفّق المياه في وحدة الزمن من صنابير المياه في الطّوابق السّفليّة أكثر، أم يكون حجم الماء المتدفّق من الصّنابير هو نفسه؟
7. ■ أيّهما يُفترض أنه يؤثّر بضغط أكبر في الأرض: فيل أم فتاة تقف على كعب حذائها الحادّ؟ (أيّهما يكون أكثر احتماليّة لإحداث نتوء في الأرضيّة المشمّعة؟) هل يمكنك إجراء حساب تقديريّ لكلّ حالة؟
8. ■ افترض أنّك ترغب في وضع أساس مستو لبيت على تل أو غابة مكتظّة بالأشجار. كيف يمكنك استخدام خرطوم حديقة مليء بالماء لتعيين ارتفاعات متساوية عند نقاط متباعدة؟
9. ● عندما تسبح بالقرب من شاطئ رمليّ، لماذا يكون أذى الرّمل على قدميك أقلّ مما لو كنت عند عمق أكبر داخل الماء؟
10. ■ إذا كان ضغط السّائل هو نفسه عند الأعماق جميعها، فهل تكون هنالك قوة طفو على الجسم المغمور في السّائل؟ اشرح ذلك.
11. ● ما القوة اللازمة لدفع صندوق كرتون صلب حجمه لتر واحد، ومهمل الوزن، لغمره تحت الماء؟
12. ● إذا قيل إنّ الأجسام الثقيلة تغرق، والأجسام الخفيفة تطفو، فهاتِ أمثلة تثبت أنّ هذا القول غير دقيق.

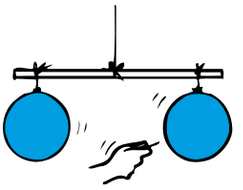
13. ■ بالمقارنة بسفينة فارغة، هل تغوص السّفينة المليئة بالمطاط الإسفنجيّ إلى الأسفل أم ترتفع فوق الماء؟ وضّح إجابتك.
14. ■ بارجة مليئة بحديد خردة موجودة في قناة مغلقة. إذا رُمِيَ الحديد جانبًا في القناة، فهل يرتفع مستوى الماء في الجهة المغلقة، أم يهبط، أم يبقى دون تغيير؟ وضّح إجابتك.
15. ■ عندما تغطس بارجة في قناة مغلقة؛ هل يرتفع مستوى الماء، أم يهبط؟
16. ■ بالون مزود بوزن بحيث يطفو فوق الماء. إذا دُفع داخل الماء، فهل يعود مرة أخرى إلى السّطح؟ وهل يبقى عند العمق نفسه الذي دُفع إليه، أم يغرق؟ اشرح. (مساعدة: هل تتغير كثافة البالون؟).



17. ■ أبحرت سفينة من محيط إلى ميناء مياه عذبة، فغاصت إلى عمق أكبر في الماء. هل تتغيّر قوة الطّفو عليها؟ إذا كان كذلك، فهل تزداد قوة الطّفو أم تقلّ؟
18. ■ افترض أنّك خُيّرت بين سترتي نجاة متماثلتين في القياس؛ الأولى خفيفة ومليئة بالمطاط الإسفنجيّ، أمّا الثانية فثقيلة جدًّا، ومليئة بقوالب رصاص. إذا غمرت كلتاهما في الماء، فعلى أيّهما تكون قوة الطّفو أكبر؟ وعلى أيّهما تكون قوة الطّفو غير فاعلة؟ لماذا تختلف إجابتك؟
19. ■ الكثافة النّسبيّة لكلّ من الماء، والثّلج، والكحول هي: 1.0، و0.9، و0.8، على التّرتيب. هل يطفو مكعّب من الثّلج في مزيج كحول وماء أكثر أم أقلّ؟ ما الذي يمكنك قوله فيما يتعلّق بمزيج موجود في كأس بحيث يكون مكعّب الثّلج غاطسًا في قعر الكأس؟
20. ♦ عندما تبدأ مكعّبات الثّلج في الذوبان، فهل يرتفع مستوى الماء في الكأس، أم ينخفض، أم يبقى دون تغيير؟ هل تتغير إجابتك لو كان مكعّب الثّلج يحوي فقاعات هواء؟ وهل تتغير إجابتك لو كان مكعّب الثّلج يحوي حبيبات رملية ثقيلة؟
21. ■ إذا تمّ ملء وعاء بالماء حتى منتصفه، وعلّق على ميزان زنبركيّ، فهل تزداد قراءة الميزان إذا وُضعت سمكة داخل هذا الوعاء، أم تبقى ثابتة؟ (هل تختلف إجابتك لو كان الوعاء بداية مملوءًا بالماء إلى حافته؟)
22. ■ قم بعدّ دواليب شاحنة لا تحمل أغذية، وموجودة عند متجر. قد تندهش عندما تجد أنّ عددها 18. لِمَ هذا العدد الكبير من الدواليب؟ (مساعدة: انظر النشاط الاستكشافيّ 5.5).
23. ● كيف يمكن مقارنة كثافة الهواء في منجم عميق مع كثافته على سطح الأرض؟
24. ■ لم تستطع مجموعتان من الأحصنة، كلّ منهما تتكون من ثمانية، سحب نصفي كرة مجدبورغ عن بعضهما (الشّكل 20.5). لماذا؟ افرض أنّ كلّ فريق مكوّن من تسعة أحصنة، هل يمكنها في هذه الحالة سحب نصفي الكرة؟ هل يمكن لإحدى المجموعتين أن تنجح إذا استبدلت بالمجموعة الأخرى شجرة قوية ؟ وضّح إجابتك.
25. ● إذا اشتريت كيسًا من الحلوى قبل ركوبك الطائرة (أو أيّ شيء محفوظ داخل كيس حفظ مغلق تمامًا) فإنّك ستلاحظ في أثناء الطّيران بأنّ الكيس ينتفخ. اشرح سبب ذلك.
26. ● لماذا تفترض أنّ نوافذ الطّائرة تكون أصغر من نوافذ الحافلة؟
27. ● يمكننا فهم اعتماد الضّغط داخل الماء على العمق بافتراض وجود كومة من القرميد. إنّ الضّغط على أسفل قرميدة يُحدّد وزن كومة من القرميد. عند منتصف الكومة، يكون الضّغط نصفه؛ لأنّ وزن القرميد أعلى ذلك الموضع يكون النّصف الآخر. ولكي نشرح الضّغط الجوّيّ؛ علينا أن نفترض قرميدات متراصّة تمامًا كالمطاط الإسفنجيّ. فلِمَ يكون هكذا؟

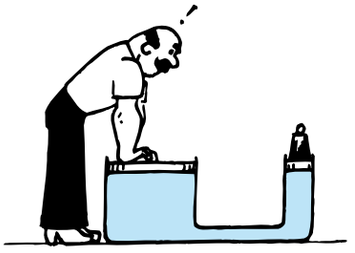


28. ● إنّ المضخة في المكنسة الكهربائيّة ليست أكثر من مروحة مسرَّعة. هل يمكن لهذه المكنسة التقاط الغبار عن سجادة على القمر؟ اشرح.
29. ● افترض أنّك استعملت سائلًا أكثر كثافة من الزّئبق الموجود في مقياس الضّغط الجوّيّ. هل يكون ارتفاع عمود السّائل الجديد أكبر من عمود الزّئبق أم أقلّ ؟ لماذا؟
30. ● في أيّ المكانين يكون سحب الشّراب من ماصّة أصعب قليلا: عند مستوى سطح البحر أم على قمة جبل شاهق الارتفاع؟ اشرح.
31. ● يدّعي صديقك أنّ قوةَ الطّفو من الغلاف الجوّيّ على فيل أكبرُ كثيرًا من قوة الطّفو على بالون صغير مليء بالهيليوم. ما رأيك؟
32. ■ لماذا يكون التّنفس على عمق متر واحد من سطح الماء صعبًا باستخدام أنبوب (يُمَدّ خارج السّطح لاستنشاق هواء نقيّ)، بينما هو مستحيل على عمق مترين؟ لماذا لا يستطيع الغوّاص التّنفس من خلال أنبوب يمتد إلى السّطح؟
33. ■ إذا وُضِعَ هيدروجين في بالون بدلًا من الهيليوم، حيث كثافته أقلّ، فهل تتغيّر قوة الطّفو على البالون إذا لم يتغير حجمه؟ اشرح.
34. ■ إنَّ الخزّان الفلزّيّ المليء بغاز الهيليوم لا يرتفع في الهواء، أمّا البالون الذي يحوي الكمية نفسها من الهيليوم فيرتفع. لماذا؟
35. ■ بالونان متماثلان لهما الحجم نفسه، نُفخا بالهواء لضغط أكثر من الضّغط الجوّيّ وعُلقا على نهايتي عصا أفقيّة متّزنة. إذا ثُقب أحد البالونين فهل يحدث أيّ تغيُّر في اتزان العصا؟ وإذا حدث ذلك فما اتجاه ميلانها؟



36. ● قوة الغلاف الجوّيّ عند سطح الأرض المؤثّرة في نافذة مخزن مساحته 10م^2 هي مليون نيوتن تقريبًا. لِمَ لا تُحطّم هذه القوة النافذة؟ ولكن النافذة قد تتحطّم إذا هبت ريح قوية في اتجاهها. لماذا؟

37. ■ في النظام الهيدروليكيّ، كما في الشّكل، تعادل مساحة المكبس الأكبر 50 ضعف مساحة المكبس الأصغر. يحاول رجل قويّ أن يرفع كتلة 10 كجم موضوعة على المكبس الصغير من خلال تأثيره بقوّة كافية في المكبس الكبير. هل سينجح؟ وضّح إجابتك.



38. ● عندما يتدفق غاز بثبات من قطر أنبوب إلى أنبوب له قطر أصغر، فماذا يحدث لكلّ من: (أ) سرعته؟ (ب) ضغطه؟ (جـ) الاتساع بين خطوط تدفّقه؟

39. ■ ما المبدأ الفيزيائيّ الذي يعدّ الأساس لكلٍّ من الظواهر الثلاث الآتية: أ- عندما تتجاوز شاحنة سيارتك على طريق سريع، فإنّ سيارتك تميل في اتجاه الشاحنة؟ ب- ينتفخ السّقف القماشي لسيارة إلى الأعلى عندما تسير بسرعة عالية؟ ج- أحيانا يتكسّر زجاج نوافذ قطار قديم عندما يتجاوزه قطار سريع على المسار المجاور؟

40. ♦ كيف تستطيع الطّائرة الطّيران إلى الأعلى والأسفل؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● افترض أنّ كرة كتلتها 5 كجم اتزنت على طرف إصبعك الذي مساحته 1سم^2. بيّن أنّ الضّغط على إصبعك 49 نيوتن/سم^2، وتساوي 490 كيلو باسكال.

2. ● أزاحت قطعة معدنية كتلتها 6 كجم لترًا من الماء عندما غمرت فيه. بيّن أنّ كثافتها 6000 كجم/م^3. كيف تقارن ذلك بكثافة الماء؟

3. ● عمق الماء خلف سدّ هوفر في نيفادا 220م. مع إهمال الضّغط النّاتج عن الغلاف الجوي، بيّن أنّ ضغط الماء على قاعدة السّدّ 2160 كيلوباسكال.

4. ■ تطفو بارجة مستطيلة طولها 5 م وعرضها 2 م فوق الماء العذب. افترض وجود 400 كجم من قطع غيار السّيارات على متنها. بيّن أنّ البارجة تطفو عند عمق 4 سم أكثر.

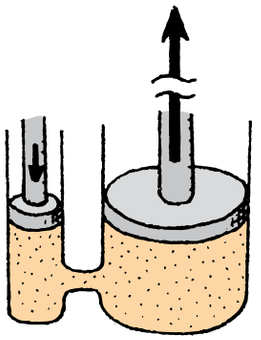
5. ■ افترض أنّ البارجة في المسألة السّابقة يمكن أن تُدفع 15 سم فقط داخل الماء قبل أن تُغمر كليًّا. بيّن أنّ البارجة يمكن أن تحمل ثلاثة أضعاف الـ 400 كجم لا أربعة أضعاف.

6. ● باعك تاجر 1 كجم من الذّهب الصّلب بسعر مغرٍ. وعندما عدت إلى البيت، أردت التأكد مما إذا كنت قد ربحتَ هذه الصفقة. فوضعت الذهب في وعاء ماء، ومن ثمَّ قِستَ حجم الماء المزاح. بيّن أنّ 1 كجم من الذهب الخالص يزيح ماءً حجمه 51.8 سم^3.

7. ■ يطفو شخص فوق مياه محيط بحيث يُغمر 90% من جسمه تحت سطح الماء. إذا كانت كثافة ماء المحيط 1025 كجم/م^3. فبيّن أنّ متوسط كثافة الشّخص هي 923 كجم/م^3.

8. ● افترض أنك كنت تحلق في أحد أيام الخريف الرّائعة على ارتفاع منخفض في منطاد هوائيّ بحيث لا يتسارع إلى الأعلى ولا إلى الأسفل. مجموع وزن المنطاد بما يحمله من أوزان وهواء 20000 نيوتن. بيّن أنّ حجم الهواء المزاح من المنطاد 1700م^3.

9. ■ قطرُ المكبس الصغير في المكبس الهيدروليكيّ المبيّن في الرّسم 2 سم، في حين قطر المكبس الكبير 6 سم. كم يزيد مقدار القوة التي يمكن للمكبس الكبير أن يؤثّر به أكثر من القوّة المؤثّرة في المكبس الصّغير؟

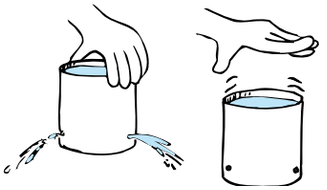


10. ■ مساحة جناحي طائرة ما 100م^2. عند سرعة ما، كان الفرق بين الضّغط أسفل الجناحين وأعلاهما 4% من الضّغط الجوّيّ. بيّن أنّ قوة الرّفع المؤثّرة في الطّائرة 4×10^5 نيوتن.

أنشطة استكشافية

1. جرِّب أن تترك بيضة تطفو فوق الماء. امزج الماء بشيء من الملح حتى تطفو البيضة. ما كثافة البيضة مقارنة بكثافة كلّ من ماء الصّنبور و الماء المالح؟

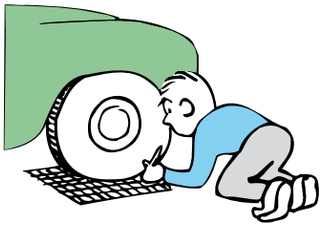
2. اثقب عددًا من الفتحات في أسفل وعاء مليء بالماء حيث يتدفق الماء من هذه الفتحات بسبب ضغط الماء. الآن، إذا أسقطت الإناء بشكل حرّ إلى الأسفل، ستلاحظ أن تدفق الماء من الفتحات لا يستمر. إن لم يستطع أصدقاؤك فهم ذلك، فهل يمكنك تجريبه، ومن ثم شرحه لهم؟



3. ضع كرة تنس صغيرة في إبريق ماء مرفوع فوق رأسك. ثم دعِ الإبريق يسقط على أرض صلبة. بسبب التّوتّر السّطحيّ، تبقى الكرة مرتبطة بسطح الماء ما دام الإبريق ساقطًا. إنّ ما يحدث عندما يصطدم الإبريق بشكل مفاجئ بالأرض يستحق الملاحظة!

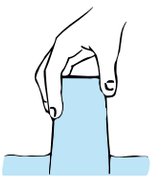
4. جرّب هذا في حوض الاستحمام، أو عندما تغسل الصّحون: اقلب كأس شراب فوق جسم صغير يطفو فوق الماء. ماذا تلاحظ؟ إلى أيّ عمق يجب دفع الكأس بحيث يُضغط الهواء المحصور إلى نصف حجمه؟ (يمكنك فعل هذا في حوض السّباحة ما لم يكن عمقه 10.3م!).

5. يمكنك إيجاد الضّغط المؤثّر من إطارات سيارتك في الطّريق، ومقارنة هذا بضغط الهواء في الإطارات. للقيام بهذا النّشاط: عليك معرفة وزن سيارتك من الكتالوج أو البائع، ثمَّ قسمة وزنها على أربعة لمعرفة الوزن التّقريبيّ الذي يحمله أحد الإطارات. ويمكنك - بمقدار تقريبيّ - معرفة مساحة التلامس بين إطار السّيارة والطّريق برسم حدود تلامس الإطار معها على ورقة بيانيّة مجزّأة إلى بوصة × بوصة مربعة وموضوعة أسفل الدولاب. بعد معرفتك للضّغط المؤثر من الدّولاب في الطّريق، قارن ذلك مع الضّغط في الدولاب. هل هما متساويان؟ أيّهما أكبر؟

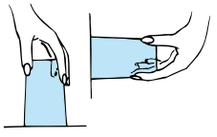


6. يُسكب الماء عادةً من الكأس المتلئة إلى الكأس الفارغة بوضع حافة الكأس الأولى فوق الثّانية، ثم سكب الماء. هل قمت في وقت ما بسكب هواء من كأس إلى أخرى؟ الطريقة مشابهة. ضع كأسين مقلوبتين داخل الماء، ثم قم بإمالة إحداهما لكي تملأ بالماء. ثبت الكأس المملوءة بالماء بحيث يكون مستواها أعلى من مستوى الكأس المملوءة بالهواء وتكون مقلوبة. ثم قم بإمالة الكأس المملوءة بالهواء ببطء بحيث يبدأ الهواء في التسرب إلى الكأس المملوءة بالماء؛ إنّك تسكب الهواء من كأس إلى أخرى!

7. ارفع الكأس المملوءة بالماء فوق سطح الماء بحيث تكون حافتها أسفل السّطح. لماذا لا يتسرب الماء من الكأس؟ كم يجب أن يكون طول الكأس قبل أن يبدأ تسرّب الماء منها؟ (يمكنك عمل ذلك في الدّاخل على أن يكون ارتفاع سقف البناء 10.3م على الأقلّ فوق سطح الماء).



8. ضع ورقة فوق الجهة المفتوحة من كأس مملوءة بالماء تماما. ثم اقلب الكأس. لماذا تبقى الورقة في مكانها؟ جرِّب فعل ذلك بشكل جانبيّ.



9. اقلب زجاجة عصير مليئة بالماء. لاحظ أنّ الماء لا ينسكب، ولكنه يتدفّق منها بشكل متقطّع. إنّ ضغط الهواء لا يسمح بتسرب الماء نحو الخارج قبل أن يندفع بعضه إلى داخل الزّجاجة ليسدّ الفراغ فوق السّائل. كيف يمكنك إفراغ زجاجة ماء مملوءة عند قلبها عندما تكون على سطح القمر؟

10. سخّن كمية قليلة من الماء لدرجة الغليان في وعاء ألومنيوم، ثم اقلبه بسرعة على وعاء يحوي ماءً باردًا. ما يحدث الآن يدعو إلى الدهشة!

11. اعمل فتحة صغيرة بالقرب من قاعدة علبة قصدير مفتوحة من الأعلى. املأ العلبة بالماء. ستلاحظ تسرب الماء من الفتحة الصغيرة أسفل العلبة. إذا قمت بتغطية الجزء العلوي المفتوح بيدك، فسيتوقف تدفق الماء. اشرح.

12. ضع أنبوبًا ضيّقًا أو ماصّة شرب في الماء، وضع إصبعك على الجزء العلويّ المفتوح من الأنبوب. ارفع الأنبوب من الماء، ثم ارفع إصبعك عن فتحة الأنبوب العلويّة. ماذا يحدث؟ (إنك تفعل ذلك عادةً في تجارب الكيمياء).

13. انفخ على السّطح العلويّ لورقة، كما فعل تيم (Tim) في الشّكل 38.5. جرِّب ذلك مع أصدقائك ممن لم يلتحقوا بصفوف العلوم الفيزيائية، ثمَّ اشرح لهم ذلك!

14. اثقب قطعة كرتون بدبّوس، ثم ضعها فوق لفة خيوط. حاول النفخ من خلال فتحة لفّة الخيوط هذه. جرِّب ذلك من الاتجاهات جميعها.

15. أمسك ملعقة، وقم بتوجيهها نحو تيار ماء (كما في الشّكل). ستشعر بتأثير التّغيّرات في الضّغط.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدًا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 مما يلي على الأقلّ. ولكن إذا أجبت عن أقلّ من هذا فعليك المزيد من الدراسة قبل المتابعة.

اختر أفضل إجابة لكلّ مما يلي:

1. البومايس صخر بركانيّ يطفو فوق الماء. إنّ كثافته مقارنة بكثافة الماء:
(أ) أقلّ.
(ب) تساويها.
(ج) أكبر.
(د) غير معقول؛ لأنه صخر، والصّخر قابل للغرق.

2. إنّ الضّغط عند قعر بركة لا يعتمد على:
(أ) التسارع الناتج عن الجاذبية.
(ب) كثافة الماء.
(ج) عمق البركة.
(د) مساحة سطح البركة.
(هـ) لا شيء مما ذكر.

3. دائما، يزيح الجسم المغمور كاملا مثله من:
(أ) وزن المائع.
(ب) حجم المائع.
(ج) كثافة المائع.
(د) كلّ ما ذكر.
(هـ) لا شيء مما ذكر.

4. يزن حجر معلّق بميزان زنبركي 5 نيوتن خارج الماء، أمّا في الماء فيزن 3 نيوتن. إذن قوة الطّفو على الحجر هي:
(أ) 3 نيوتن.
(ب) 5 نيوتن.
(ج) 8 نيوتن.
(د) لا شيء مما ذكر.

5. غطّي السّطح العلويّ لمكعّب خشبي بحجر مستوٍ، فطفا فوق سطح وعاء مليء بالماء. إذا قلب المكعّب رأسًا على عقب بحيث أصبح الحجر نحو الأسفل فإنّ:
(أ) مستوى سطح الماء الجانبيّ سيرتفع.
(ب) مستوى سطح الماء الجانبيّ سينخفض.
(ج) مستوى سطح الماء الجانبيّ لايتغيّر.
(د) الحجر والخشب سيغرقان.

6. الجسم في الفراغ:
(أ) ليس له قوة طفو.
(ب) ليس له كتلة.
(ج) ليس له وزن.
(د) لا شيء مما ذكر.

7. إذا كان لديك مقياسا ضغط جوّيّ زئبقيّان، مساحة مقطع أحدهما 1 سم^2، ومساحة مقطع الآخر 2 سم^2. فإنّ الزّئبق في الأنبوب الأصغر يرتفع:
(أ) إلى الارتفاع نفسه في الآخر.
(ب) إلى ضعف ارتفاعه في الآخر.
(ج) إلى أربعة أضعاف ارتفاعه في الآخر.
(د) لا شيء مما ذكر.

8. في عملية المكبس الهيدروليكيّ، من المستحيل أن:
(أ) يتحرك المكبس الخارج أبعد من المكبس الدّاخل.
(ب) تكون القوة الخارجة أكبر من الدّاخلة.
(ج) تزيد سرعة المكبس الخارج على سرعة المكبس الدّاخل.
(د) تزيد الطّاقة النّاتجة على الطّاقة الدّاخلة.
(هـ) لا شيء مما ذكر.

9. منطاد المراقبة الطّائر يوضح جيّدًا:
(أ) قاعدة أرخميدس.
(ب) قاعدة باسكال.
(ج) قاعدة برنولي.
(د) قانون بويل.

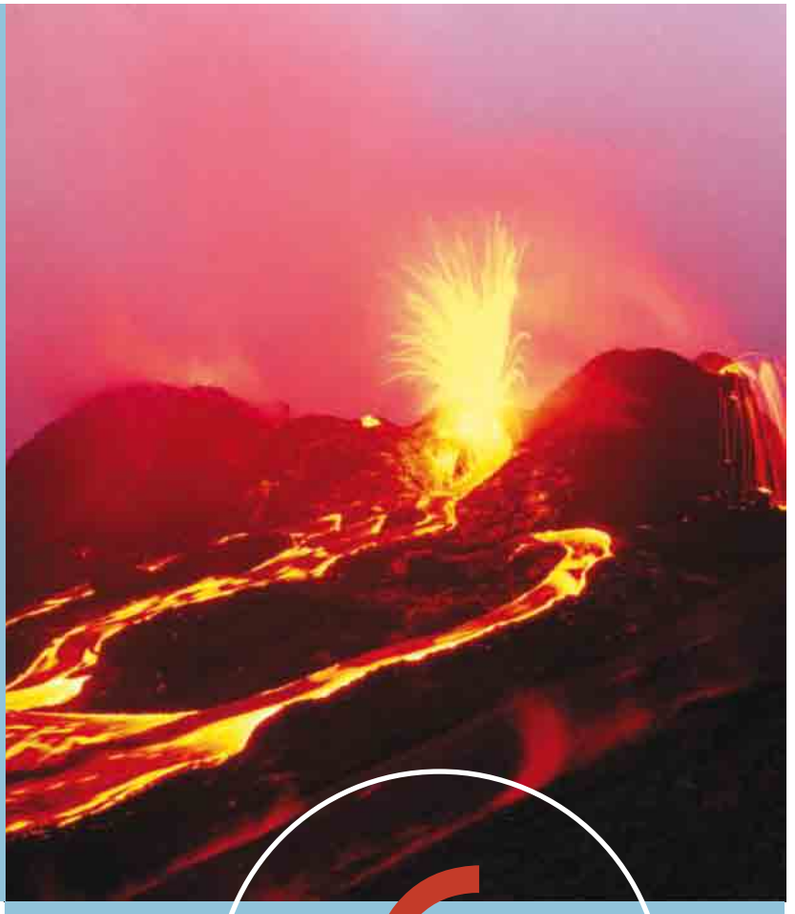
10. تكون الرّياح أسرع عندما تهبّ فوق قمة تلّ بسبب:
(أ) زيادة الضّغط الجوّيّ.
(ب) نقصان الضّغط الجوّيّ.
(ج) ليس هنالك أيّ أثر للضّغط الجوّيّ.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة
10ب، 9أ، 8د، 7ب، 6أ، 5ب، 4ب، 3أ، 2د، 1أ

الفصل 5 مصادر على الشبكة

أشرطة فيديو
- السد والماء
- قابلية الطفو
- قاعدة أرخميدس
- العوم
- وزن الهواء
- الهواء مادة
- حفظ الهواء
- قابلية الطفو في الهواء

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط



الطّاقة الحراريّة والتّحريك الحراريّ

6

1.6 درجة الحرارة

2.6 الصّفر المطلق

3.6 الحرارة

4.6 كميّة الحرارة

5.6 قوانين التّحريك الحراريّ

6.6 الإنتروبي

7.6 السّعة الحراريّة

8.6 التّمدد الحراريّ

9.6 تمدّد الماء

■ ما الفرق بين كأس شاي ساخن وآخر بارد؟ إنّ الحركة الجزيئيّة هي التي تجيب عن هذا السّؤال، وهو أنّ حركة جزيئات الشّاي السّاخن أسرع من حركة جزيئات الشّاي البارد. إنّ المادة في كافة أشكالها تتكوّن من جسيمات تهتزّ باستمرار، وهذا هو ما يسمى بالذرات أو الجزيئات. عندما تهتزّ هذه الجسيمات بمعدّل قليل تتشكّل حينها المواد الصلبة، ولكن عندما تهتزّ أسرع فإنّها تشكّل السّوائل، في حين تتكوّن الغازات عندما تتحرّك هذه الجسيمات منفصلة بعضها عن بعض وبأسرع ما تستطيع. أمّا عندما تتحرّك بسرعة أكبر من ذلك فإنّ هذه الجسيمات أو الذّرات تتحلّل مكوّنة البلازما. وهكذا فإنّ السّبب الذي يجعل المادة صلبة، أو سائلة، أو غازيّة، أو بلازما يرجع إلى حركة جسيماتها. وسنبحث في هذا الفصل والفصول اللاحقه آثار حركات الجسيم. وتُسمّى الطّاقة التي يمتلكها الجسيم عن طريق تصادم الذّرّات والجزيئات **الطّاقةَ الحراريّة**.

1.6 درجة الحرارة

عندما تلمس فرنًا ساخنًا، تنتقل الطّاقة الحراريّة إلى يدك؛ لأنّ الفرن أسخن منها. ولكن عندما تلمس قطعة من الجليد فإنّ الطّاقة الحراريّة تنتقل من يدك إلى الجليد الأبرد. إنّ الكمّيّة التي تشير إلى سخونة جسم ما أو برودته بالنسبة إلى أحد المقاييس هي درجة الحرارة. ويُعبّرُ عن درجة حرارة المادة بعدد يقابل درجه السّخونة على مقياس متّفق عليه. تقيس موازين الحرارة المألوفة درجة الحرارة بدلالة تمدّد السّائل أو تقلّصه . وفي العادة يستخدم الزّئبق أو الكحول الملوّن في هذه الموازين.

إنّ أكثر مقياس مألوف مستخدم في العالم هو مقياس سلسيوس (Celsius) الذي سمّي بهذا الاسم تكريما للفلكيّ السّويديّ أندرس سلسيوس Anders Celsius (1704-1744) الذي كان أول من اقترح مقياسًا مكونًا من 100 درجة بين درجتي تجمّد الماء وغليانه. وقد قام بتحديد الرقم 0 ليشير إلى درجة الحرارة التي يتجمّد عندها الماء، والعدد 100 لدرجة الحرارة التي يغلي الماء عندها (عند ضغط جوّيّ معياريّ).

أما أكثر مقياس مألوف لدرجة الحرارة في الولايات المتحدة فهو مقياس الفهرنهايت، الذي سمّي بهذا الاسم تكريمًا لمخترعه الفيزيائي الألماني فهرنهايت (1686 – 1736) D.G Fahrenheit. وفي هذا المقياس، حدّد الرّقم 32 ليشير إلى درجه الحرارة التي يتجمد عندها الماء، أما الرّقم 212، فيشير إلى درجه الحرارة التي يغلي الماء عندها. ولكن إذا اعتمدت الولايات المتحدة النّظام المتريّ فسيتمّ الاستغناء عن مقياس الفهرنهايت.

تعدّ الصيّغ الحسابيّة لتحويل درجة الحرارة من مقياس إلى آخر من المسائل المألوفة في الامتحانات الصّفّيّة. ولأنّ هذه الصّيغ الحسابيّة ليست من الفيزياء، فلن نتطرّق إلى مثل هذه التّحويلات هنا (قد تكون مهمة في دروس الرّياضيات). إلى جانب ذلك، يمكن قراءة التحويل بين درجات الحرارة المئوية والفهرنهايتيّة تقريبا من القراءات المتقابلة. كما في الشّكل 3.6*.

تتناسب درجة الحرارة مع معدّل الطّاقة الحراريّة الانتقاليّة لكلّ جسيم من الجسيمات المكوّنة للمادة. ونعني *بالانتقالية* الحركةَ الخطّيّةَ. وبالنّسبة إلى الغاز، فهي السّرعة التي تذهب وتجيء بها جسيمات الغاز. أما بالنّسبه إلى السّائل فهي سرعة حركة الجسيمات عندما تتذبذب وتهتز في أماكنها. لاحظ أنّ درجة الحرارة لا تعتمد على كمية المادة الموجودة. إذا كان لديك كأس ماء حار، ثم سكبت نصفه على الأرض فإنّ درجة حرارة النصف المتبقي لا تتغير، تحتوي كمية الماء المتبقية في الكأس على نصف الطّاقة الحراريّة التي تحتوي عليها الكأس المعبأة؛ بسبب وجود نصف عدد جزيئات الماء التي كانت في الكأس. إنّ درجة الحرارة هي خاصيّة لكلّ جسيم. ترتبط الطّاقة الحراريّة بمجموع الطّاقه الحركيّة للجزيئات في عينتك جميعها** . إنّ مضاعفة كمية الماء السّاخن تعني مضاعفة الطّاقة الحركيّة، حتى عندما تكون درجة الحرارة (معدل الطّاقة الحركيّة لكلّ جسيم) لها متساوية.

عندما نقيس درجة حرارة جسم ما بميزان حرارة تقليديّ فإنّ الطّاقة الحراريّة تنتقل بين ميزان الحرارة والجسم المراد قياس درجة حرارته. وعندما يكون لميزان الحرارة والجسم معدّل الطّاقه الحراريّة نفسه لكلّ جسيم، عندئذ يكونان في حالة اتّزان حراريّ. وعندما نقيس درجة حرارة جسم ما، فنحن في الحقيقة نقرأ درجة حرارة الميزان عندما يكون هو والجسم قد وصلا إلى حالة الاتزان الحراريّ.

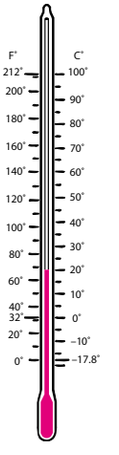
الشّكل 1.6

هل يمكننا الثّقة بإحساسنا بالسخونة والبرودة؟ هل يشعر كلا الإصبعين بدرجة الحرارة نفسها عندما يغمسان في ماء ساخن؟ جرّب ذلك ولاحظ الشّعور بنفسك.

الجسيمات التي تكوّن المادة هي الذّرات و/أو الجزيئات. وكما نوقش في الفصل الثّاني، فإنّ الجزيء عبارة عن ذرتين أو اكثر ترتبطان معا بطريقة محددة.

الشّكل 2.6

وصية فهرنهايت خارج منزله (حاليًا في غادانك، بولندا).

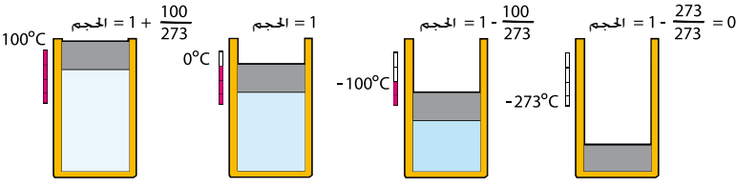


الشّكل 3.6

تدريجا فهرنهايت وسلسيوس على ميزان الحرارة.

* نعم، إذا كنت حقًا تريد معرفة صيغ تحويل درجات الحرارة فهي: $C = \frac{5}{9}(F - 32)$. $F = \frac{9}{5}C + 32$ حيث C هي درجة الحرارة بالسلسيوس، و F درجة الحرارة بالفهرنهايت.

** يفضّل الفيزيائيون استخدام مصطلح الطّاقة الدّاخليّة بدلًا من مصطلح الطّاقة الحراريّة؛ للتّأكيد على أنّ الطّاقة هي داخليّة في الجسم.



عند زيادة الحركة الحراريّة، تنصهر الأجسام الصّلبة أولًا وتصبح سائلة. وبزيادة الحركة الحراريّة أكثر يتبخّر السّائل. ولكن عند زيادة درجة الحرارة أكثر فأكثر تنفصل الجزيئات إلى ذرات، وتفقد هذه الذرات بعض إلكتروناتها أو جميعها، مكونة بذلك غيمة من الجسيمات المشحونة كهربائيًا؛ إنّها *البلازما*. توجد البلازما في النّجوم، حيث تبلغ درجة الحرارة ملايين الدّرجات المئويّة. لا يوجد حدّ أعلى لدرجة الحرارة.

2.6 الصّفر المطلق

وفي المقابل، هناك حدّ أدنى محدّد لمقياس درجة الحرارة. تتمدّد الغازات عند التّسخين، وتتقلّص عندما تبرد. لقد توصّلت تجارب القرن التّاسع عشر إلى نتائج مدهشة جدًّا، حيث وُجد أنه لو بدأنا بغاز، أيّ غاز، على درجة الصّفر المئويّ، وغيّرت درجة حرارته، مع إبقاء الضّغط ثابتًا، فإنّ الحجم يتغيّر بمقدار $\frac{1}{273}$ لكلّ تغيّر بمقدار درجة مئويّة واحدة. وعند تبريد الغاز من 0° س إلى – 10° س يتغيّر حجم الغاز بمقدار $\frac{10}{273}$ ويتقلّص إلى $\frac{263}{273}$ من حجمه الأصليّ. وإذا برّد الغاز من درجة الصّفر المئويّ إلى أدنى منه بمقدار 273° س، فإنّه يتقلّص بمقدار $\frac{273}{273}$ من حجمه، وينقص إلى الحجم الصّفريّ. ولكن من الواضح عدم وجود مادة بحجم صفريّ.

لقد وجد التّجريبيّون نتائج مشابهة للضغط. وبدءًا من درجة 0° س، فإنّ ضغط غاز موجود في حاوية، مع ثبات الحجم، يقلّ بمقدار $\frac{1}{273}$ من قيمته لكلّ انخفاض في درجات الحرارة بمقدار درجة مئويّة واحدة. وإذا برّد بمقدار 273° س تحت الصّفر المئويّ فإنّ الضّغط ينعدم بالكامل. وفي الواقع، فإنّ أيّ غاز سيتحول إلى سائل قبل وصوله إلى هذه الدّرجة. ومع ذلك، فإنّ هذا النقصان بمقدار يدلّ على أن درجة الحرارة الأقلّ هي -273° س. أي أنّ هذه الدرجة هي الحدّ الأدنى لدرجة الحرارة؛ إنّها **الصّفر المطلق**. وعند درجة الحرارة هذه، تفقد الجزيئاتُ الطّاقةَ الحركيّة المتوافرة جميعها*. لا توجد طاقة يمكن أخذها من المادة على درجة الصّفر المطلق؛ لأنه لا يمكن تبريدها أكثر من ذلك.

يسمّى مقياسُ درجة الحرارة المطلق *مقياسَ كلفن*؛ تكريمًا للفيزيائي البريطاني المشهور وليام ثومبسون William Thompson الذي منح لقب البارون الأوّل كلفن. الصفر المطلق هو 0 *k* (باختصار "0 kelvin" لاحظ أنّ كلمة *درجة* لا تستعمل مع درجة الحرارة كلفن)**. لا توجد أرقام سالبة على مقياس كلفن. وتدريجه يماثل التدريج المئوي. وهكذا، فإنّ نقطة انصهار الجليد فيه 273 كلفن. أما درجة غليان الماء فهي 373 كلفن.

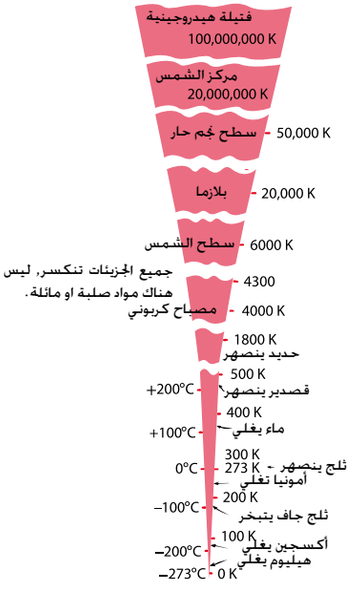
الشّكل 4.6

عندما يحافظ على الضّغط ثابتًا فإنّ حجم الغاز يتغير بمقدار $\frac{1}{273}$ عند درجة الصّفر المئوي (0° س) وذلك عندما تتغير درجة الحرارة درجة سيليزية واحدة.

وعند درجة الحرارة 100° س، فإنّ الحجم يكون $\frac{100}{273}$ أكبر من ذلك عند درجة الحرارة 0° س. أما عندما تهبط درجة الحرارة إلى -100° س، فإنّ الحجم يقلّ بنسبة $\frac{100}{273}$. وعند -273° س ، سيقلّ حجم الغاز بنسبة $\frac{273}{273}$. وعليه يصبح صفرًا.

لمعلوماتك

■ إنّ التلامُس الحراريّ ليس ضروريًّا في موازين الحرارة التي تعمل بالأشعة تحت الحمراء حيث تظهر قراءات رقمية لدرجة الحرارة من خلال قياس إشعاعات تحت الحمراء التي تبثها الأجسام جميعها.



الشّكل 5.6

بعض درجات الحرارة المطلقة.

* حتى عند الصفر المطلق، لا تزال الجزيئات تمتلك كمية صغيرة من الطاقة الحركية، تسمى *طاقة نقطة الصفر*. الهيليوم مثلا، يمتلك طاقة حركية كافية لتمنعه من التجمد. يتطلب تفسير هذه الظاهرة الإلمام بنظرية الكمّ.

** إنّ حصول ثومبسون على لقب بارون، كان نسبة إلى نهر كلفن الذي يجري في بلدته. وفي عام 1968 تغير مصطلح الدرجات المطلقة من (°K) إلى (K) والتي رمز إليها بالحرف الكبير بالإنجليزي K. القيمة الدقيقة للصفر المطلق هي -273.15° س.

الصفر المطلق ليست أقلّ درجة يمكن الوصول إليها فحسب، بل إنه الدرجة الأبرد التي تأمل بالاقتراب منها.

الشّكل 6.6

درجة حرارة الشرارة مرتفعة جدًا؛ 2000°س تقريبا. وهذا يعني أنّ هناك طاقة عالية لكلّ جزيء من الشرارة. ولكن بسبب العدد القليل للجزيئات في الشرارة الواحدة فإنّ مجموع الطاقة الحرارية في الشرارة قليل وآمن. إذن درجة الحرارة شيء، أما انتقال الحرارة فشيء آخر.

نقطة فحص

1. أيّ الدرجتين أكبر: السيليزية أم الكلفن؟
2. درجة الحرارة لعينة من غاز الهيدروجين هي 0°س. إذا سخنت هذه العينة حتى تضاعفت الطاقة الحرارية لجزيئات الهيدروجين. فماذا تصبح درجة حرارته؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1 - إنهما متساويتان.

2. الغاز الذي درجة حرارته 0°س هي 273 درجة حرارة مطلق. وأنّ ضعف الطاقة الحرارية يعني ضعف درجة الحرارة المطلق. أو ضعف الـ 273. وهذه تساوي 546 كلفن أو 273°س.

3.6 الحرارة

عند وضع جسم ساخن بالقرب من جسم بارد. تنتقل الطّاقة الحراريّة من الجسم السّاخن إلى الجسم البارد. يعرف الفيزيائي **الحرارة** على أنها انتقال الطّاقة الحراريّة من جسم إلى آخر بسبب الفرق بين درجتي حرارتهما.

وفقًا لهذا التعريف فإنّ المادة تحتوي على *طاقة حرارية* وليس على حرارة. في اللحظة التي تنتقل فيها الطاقة الحراريّة من جسم أو مادة. تتوقف عن كونها حرارة. وللتأكيد مرة أخرى: لا تحتوي المادة على حرارة. بل على طاقة حرارية. إنّ الحرارة طاقة حركية في حالة انتقال.

تنتقل الطّاقة الحراريّة من مادة ذات درجة حرارة أعلى إلى مادة أخرى درجة حرارتها أقلّ؛ لكي يتمّ الاتزان الحراري. عندما تكون المواد متصلة حراريًّا. فهذا لا يعني انتقال الطّاقة الحراريّة من المادة التي لها طاقة حراريّة أكبر إلى المادة التي طاقتها الحراريّة أقلّ. فمثلًا. يحتوي وعاء الماء السّاخن على طاقة حراريّة أكثر من مسمار ساخن لدرجة الاحمرار. فإذا وضع المسمار في الماء فإنّ الطّاقة الحراريّة لا تنتقل من الماء السّاخن إلى المسمار. بل تنتقل من المسمار السّاخن إلى الماء الأبرد. إنّ انتقال الطّاقة الحراريّة من مادة درجة حرارتها أقلّ إلى مادة درجة حرارتها أعلى يعدّ مستحيلًا دون مساعدة.

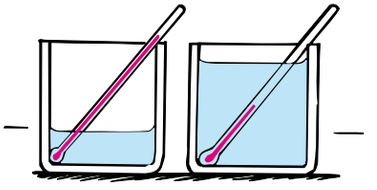
نقطة فحص

1. عند تسليط لهب على لتر من الماء لفترة معينة. ترتفع درجة حرارته بمقدار 2°س. إذا سُلِّط اللهب نفسه للفترة الزمنية نفسها على كمية لترين من الماء. فكم ترتفع درجة حرارته؟
2. إذا اصطدمت كرة زجاج سريعة بعدة كرات مشابهة بطيئة ومبعثرة. فهل تزداد سرعة الكرة السّريعة عادة أم تقلّ؟ أيّ الكرات تكتسب طاقة حركيّة وأيّها تفقدها: الكرة التي بدأت بسرعة عالية. أم الكرات التي تتحرّك ببطء؟ كيف تربط بين هذه الأسئلة واتجاه انسياب الحرارة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. ترتفع درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة؛ لأنّ اللترين من الماء يحتويان على ضعف العدد من الجزيئات. وكلّ جزيء يحصل على نصف معدل كمية الطّاقة. لذا. فإنّ معدّل الطّاقة الحراريّة. وكذلك درجة الحرارة يزدادان بمقدار نصف الكمية الأولى.
2. تتباطأ الكرة السريعة عند اصطدامها بالكرات البطيئة. وتعطي بعض طاقتها الحركية للكرات البطيئة. وهذا ما يحدث بالنسبة للحرارة تمامًا. إنّ الجزيئات ذات الطاقة الحركية الأكبر. والتي تصطدم بالجزيئات التي لها طاقة حركة أقلّ. تعطي جزءًا من طاقتها الحركية الزائدة للجزيئات البطيئة. ويكون اتجاه انتقال الحرارة من الساخن إلى البارد. ولكن يكون مجموع الطاقة قبل الاصطدام وبعده هو نفسه (ثابتًا) لكلّ من الكرات والجزيئات.

كما يعني الظلام غياب الضوء فإنّ البرد هو غياب الطّاقة الحراريّة.



موقد ساخن

الشّكل 7.6

يحتوي الوعاء عن اليسار على لتر من الماء، في حين يحتوي الوعاء عن اليمين على ثلاثة لترات. ومع أنّ كليهما يمتصّ الكمية نفسها من الحرارة، فإنّ درجة الحرارة تزيد ثلاث مرات أكثر للوعاء الذي يحتوي على كمية ماء أقلّ.

4.6 كميّة الحرارة

الحرارة شكل من أشكال الطاقة وتقاس بالجول. أما في الولايات المتحدة فتقاس الحرارة تقليديًّا بالسّعرات، وهو مقياس آخر للطّاقة الحراريّة. ويفضل استعمال الجول في مواد العلوم. يلزم 4.18 جول من الحرارة لرفع درجة حرارة 1 جم من الماء درجة مئوية واحدة (أو ما يعادلها، سعرًا واحدًا).*

يحدّد تصنيف طاقة الغذاء والوقود من الطّاقة المتحررة عند حرقها. (الأبيض هو في الحقيقة "حرق" بمعدل بطيء). هناك وحدة حرارة مألوفة معرفة للغذاء هي الكيلو كالوري (كيلو سعر). التي تعادل 1000 سعر، وهي الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 كجم من الماء درجة سيليزية واحدة. وللتمييز بين هذه الوحدة والوحدة الأصغر؛ تسمى وحدة الغذاء عادة كالوري بكتابة *الكالوري* بالحرف الأول كبيرًا C. لذا فهو يساوي 1000 سعر.

ما تعلمناه حتى الآن عن الحرارة والطاقة الحراريّة يمكن تلخيصه *بقوانين الدّيناميكا الحراريّة*. يعود أصل كلمة **thermodynamics** إلى الكلمة اليونانية التي تعني "تحريك الحرارة".

تقاس درجة الحرارة بالدّرجات، أما الحرارة فتقاس بالجول (أو السُّعر). نتحدث في الولايات المتحدة عن الغذاء أو الشراب المنخفض السّعرات. ولكن معظم دول العالم تتحدث عن الغذاء والشراب المنخفض الجولات.

نقطة فحص

ما الذي يرفع درجة حرارة الماء أكثر: إضافة 4.18 جول أو 1 سعر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

كلاهما متساويان؛ وكأنك تسأل: أيهما أطول: مسار طوله 1.6 كم أم 1 ميل. إنهما بالطول نفسه، ولكن عُبِّر عنهما بوحدات مختلفة فقط.

5.6 قوانين التّحريك الحراريّ

عند انتقال الطّاقة الحراريّة على شكل حرارة، فإنّ الطّاقة المفقودة من مكان تُكتسب في مكان آخر وفق قانون حفظ الطّاقة. وعند تطبيق هذا القانون على الأنظمة الحرارية، فإنّه يسمى **القانون الأول للديناميكا الحراريّة**. والصيغة العامة له كما يلي:

عند انسياب الحرارة من النّظام أو إليه فإنّ النّظام يفقد كمية من الحرارة أو يكتسبها، وتكون هذه الكمّيّة مساوية لكمّيّة الحرارة المنتقلة.

عند إضافة طاقة حرارية إلى النظام، سواء أكانت آلة بخارية، أم الغلاف الجوي للأرض، أم جسم كائن حيّ، فإنّها تزيد الطاقة الحرارية للنظام إذا بقيت فيه، و/أو تبذل شغلًا خارجيًا إذا تركه. وبتفصيل أكثر، فإنّ القانون الأول في الديناميكا الحرارية ينصّ على أنّ:

الحرارة المضافة = الزّيادة في الطّاقة الحراريّة + الشّغل الخارجيّ المبذول من النّظام

افترض أنّك وضعت علبة صلبة معبأة بالهواء، ومغلقة بإحكام فوق صفيح ساخن. ثم أضفت كمية من الطاقة الحرارية إليها- لا تجرّب ذلك- فإنّ جدرانها لا تتحرك. وبالتالي لا يُبذل شغل بسبب حجمها الثابت. إنّ الحرارة جميعها التي تكتسبها العلبة تزيد الطاقة الحرارية للهواء الموجود فيها .لذا ترتفع درجة حرارتها. والآن، افترض أنّ جدران العلبة مرنة وقابلة للتمدد. عندئذ سيبذل الهواء الساخن شغلا بتمدد جدران العلبة، أي أنها تؤثر بقوة لبعض المسافة على الغلاف الغازي المحيط؛ لأنّ بعض الحرارة المضافة تذهب في بذل شغل، وأنّ حرارة أقلّ تذهب لزيادة الطّاقة الحراريّة للهواء داخل العلبة. وعليه، فهل ترى أنّ درجة حرارة الهواء في داخل العلبة عندما يبذل شغل أقلّ مما هي عليه عندما لا يبذل شغل؟ إنّ القانون الأول في الديناميكا الحراريّ منطقيّ جدًّا.

الشّكل 8.6

إلى الذين يراقبون أوزانهم، فإنّ العلماء يقولون إنّ حبة الفستق تحتوي على 10 سعرات تطلق 10,000 سعر (41,800 جول) من الطاقة عندما تحرق أو تهضم.

لمعلوماتك

■ إنّ خطة فقدان الوزن التي تتوافق مع القانون الأول في الديناميكا الحرارية هي: احرق سعرات حرارية أكثر مما تأخذ. فسوف تفقد وزنًا؛ هذا مؤكد.

* وهكذا، 1 سعر=4.18 جول. وهناك وحدة أخرى مألوفة للحرارة هي الوحدة الحرارية البريطانية التي تعرف بالـ Btu . وهي الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطل من الماء درجة فهرنهايتية واحدة، وتساوي 1054 جول.

الشّكل 9.6
عندما تضغط إلى الأسفل على المكبس، فأنت تبذل شغلًا على الهواء في الداخل. ماذا يحدث لدرجة حرارته؟

يعيد **القانون الثاني في الديناميكا الحراريّة** صياغة ما تعلمناه حول اتجاه انسياب الحرارة:
إنّ انتقالَ الحرارة ذاتيًا من المادة الباردة إلى المادة السّاخنة مستحيلٌ.

عندما تنتقل الحرارة ذاتيًّا- أي دون بذل شغل خارجيّ- فإنّ اتجاه الانتقال يكون دائما من الحارّ إلى البارد. في الشتاء، تنتقل الحرارة من داخل البيت السّاخن إلى الهواء البارد في الخارج. أمّا في الصّيف، فينتقل الهواء السّاخن من الخارج إلى داخل البيت الأبرد. يمكننا نقل الحرارة بالطريقة الأخرى فقط عندما نبذل شغلًا على النظام، أو بإضافة طاقة من مصدر آخر، وذلك باستعمال المضخّات الحراريّة التي تحرك الحرارة من الهواء البارد في الخارج إلى داخل البيت السّاخن، أو استعمال مكيّفات الهواء التي تنقل الحرارة من داخل البيت البارد إلى الهواء السّاخن في الخارج. ولكن، دون جهد خارجي، يكون اتجاه انتقال الحرارة دائمًا من السّاخن إلى البارد. إذن، القانون الثاني منطقيّ جدًا كالقانون الأول *.

يعيد **القانون الثّالث في الدّيناميكا الحراريّة** صياغة ما تعلمناه حول الحدّ الأدنى لدرجة الحرارة:
لا يمكن أن يصل أيّ نظام إلى درجة حرارة الصّفر المطلق.

كلما حاول الباحثون الوصول إلى $\frac{1}{10^6}$ درجة الحرارة الأقلّ هذه تتبين صعوبة الاقتراب منها. لقد استطاع الفيزيائيون الوصول إلى1 كلفن. ولكنهم لن يصلوا إلى درجة منخفضة مثل 0 كلفن.

6.6 الإنتروبي

ينصّ القانون الأول في الدّيناميكا الحرارية على أنّ الطّاقة لا تفنى ولا تُستحدث. وهذا يتعلق بكمية الطّاقة. أمّا القانون الثّاني فيتعلق بجودتها، أي عندما تنتشر وفي النهاية تتحلل إلى مخلفات.
وبهذه النظرة الواسعة، يمكن صياغة القانون الثّاني بما يلي:

تميل الطّاقة ذات الجودة العالية في العمليّات الطّبيعيّة إلى التّحول إلى طاقة ذات جودة منخفضة؛ أي أن التّرتيب يميل إلى عدم التّرتيب (الفوضى).

إنّ العمليات التي تكون نتيجتها التّرتيب من الفوضى دون مساعدة خارجيّة لا تحدث عادة في الطّبيعة. ومن المدهش، أن يتدخل الزّمن في الاتجاه من خلال قاعدة الدّيناميكا الحراريّة هذه. يكون اتجاه سهم الزّمن دائما من المرتّب إلى الأقلّ ترتيبًا**.

يمكن صياغة قوانين الدّيناميكا الحراريّة بالطّريقة التالية: لا يمكنك الربح (لا يمكنك أخذ طاقة من النظام أكثر مما تعطيه)، ولا التّعادل (بسبب عدم أخذك طاقة مفيدة بقدر ما تعطي)، ولا يمكنك ترك اللعبة أيضا (يستمر الإنتروبي في الكون في الازدياد).

*يعود ابتداع قوانين التّحريك الحراريّ إلى ثمانينيّات القرن الثّامن عشر، في ذلك الوقت، تم استبدال الأحصنة والعربات التي تجرها الأحصنة لتحلّ مكانها السّيارات التي يحركها البخار. وهناك قصة للمهندس الذي حاول شرح طريقة عمل الآلة البخارية إلى فلاح. فقد شرح المهندس بالتفصيل دورة الآلة البخارية، كيف يدفع البخار المتمدد المكبس، وكيف يدير العجلات. ففكّر الفلاح قليلا وسأل: "نعم، أنا أفهم ذلك، ولكن أين الحصان؟ توضّح هذه القصة، كم كان صعبًا خلخلة التفكير حول العالم عندما تأتي طريقة جديدة لتبديل الطرق المألوفة. فهل نحن مختلفون اليوم؟

** في القرن الماضي حينما كانت السينما حديثة العهد، كان المشاهدون يندهشون من رؤية القطار يتوقف على بعد إنشات من البطلة المربوطة بسكّة الحديد. لقد صُوِّر الشريط السينيمائيّ ابتداءً والقطار متوقف على بعد إنشات من البطلة، ثم حُرّك الشّريط بشكل عكسيّ، مكتسبًا سرعة. وعند عكسه يُرى القطار متحركًا نحو البطلة. (في المرة القادمة، أنعم النظر جيدًا في دخان إشارة الخطر عند دخولها المدخنة).

إنّ فكرة ميل الطّاقة المنظمة إلى طاقة غير منظمة متضمنة في مفهوم *الإنتروبي**. **الإنتروبي** مقياسٌ لكيفية انتشار الطّاقة نحو الفوضى من النّظام. وعند زيادة الفوضى، تزداد الإنتروبي. ومثال ذلك ما يلي: لا يمكن لجزيئات عادم السيارة الاتحاد آنيًّا لتكوين جزيئات جازولين أكثر تنظيمًا. ولا يمكن إرجاع انتشار الهواء الساخن في أرجاء الغرفة كلّها، عند فتح باب الفرن، إلى الفرن ذاتيًّا. كلّما سمح لنظام فيزيائيّ أن ينشر طاقته بحريّة، فإنه يعمل ذلك دائمًا بحيث يزيد الإنتروبي، في حين تنقص طاقة النظام المتوافرة لعمل شغل**.

ولكن عند القيام بشغل على النّظام كما الحال في الكائنات الحية، فإنّ الإنتروبي للنظام يمكن أن ينقص. إنّ الكائنات الحية جميعها؛ من البكتيريا، إلى الأشجار، إلى الجنس البشري، يستخلصون الطّاقة من محيطهم، ويستخدمون هذه الطّاقة لزيادة تنظيم أنفسهم. وتزيد عملية استخلاص الطاقة الإنتروبي في مكان آخر. (مثلًا، تحطيم جزيئات الغذاء العالية التنظيم إلى جزيئات أصغر) وهكذا، فإنّ أشكال الحياة، وإنتاج المخلّفات تزيد الإنتروبي كمحصلة. يجب أن تتحول الطّاقة ضمن النّظام الحيّ لدعم حياته. عندما لا يتم ذلك، فإنّ الكائن الحيّ سرعان ما يموت، ويميل نحو الفوضى.

7.6 السّعة الحراريّة

حينما تأكل، ربما لاحظت أنّ بعض الأطعمة تبقى ساخنة أكثر من الأخرى. ففي حين تحرق حشوة شطيرة التّفاح لسانك، فإنّ قشرتها لا تكون كذلك، حتى عندما تكون الشّطيرة خارجة للتّوّ من الفرن. ويمكنك تناول قطعة الخبز المحمّصة بعد ثوانٍ قليلة من خروجها من آلة التحميص، ولكنك تحتاج إلى الانتظار عدة دقائق لكي تتمكّن من تناول الحساء الّذي له درجة الحرارة نفسها.

تختلف السّعة الحراريّة لتخزين الطّاقة باختلاف المواد. إذا سخّنا وعاء ماء في الفرن، فربما يحتاج ذلك إلى 15 دقيقة لرفع درجة حرارته من درجة حرارة الفرن إلى درجة حرارة الغليان. ولكن الكتلة نفسها من الحديد تحتاج إلى دقيقتين لرفعها إلى مدى درجات الحرارة نفسها. أما للفضّة، فإنّ درجة الحرارة تكون أقلّ من دقيقة. نحتاج إلى كمّيات حرارة مختلفة لرفع درجات حرارة مواد مختلفة إلى المقدار نفسه من الدرجات***.

كما ذكرنا سابقًا، يحتاج 1جم من الماء إلى سعر واحد من الطّاقة لرفع درجة حرارته درجة مئوية واحدة. ويلزم $\frac{1}{8}$ هذه الطّاقة تقريبًا لرفع درجة حرارة 1جم من الحديد درجة سيليزية واحدة. يمتص الماء حرارة أكثر من الحديد للتغير نفسه في درجات الحرارة. وبذلك نقول: إنّ السّعة الحراريّة النوعيّة للماء (وأحيانًا تسمّى *الحرارة النوعيّة*) أعلى:

تعرف السّعة الحراريّة النوعيّة (Specific Heat Capacity) لأيّ مادة على أنها كمّيّة الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارة وحدة الكتلة لتلك المادة بمقدار درجة سيليزية واحدة.

الشّكل 10.6
الإنتروبيّ.

يفيد الماء في أنظمة تبريد السّيارات وكثير من الآلات؛ لأنّه يمتصّ كميات حرارة كبيرة لتغيير قليل في درجة الحرارة. كما أنه يحتاج إلى فترة طويلة حتى يبرد.

الشّكل 11.6
يمكن أن يظلّ محتوى شطيرة التفاح ساخنًا جدًا بحيث لاتستطيع أكله، أمّا القشرة فلا تكون كذلك.

* يمكن التعبير رياضيًا عن الإنتروبي كالآتي: تساوي الزيادةُ في الإنتروبيّ (ΔS) لنظام ديناميكيّ حراريّ كميةَ الحرارة المضافة للنظام. (ΔQ). مقسومة على درجة الحرارة (T). التي أضيفت عندها الحرارة. أي أنّ: $\Delta S = \Delta Q/T$.

** كما خمّن الفلاسفة، من المدهش بما فيه الكفاية . أنّ الكاتب الأميركي رالف والدو إيمرسون *Ralph Waldo Emerson*. الذي عاش خلال الفترة التي كان فيها القانون الثاني في الدّيناميكا الحرارية هو العلم الجديد. أن ليس كلّ شيء يميل إلى الفوضى مع مرور الزمن. واستشهدوا بالتّفكير البشريّ على ذلك. حيث نقّحت الأفكار حول طبيعة الأشياء. وتطورت. ونظّمت بشكل أفضل من خلال مناقشتها مع الأجيال المتعاقبة. وهكذا. فإنّ التّفكير البشريّ يتطور نحو الترتيب.

*** في حالتي الفضّة والحديد. فإنّ لذرات الفضّة ضعف كتلة ذرات الحديد. تحتوي كتلة معينة من الفضّة على نصف عدد الذرات من الفضّة التي تحتويها الكتلة نفسها من الحديد. لذا نحتاج إلى نصف الحرارة لزيادة درجة حرارة الفضّة. وهذا يعني أن السّعة الحرارية للفضّة هي نصف السّعة الحراريّة للحديد.

حساب العلوم الطّبيعيّة

حلّ المسألة

إذا علمت أنّ السّعة الحراريّة النوعيّة لمادة (c)، فإنّ:

الحرارة المنتقلة = السعة الحراريّة النوعية × الكتلة × التغير في درجات الحرارة. ويمكن التعبير عن ذلك بالصيغة التالية:

$$Q = cm\Delta T$$

حيث Q هي كمية الحرارة. أما c فهي الحرارة النوعية للمادة، في حين تمثّل m الكتلة، و ΔT التّغيّر في درجات الحرارة المقابلة. وعندما تكون m بالجرامات، تكون السّعة الحراريّة النّوعيّة للماء 10 سعرات لكلّ جم لكلّ درجة سيليزية، وتكون Q بالسّعرات.

عينة مسألة 1

كم تصبح درجة حرارة خليط من 50 جم من الماء على درجة حرارة 20°س و50 جم من الماء على درجة حرارة 40°س؟

الحلّ:

الحرارة التي يكتسبها الماء البارد تساوي الحرارة التي يفقدها الماء السّاخن. لأنّ كتلتي الماء متساويتان، لذا، تكون درجة حرارة الخليط هي متوسط الدرجتين، أي 30°س. وهكذا يصبح عندنا 100 جم من الماء عند درجة حرارة 30°س.

عينة مسألة 2

خذ خليطًا مكوّنًا من 100 جم من الماء عند درجة حرارة 25°س مع 75 جم من الماء عند درجة 40°س. بيّن أنّ درجة الحرارة النهائية للخليط هي 31.4°س.

الحلّ:

هنا، خُلِطت كتل مختلفة من الماء معا. نساوي بين كمية الحرارة التي اكتسبها الماء البارد و كمية الحرارة التي فقدها الماء السّاخن. يمكن التعبير عن هذه المعادلة رياضيًّا. ومن ثَمَّ ترشدنا القيم المحسوبة إلى الحلّ:

الحرارة التي يكتسبها الماء البارد = الحرارة التي يفقدها الماء الساخن

$$cm_1\Delta T_1 = cm_2\Delta T_2$$

حيث ΔT_1 لا تساوي ΔT_2، كما هو الحال في عينة المسألة 1: بسبب اختلاف كتل الماء. وبقليل من التفكير يتبيّن أنّ ΔT_1 هي درجة الحرارة النّهائيّة مطروحًا منها 25°س. ولأنّ T أكبر من 25°س. فإنّ ΔT_2 هي 40°س مطروحًا منها T؛ لأنّ T أقلّ من 40°س. إذن

$$c(100\ g)(T - 25) = c(75\ g)(40 - T)$$

$$100T - 2500 = 3000 - 75T$$

$$T = 31.4°C$$

عينة مسألة 3

يزودنا التّحلّل الإشعاعيّ داخل الأرض بالطّاقة اللازمة لحفظ جوفها ساخنًا، مولدًا الصهارة. كما أنّه يزوّد الينابيع الحارة الطبيعية بالدفء. ويعود ذلك إلى معدل إطلاق 0.03 جول تقريبًا لكلّ كجم في السّنة. بيّن أنّ الزمن اللازم لارتفاع درجة حرارة صخرة معزولة 500°س (افترض أنّ السّعة الحراريّة لعينة الصّخرة هو 800 جول لكلّ كجم لكلّ درجة سيليزية) هو 13.3 مليون سنة.

الحلّ:

نتحول هنا إلى الصّخرة، ونطبق المفاهيم نفسها. كما نعبّر عن الحرارة النوعية بالجول لكلّ كيلو غرام لكلّ درجة سيليزية. لم تحدّد كمية الكتلة، لذا فإننا نحسب كمية الحرارة/ الكتلة (لأنّ الإجابة يجب أن تكون متماثلة بغض النظر عن قيمة الكتلة).

من $Q = cm\Delta T$ حيث نقسم على m ونحصل على $Q/m = c\Delta T$

800°(جول/كجم.س) × 500°س = 400000 جول/كجم.

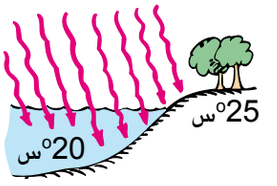
الزمن اللازم هو 400000 جول/كجم ÷ 0.03 جول/كجم.سنة = 13.3 مليون سنة.

ومع ذلك يبقى جوف الأرض ساخنًا!

يمكننا التّفكير في السّعة الحراريّة النوعية كقصور ذاتيّ حراريّ. تذكر أنّ مصطلح القصور الذاتيّ يستخدم في الميكانيكا للدّلالة على مقاومة الجسم للتّغيّر في حالته الحركيّة. تدل السّعة الحراريّة النوعيّة على مقاومة المادة للتغير في درجة حرارتها. مثلها مثل القصور الذّاتي الحراريّ.

السّعة الحراريّة النّوعيّة العالية للماء

تبلغ سّعة الماء الحراريّة لتخزين الطّاقة الحراريّة أكبر من أيّ مادة أخرى. ويعزى كبر السّعة الحرارية للماء إلى الطرق المختلفة التي يمتصّ بها الطاقةَ. تزيد الطّاقةُ الممتصة من المادة الحركةَ الاهتزازيّة لجسيمات تلك المادة، فترتفع درجة الحرارة. ويتضمن هذا عادة امتصاصَ الطاقة الحركة الاهتزازية وزيادة درجة الحرارة. وعندما نقارن جزيئات الماء مع الذّرات في الفلزّ نجد العديد من الطرق التي تمتّص بها جزيئات الماء الطّاقة دون زيادة الطّاقة الحركيّة الانتقاليّة. ولهذا يكون للماء سعة حرارية نوعية أكبر من الفلزّات. وكذلك أكثر من معظم المواد المألوفة.



الشّكل 12.6

لأنّ السّعة الحراريّة النوعيّة للماء عالية وهو شفاف، فإنه يحتاج إلى طاقة لتسخينه أكثر من تلك اللازمة لتسخين الأرض. تتركز الطّاقة الشّمسيّة التي تضرب الأرض عند السّطح، أما الطّاقة التي تسقط على الماء فتتمدّد إلى تحت السّطح، لذا تقلّ.

نقطة فحص

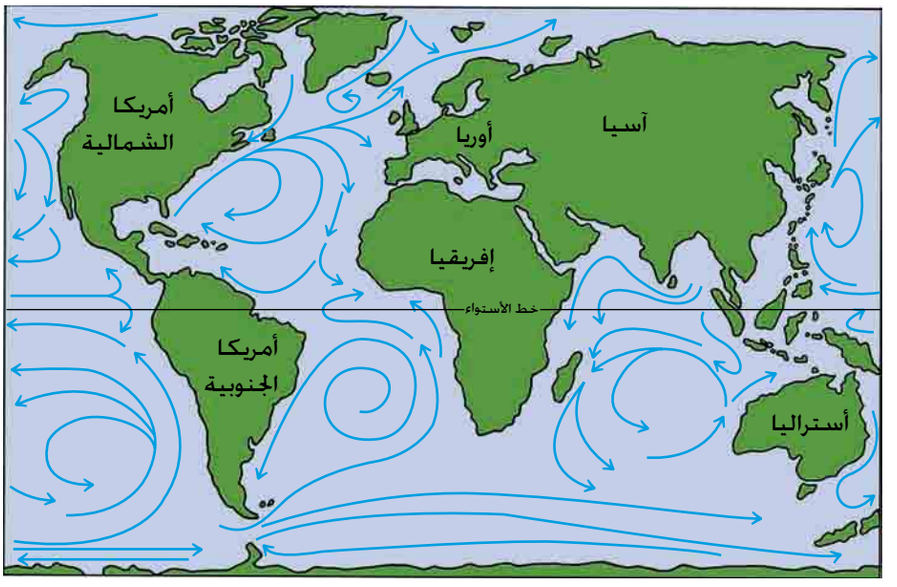
1. أيّهما له سعة حراريّة نوعيّة أعلى: الماء أم الرّمل؟ وبصيغة أخرى، أيهما يحتاج إلى وقت أطول ليسخن في النهار، أو وقت أطول ليبرد في الليل؟
2. لماذا تبقى قطعة بطيخ باردة فترة زمنيّة أطول من الشّطائر التي تخرج من المبردات في الوقت نفسه عند القيام برحلة، أو في الأيام الحارة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. الماء له أعلى سعة حراريّة نوعيّة. عند تعرضهما لأشعة الشّمس نفسها، ترتفع درجة حرارة الماء أقلّ من ارتفاع درجة حرارة الرملّ. ويبرد الماء ببطء أكثر في أثناء الليل. (إنّ ما تشعر به عندما تمشي أو تركض حافي القدمين فوق رمل حار في أثناء النهار يختلف عما تشعر به في أثناء الليل!) يؤثر انخفاض السّعة الحرارية النوعية للرّمل أو الأرض، كما يستدل عليه بسرعة السّخونة في صباح يوم مشمس، وسرعة البرودة في أثناء الليل في المُناخات المحليّة.
2. "القصور الحراريّ" (الإنتروبي) للبطيخ أكبر منه في الشّطيرة، كما أنّها تقاوم التّغير في درجات الحرارة بشكل أكبر. هذا القصور الذاتيّ الحراريّ هو السّعة الحراريّة النوعيّة.

تؤثر السّعة الحراريّة النوعيّة للماء في مُناخ العالم. انظر إلى الكرة الأرضية، ولاحظ بُعد أوربا عن خطّ الاستواء. يحافظ ارتفاع السعة الحرارية النوعية للماء على مناخ لطيف في أوربا أكثر من مناطق شمال شرق كندا التي لها خطوط العرض نفسها. تستقبل كلّ من كندا وأوربا الكمية نفسها من ضوء الشمس تقريبًا لكلّ كيلو متر مربع. ولحسن حظّ الأوربيين، فإنّ تيارات المحيط الأطلسي المعروفة بتيارات الخليج، تحمل الماء الساخن إلى الشّمال الشّرقيّ من البحر الكاريبي، محتفظة بالكثير من طاقتها الحرارية فترة طويلة إلى شمال المحيط الأطلسي على شواطىء أوربا. وهناك يطلق الماء 4.18 جول من الطاقة لكلّ جرام من الماء، والتي تبرد بمعدّل درجة سيليزية واحدة. وتحمل هذه الطّاقة بالرياح الغربية فوق القارة الأوربية*.

كما أنّ الأثر نفسه يحدث في الولايات المتحدة، فإنّ معظم الرّياح في أمريكا الشّماليّة هي غربية. تتحرك الرّياح في أمريكا الشّماليّة من المحيط الهادي إلى اليابسة. وفي أشهر الشتاء، تكون مياه المحيط أدفأ من الهواء. يندفع الماء الساخن فوق الهواء، ومن ثم يتحرك فوق المناطق السّاحلية، مما يسهم في تبريد الطقس. أما في الصيف فيحدث العكس باندفاع الهواء فوق الماء حاملًا الماء البارد إلى المناطق السّاحليّة. إنّ السّاحل الشّرقيّ لا يستفيد من الآثار الملطّفة للماء لأنّ اتجاه الهواء من اليابسة إلى المحيط



الشّكل 13.6
تيارات المحيط المتعددة المبينة بالأزرق، توزع الحرارة من المناطق الاستوائيّة الساخنة إلى المناطق القطبيّة الباردة.

* يعد وجود التيارات النّفاثّة في أعالي الغلاف الجوي مساهمًا كبيرًا لتدفئة أوربا.

الأطلسي. وبسبب انخفاض السّعة الحراريّة النوعيّة لليابسة تسخن اليابسة في الصّيف، ولكنها تبرد بسرعة في الشتاء.

لا تتكون درجات الحرارة القصوى في الجزر وشبه الجزر، والتي تكون مألوفة في المناطق الداخلية للقارة. إنّ درجات الحرارة المرتفعة في الصيّف والمنخفضة في الشتاء المألوفة في مانتوبا وداكوتا، مثلا، تنتج عن كبر المسطحات المائية إلى حدّ بعيد. ويجب على الأوربيين، وسكان الجزر، والناس الذين يعيشون بالقرب من تيارات المحيط الهوائية أن يكونوا مسرورين لأنّ للماء سعة حرارية نوعية عالية. وبالتأكيد فإنّ سكان سان فرانسيسكو كذلك.

■ **نقطة فحص**

إنّ جزيرة برمودا قريبة من كارولينا الشمالية، ولكن، على عكسها فإنّ مُناخها استوائيّ على مدار السنة. لماذا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

برمودا جزيرة، تدفأ بالماء المحيط بها، والتي لولاه لكانت باردة. والماء يبردها، والتي لولاه لكانت دافئة.

■ 8.6 التّمدد الحراريّ

عند زيادة درجة الحرارة لمادة ما، فإنّ جزيئاتها تهتّز بسرعة، وتتحرك مبتعدة بعضها عن بعض؛ إنّها تتمدّد حراريًّا. إنّ معظم المواد تتمدّد عندما تسخن، وتتقلّص عندما تبرد. ومع ذلك، فإنّ هذه التغيرات قليلة وغير مُلاحَظة أحيانًا ، وفي أحيان أخرى تكون مُلاحَظة. تتدلى أسلاك التلفزيون وتصبح أطول في أيام الصّيف الحارّة أكثر مما هي عليه في أيام الشتاء الباردة. كما أنّ مساراتِ سكة الحديد التي تمّ تركيبها في فصل الشتاء البارد، تتّحدُ وتنثني في أيام الصّيف الحارة (الشكل 14.6). وعادة ما ترتخي أغطية علب العصير عند تعرضها للماء الساخن. إذا سَخَّنت قطعة من الزّجاج أو بردتها بسرعة أكثر من الجزء المجاور، فإنّ التّمدّد أو التّقلّص النّاتج يمكن أن يكسرها، وهذا صحيح خصوصا في الزّجاج السّميك. أما زجاج (البايركس) فهو استثناء؛ لأنه مصمم بحيث يتمدّد قليلا بزيادة درجة الحرارة.

يُفسِّر التّمدّد الحراريّ صوت الصّرير الذي يُسمع في الأدوار العليا من المباني القديمة في الليالي الباردة.

الشّكل 14.6

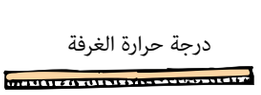
التّمدد الحراريّ. الحرارة الشّديدة في يوم من أيام تموز يسبب ثني مسارات سكّة الحديد.

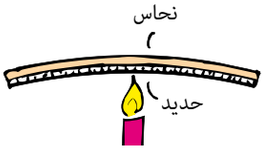
الشّكل 15.6
تركب إحدى نهايتي الجسر على هزازات لتسمح بالتّمدد الحراريّ. وتثبت النهاية الثانية (غير مرئية).

الشّكل 16.6
تسمى هذه الفجوة في الطريق على الجسر وصلة التمدد، وتسمح للجسر بالتّمدّد والتّقلّص. (في أيّ يوم أخذت هذه الصورة؛ في يوم حار أم بارد؟)

يجب أن يؤخذ التّمدّد الحراريّ في الحسبان في الهياكل والأجهزة للأنواع جميعها. يستخدم المهندس المدنيّ الفولاذ المقوّى الذي له المعدّل نفسه لتمدّد الخرسانة. وعادة ما يكون للجسر الفولاذي الطّويل طرف مثبت، في حين يستقر الآخر على هزازة (الشكل 15.6). لاحظ أنّ العديد من الجسور لها حزّ ولسان تسمّى *وصلات التّمدّد* (الشكل 16.6). وبالمثل، تقطع الطّرقات الخرسانيّة والأرصفة بفجوات تُملأ غالبًا بالقطران، لذا يمكنها التّمدد في الصّيف والتّقلّص في الشّتاء بحرّيّة.

تتضح حقيقة أنّ المواد المختلفة تتمدد بمعدلات مختلفة بشكل واضح في المزدوج (الشكل 17.6). يصنع هذا الجهاز من شريحتين من فلزّين مختلفين ملحومتين معًا، إحداهما من النحاس، والثّانية من الحديد. وعند التسخين، تلتوي شريحة النحاس الأكثر تمدّدا. ويمكن استخدام هذا الالتواء لإدارة مؤشر، تنظيم صمام، أو لإغلاق مفتاح.





الشّكل 17.6
تسمى هذه الفجوة في الطريق على الجسر وصلة التمدد، وتسمح للجسر بالتّمدّد والتّقلّص. (في أيّ يوم أخذت هذه الصورة؛ في يوم حار أم بارد؟)

وكتطبيق عمليّ للشّريط المزدوج الملفوف على شكل منظم للحرارة (انظر الشّكل 18.6). عندما تصبح الغرفة باردة جدًّا، ينثني الملفّ في اتّجاه الجزء النحاسيّ حيث ينشّط مفتاح الدّارة الكهربائيّة الذي بدوره يشغّل المسخّن. وعندما تسخن الغرفة ينثني الملفّ نحو الجزء الحديديّ الذي يفتح دارة التسخين. وتستخدم هذه الأشرطة المزدوجة كموازين حرارة في الأفران، والثّلاجات، ومحمّصة الخبز الكهربائيّة. وكذلك في أجهزة أخرى عديدة.

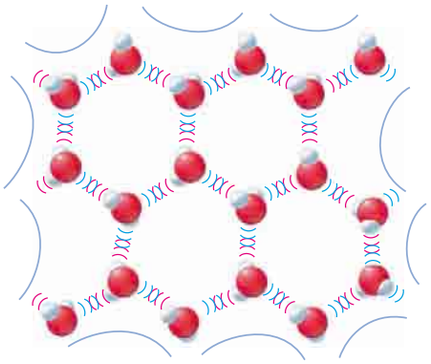
تتمدّد السّوائل بزيادة درجة الحرارة أكثر من تمدّد المواد الصّلبة. ونلاحظ ذلك بانسياب الجازولين من خزان السّيارة في أيام الصّيف الحارّة. فلو تمدّد محتوى الخزّان ومادته بالمعدل نفسه، لما حدث أيّ تسرّب للجازولين. ولهذا السبب، يجب ألا يُملأ خزّان الوقود في الصّيف بالكامل، خاصة في الأيام الحارّة.

9.6 تمدّد الماء

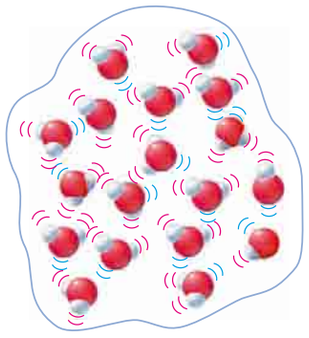
يتمدّد الماء عند تسخينه كمعظم المواد. ولكن من المدهش أنه لا يتمدد في مدى درجات الحرارة من (4-0)س°. ففي هذا المدى، يحدث شيء ساحر جدًا.

يوجد تركيب بلوريّ مفتوح للجليد، وتكون هناك فراغات بين جزيئات الماء في هذا التركيب المفتوح أكثر منه في طور السّائل (الشكل 19.6). وهذا التركيب لا ينهار بالكامل عند انصهار الجليد، حيث يبقى جزء منه في الخليط، مكوّنًا من ثلج مذاب دون مجهري والذي "ينفخ" الماء قليلا -

الشّكل 18.6
منظّم الحرارة. عند تمدد الشريط المزدوج الملفوف، تتدحرج قطرة الزئبق السائل بعيدًا عن منطقة التوصيل الكهربائي، فتقطع الدائرة الكهربائية، وعند انكماش الملف يتدحرج الزئبق في اتجاه معاكس لاتجاه الانكماش لتكتمل الدائرة الكهربائية.



ثلج (أقل كثافة)



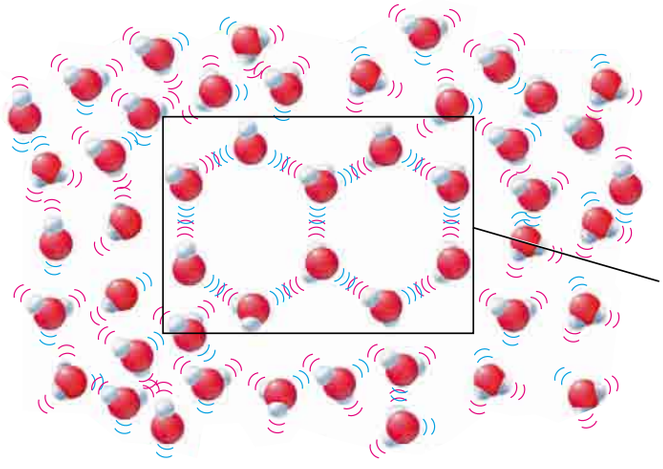
سائل الماء (اكثف)

الشّكل 19.6
جزيئات الماء السّائل أكثر كثافة من جزيئات الماء المتجمّد في الثّلج، والتي لها تركيب بلّوريّ مفتوح.

يزيد من حجمه قليلا (الشكل 21.6). وتكون النتيجة أن يصبح الماء المتجمّد أقل كثافة قليلًا من الماء السّاخن. وعند زيادة درجة حرارة الماء عند الصّفر المئويّ، يتحطم المزيد من بلّورات الجليد. وينقص انصهار مزيد من بلورات هذا الجليد المتبقي من حجم الماء. وهنا تحدث عمليتان متعاكستان للماء في الوقت نفسه: تقلّص وتمدّد. يتناقص الحجم نتيجة تحطّم بلورات الجليد. في حين يزداد الحجم بسبب زيادة الحركة الجزيئيّة. ويسيطر أثر تحطم بلورات الجليد على أثر زيادة الحركة حتى درجة 4° س. وبعد ذلك، يتغلب التّمدّد على التّقلّص بسبب ذوبان معظم بلورات الجليد (الشكل 22.6).

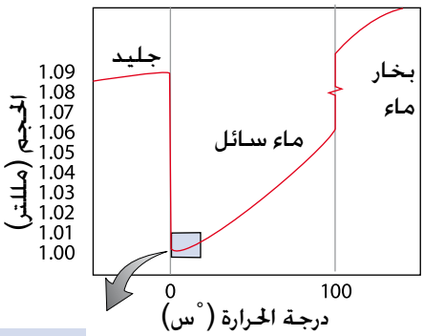
تتجمّد البرك من الأعلى إلى الأسفل. ويكون سُمك الجليد في الشّتاء البارد أكثر مما في الشّتاء المعتدل. وتكون درجة حرارة البركة المغطاة بالجليد عند أسفل طبقة الجليد 4° س. وهو أدفأ للكائنات الحيّة منها عند السّطح. ومن المهم أنّ المسطّحات المائية العميقة لا تتغطّى بطبقة جليد حتى في أيام البرد الشّديد. ويعود ذلك إلى أنّ الماء جميعه يجب أن يبرد إلى درجة 4° س، قبل أن تنخفض درجات حرارة أقلّ من ذلك. إنّ طول الشتاء لا يكون طويلًا بما فيه الكفاية لإنقاص درجة حرارة البركة بالكامل إلى 4° س، أي أنّ الماء على درجة 4° س يكون في القاع بسبب السّعة الحراريّة العالية له. وضعف التّوصيل الحراري، وأنّ قاع المياه العميقة، يبقى عند درجة حرارة 4° س طوال أيام السّنة. وهذا مفيد لحياة الأسماك.

الشّكل 20.6
تركيب الكسفة الثّلجيّة ذات الجوانب – السّتّة هي نتاج البلّورات الثّلجيّة ذات الجوانب السّتّة المكوّنة لها. وتتكوّن هذه البلّورات في معظمها من بخار الماء، وليس الماء السّائل. إنّ معظم الكسفات الثّلجيّة ليست متماثلة كالكسفة المبيّنة هنا.

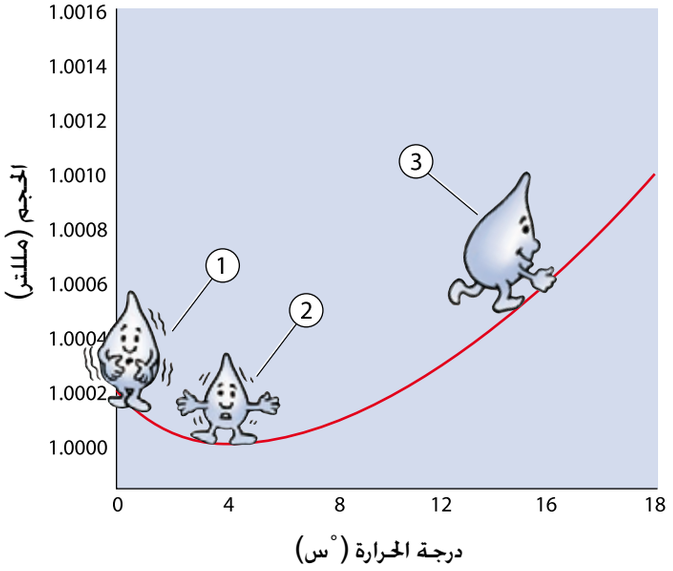


بلورات الثلج تقريبًا هي ماء سائل مجمد.

الشّكل 21.6
قريبًا من الصّفر السيليزي، يحتوي الماء السّائل على بلّورات من الجليد. كما أنّ التّركيب المفتوح لهذه البلّورات يزيد من حجم الماء قليلًا.

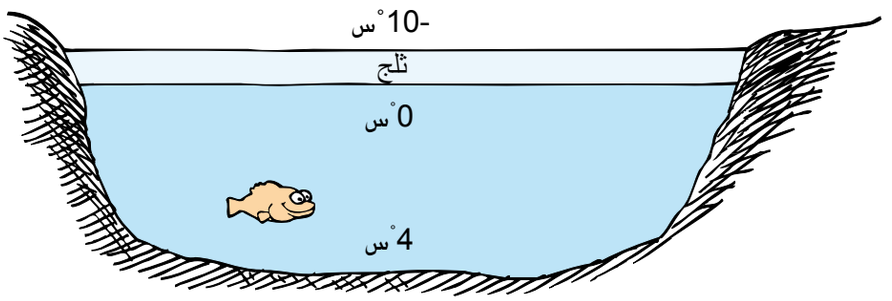


الشّكل 22.6
يتناقص حجم الماء السّائل بزيادة درجة الحرارة بين 0°س و4°س. ولكن عند أعلى من 4°س يفوق التّمدّد الحراريّ التّقلّص، ويزداد الحجم بزيادة درجة الحرارة.



لأنَّ كثافة الماء تكون أعلى ما يمكن عند درجة 4°س، يرتفع الماء البارد ويتجمّد عند السّطح. وهذا يعني أنّ السّمك يكون دافئًا نسبيًّا.

1. سيكون سائل الماء منتفخًا تحت درجة 4°س ببلورات الجليد.
2. عند التسخين تتحطم البلورات. منتجة حجمًا أقل للماء السائل.
3. أعلى من 4°س. يتمدد الماء السائل عند تسخينه بسبب الزيادة.



الشّكل 23.6
عندما يبرد الماء، يغطس حتى تصبح البركة كلها عند درجة 4°س. وبعد برودة الماء على السّطح أكثر يطفو فوق السّطح، ويمكن أن يتجمد. وعند بدء تشكّل الجليد تنخفض درجة الحرارة إلى أقلّ من 4°س، ثم يستمر الانخفاض إلى أسفل البركة.

■ **نقطة فحص**

1. ما درجة الحرارة بالضبط عند قاع بحيرة ميتشجان (Michigan) في رأس سنة 1901م؟
2. ماذا يوجد داخل الفراغات المفتوحة في بلورات الجليد المبينة في الشكل 19.6؟ هل هو هواء، أم بخار ماء أم لا شيء؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. درجة حرارة أي جسم مائيّ يحتوي على ماء عند درجة 4°س هي 4°س عند القاع. ولهذا السّبب تكون الصخور في القاع. إنّ كلّ ما في الماء على درجة حرارة 4°س، والصخور أكثر كثافة من الماء عند أيّ درجة حرارة. ويعدّ الماء موصلًا ضعيفًا للحرارة. فإذا كان الجسم المائي عميقًا، وفي منطقة يكون الشتاء فيها طويلًا والصّيف قصيرًا، يستمر الماء في الغالب عند درجة حرارة 4°س على مدار السّنة.
2. لا يوجد شيء في الفراغات المفتوحة؛ إنه فضاء فارغ. إذا كان هناك هواء أو بخار في هذه الفضاءات المفتوحة، فإنه يجب أن تُبيّن هذه التوضيحات وجود جزيئات فيها الأكسجين والنيتروجين من الهواء، و H_2O من بخار الماء.

درجات الحرارة القصوى

تصل درجة الحرارة السّطحيّة في الصّحراء الأسبانيّة والإفريقيّة، أو في آسيا الوسطى إلى 60°س (140°فهرنهايت). وهذه حرارة عالية جدًّا للحياة. ولكن ليس لأنواع معينة من النّمل الذي ينمو عند درجات الحرارة هذه. لذا فعند هذه الدرجة العالية جدًّا، يجوب نمل الصحراء بحثًا عن الطعام دون وجود السّحالي، التي لو كانت موجودة لافترسته. يستطيع هذا النّمل بمقاومته للحرارة، تحمّل درجات حرارة عالية أكثر من أيّ مخلوق آخر في الصّحراء. كيف يستطيع فعل ذلك؟ إنه موضوع قيد البحث الآن. يجوب النّمل الصحراء بحثًا عن الطعام في جثث المخلوقات التي لم تدفن في وقتها، ويلمس الرّمل بأقل قدر ممكن.

وعادة ما يمشي على أربع أرجل بأقصى سرعة ممكنة، منها اثنتان مرفوعتان في الهواء. ومع أنّ الطريق الذي يسلكه بحثًا عن الطعام متعرج فوق أرض الصحراء، إلا أنّ طريق عودته تكون في خطوات مستقيمة تقريبًا. يستطيع النمل التحرك بسرعة تبلغ 100 مرة قدر طولها في الثانية. وخلال فترة ستة أيام من حياته، يتغذى معظم النّمل على (15 - 20) مرة قدر وزنه من الطعام. لقد تطور لدى العديد من المخلوقات طرق للاستمرار في الحياة تحت أقسى الظروف في العالم من الصحراء إلى الأنهار المتجمدة. وهناك نوع من الدّود ينمو في القطب المتجمد الشّمالي.

تملأ بعض الحشرات أجسامها كاملا بمواد مضادة للتجمد كيلا تصبح جامدة متصلّبة. كما أنّ هناك بعض الأسماك التي تعيش تحت الجليد قادرة على فعل الشّيء نفسه. إضافة إلى أنّ بعض أنواع البكتيريا تعيش في الينابيع الحارة التي تصل حرارتها إلى درجة الغليان، نتيجة لاحتوائها على بروتينات مقاومة للحرارة.

إنّ فهم كيفية بقاء بعض المخلوقات حية في ظروف درجات الحرارة القصوى، يمكن أن يكون مفيدًا، ويؤدي إلى حلول للمشاكل والتحديات الفيزيائية التي تواجه البشرية. فرواد الفضاء عند مغامرة الخروج من الأرض، مثلًا، يحتاجون إلى جميع الآليات المتاحة للتكيف مع البيئة الجديدة.

ملخّص المصطلحات

درجة الحرارة Temperature: مقياس لسخونة المواد أو برودتها، وتتعلق بمعدل الطّاقة الحركيّة لكلّ جزيء في المادة، وتقاس بالدّرجات السيليزية، أو الدّرجات الفهرنهايتية، أو الكلفن.

درجة الصّفر المطلق Absolute Zero: درجة الحرارة النّظريّة التي لا تمتلك المادة عندها أيّ طاقة حركية.

الطّاقة الحراريّة Thermal energy: مجموع الطّاقة (حركية + وضع) للجسيمات التي تتكون منها المادة.

الحرارة Heat: الطّاقة الحراريّة التي تنساب من المادة التي درجة حرارتها أعلى، إلى المادة التي درجة حرارتها أقلّ. وتقاس عادة بالسُّعر أو الجول.

الدّيناميكا الحراريّة Thermodynamics : دراسة الحرارة وتحولاتها إلى أشكال الطّاقة الأخرى.

للقانون الأول في الدّيناميكا الحراريّة First law of thermodynamics: إعادة صياغة لقانون حفظ الطاقة، ويطبّق عادة على الأنظمة التي تتغير درجة حرارتها. كلما انسابت الحرارة من النظام، فإنّ كسب الطّاقة الحراريّة أو خسارتها يساوي كمية الحرارة المنتقلة.

للقانون الثّاني في الدّيناميكا الحراريّة Second law of thermodynamics: لا يمكن أن تنتقل الحرارة آليًّا من مادة باردة إلى مادة ساخنة. وكذلك في العمليات الطبيعية، تميل الطّاقة ذات الجودة العالية للتّحول إلى طاقة ذات جودة منخفضة؛ يميل النّظام إلى الفوضى.

للقانون الثالث في الدّيناميكا الحراريّة Third law of thermodynamics: لا يمكن لأيّ نظام أن يصل إلى درجة الصّفر المطلق.

الإنتروبي Entropy: مقياس لمدى تشتّت الطّاقة في النّظام. كلّما

تحولت الطّاقة من شكل إلى آخر فإنّ اتجاه التّحول يكون نحو الحالة الأكثر فوضى. ومن ثم، نحو الحالة التي تزيد فيها الإنتروبي.

السّعة الحراريّة النوعيّة Specific heat capacity: كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة كتلة من المادة بمقدار درجة سيليزية واحدة.

أسئلة مراجعة

1.6 درجة الحرارة

1. ما درجات الحرارة التي يتجمّد عندها الماء على المقياسين المئوي والفهرنهايتي؟ ما درجة غليان الماء بالمقياسين؟
2. هل درجة الحرارة لجسم ما هي مقياس لمجموع طاقة الحركة، أم لمجموع الجسيمات التي تكون الجسم، أم مقياس لمعدّل طاقة الحركة لكلّ جزيء من الجسم؟
3. ماذا تعني العبارة التالية: "يقيس ميزان الحرارة درجة حرارته"؟

2.6 الصّفر المطلق

4. كم ينقص ضغط الغاز لوعاء عندما تنقص درجة الحرارة درجة سيليزية واحدة؟
5. كم تتوقع أن يصبح الضّغط لغاز في وعاء صلب على درجة الصّفر السيليزي إذا برّدته بمقدار 273° س؟
6. ما درجة كلّ من تجمد الماء و غليانه على مقياس كلفن؟
7. ما مقدار الطّاقة التي يمكن أخذها من نظام على درجة الصّفر المطلق؟

3.6 الحرارة

8. عندما تلمس سطحًا باردًا، فهل تنتقل البرودة من السّطح إلى إصبعك؟ أم العكس ؟ فسّر.
9. ميّز بين درجة الحرارة وكميتها.
10. ميّز بين كمية الحرارة والطّاقة الحراريّة.
11. ما الذي يحدّد اتجاه انتقال الحرارة؟
12. هل البرودة هي المقابل للطّاقة الحراريّة أم نقصها؟

4.6 كمية الحرارة

13. كيف يتمّ تقدير قيمة الطّاقة في الغذاء؟
14. ميّز بين السُّعرين العلميّ والتجاريّ؟ يُكتب الأول باللغة الإنجليزية بحرف c calorie (صغير) والثاني بحرف C Calorie (كبير).
15. ميّز بين السُّعر والجول.

5.6 قوانين التحريك الحراريّ

16. اذكر القانون الأول في الدّيناميكا الحراريّة.
17. كيف يرتبط قانون حفظ الطّاقة بالقانون الأول في الدّيناميكا الحراريّة؟
18. اذكر القانون الثّاني في الدّيناميكا الحراريّة.
19. كيف يرتبط القانون الثّاني في الدّيناميكا الحراريّة باتجاه انسياب الحرارة؟
20. اذكر القانون الثّالث في الدّيناميكا الحراريّة.

6.6 الإنتروبي

21. تحت أيّ ظروف يمكن أن ينقص إنتروبي نظام ما؟

7.6 السّعة الحراريّة النّوعيّة

22. أيهما يسخن أسرع عند تعريضه للحرارة: الحديد أم الفضّة؟
23. هل للمادة التي تسخن أو تبرد بسرعة سعة حراريّة نوعيّة أعلى أم أقلّ؟
24. كيف تقارن السّعة الحراريّة النوعيّة للماء بالسّعة الحراريّة النوعيّة للمواد الأخرى؟

8.6 التّمدّد الحراريّ

25. لماذا ينحني السّلك المكوّن من فلزّين مع تغيّر درجة الحرارة؟
26. أيّ الموادّ تتمدّد أكثر عند تعرضّها للتغيّر نفسه في درجة الحرارة: الصّلبة أم السّائلة؟

9.6 تمدّد الماء

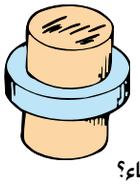
27. عند زيادة درجة حرارة جليد الماء البارد قليلًا، فهل تكون المحصّلة تمدّدا أم تقلّصا؟
28. ما السّبب في أنّ كثافة الجليد أقلّ من كثافة الماء؟
29. عند أيّ درجة حرارة يكون للماء أقلّ حجم لمجموع آثار التّقلّص والتّمدّد؟
30. لماذا يتكوّن الجليد عند سطح البركة وليس في قعرها؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● في غرفتك أشياء مثل: الطاولات، والكراسي، وأُناس آخرون. أيّ منها له درجة حرارة: (أ) أقلّ من درجة حرارة الهواء فيها؟ (ب) أكبر؟ (ج) مساوية؟
2. ● لماذا لا تتأكد مما إذا كانت درجة حرارتك عالية بلمس جبهتك؟
3. ● لماذا لا تتوقع أن يكون للجزيئات جميعها في الغاز السّرعة نفسها؟
4. ● أيّهما أكبر: زيادة في درجة الحرارة بمقدار 1°س، أم زيادة بمقدار 1 فهرنهايت؟
5. ● أيّهما له كمّيّة طاقة حراريّة أكبر: جبل جليد أم كأس قهوة ساخنة؟ فسّر.
6. ● على أيّ مقياس درجة حرارة يتضاعف معدّل الطّاقة الحراريّة للجزيئات عند مضاعفة درجة الحرارة؟
7. ■ تبلغ درجة الحرارة داخل الشّمس 10^7 درجة. هل يشكّل هذا فرقًا إذا ما كانت بالسيليزي أو بالكلفن؟ برّر إجابتك.
8. ■ لماذا تزداد درجة حرارة الغاز عندما يُضغط بسرعة؟
9. ● أيّ قوانين الدّيناميكا الحراريّة له استثناءات؟
10. ● ماذا يحدث لضغط الغاز داخل وعاء مغلق عند تسخينه، تبريده؟ لماذا؟
11. ● لماذا يزداد الضغط في إطارات السّيارات بعد أن تقطع مسافة ما؟
12. ● إذا أسقطت حجرًا ساخنًا في وعاء ماء فستتغيّر درجة حرارة الحجر والماء حتى تتساويا. فالحجر يبرد، أما الماء فيسخن. هل يصحّ هذا لو اسقطنا الحجر في المحيط الأطلسي؟ برّر اجابتك.
13. ● كان من المألوف قديمًا أن تصحب شيئًا ساخنًا معك إلى الفراش في ليلة شتاء باردة. أيهما أفضل لتشعر بالدفء طوال الليل: قطعة حديد كتلتها 15 كجم، أم قربة من الماء السّاخن كتلتها 15 كجم عند درجة الحرارة نفسها؟ فسّر.
14. ● يكون رمل الصحراء حارًّا جدًّا في النهار، وباردًا في الليل. ما علاقة هذا بالسّعة الحراريّة للرّمل؟
15. ● إنّ إضافة الكمية نفسها من الحرارة لجسمين مختلفين لا يُنتج بالضرورة الزيادة نفسها في درجة الحرارة. لماذا ؟
16. ● ما الدّور الذي تقوم به السّعة الحرارية النّوعيّة في بقاء البطيخ باردًا بعد إخراجه من الثلاجة في يوم حارّ؟
17. ● لماذا يساعد وجود المسطّحات المائيّة الكبيرة على تلطيف الجو للمحيط المجاور، حيث تجعلها أكثر دفئًا في الطّقس البارد وألطف في الطّقس الدافئ؟
18. ● إذا كانت الرّياح عند خط عرض سان فرانسيسكو وواشنطن، D.C هي من الشرق بدلًا من الغرب، لماذا يمكن لسان فرانسيسكو زراعة أشجار الكرز فقط، أما واشنطن فتزرع أشجار النخيل فقط؟
19. ● اذكر استثناء للادعاء بأنّ المواد جميعها تتمدّد عندما تسخن.
20. ● هل يعمل المزدوج الفلزي إذا كان للفلزين المختلفين معدل التمدد نفسه؟ برّر إجابتك.
21. ■ توصل الأطباق الفولاذية بمسامير تنزلق في ثقوب الأطباق وتُجلّس عادة بالمطرقة. إنّ سخونة المسامير تجعل عملية التجليس أسهل، ولكن للسخونة فائدة مهمة أخرى وهي الانطباق المحكم. فسّر.
22. ■ من الطرق المستعملة لتحطيم الصخور وضعها في النار، ثم صبّ الماء البارد عليها. لِمَ يساعد هذا على تكسيرها؟
23. ■ هناك طريقة لعلاج كؤوس الشرب الملتصق في بعض، وهي صبّ الماء بدرجات حرارة مختلفة داخل الكأس الداخليّة وعلى سطح الكأس الخارجية. أيّهما يصبّ فيها ماء ساخن، وأيّهما يصبّ فيها ماء بارد؟
24. ■ إذا سخّنت كرة فلزيّة فإنّها بالكاد تنفذ من حلقة فلزيّة. ماذا يحدث لو سخّنت الحلقة بدلًا من الكرة (كما هو مبين)- هل يزداد حجم الثقب، أم يبقى كما هو، أم ينقص؟

25. ■ بعد أن يُدخل الميكانيكي الأسطوانة النحاسية الباردة في حلقة الحديد الساخنة بإحكام، لا يمكن فصل احداهما عن الأخرى. فسّر.



26. ■ كيف يمكن مقارنة مجموع حجم بلايين الفضاءات السّداسيّة المفتوحة لتراكيب بلورات الجليد في قطعة جليد مع جزء من الجليد الطّافي فوق خطّ الماء؟
27. ■ افترض أنّك عملت فجوة في حلقة فلزيّة. إذا سخّنت الحلقة فهل تضيق الفجوة أم تتّسع؟

28. ■ اذكر ما إذا كان الماء عند درجات الحرارة التّالية يتمدّد أم يتقلّص إذا سخّن قليلا.
5°س، 4°س، 6°س.
29. ■ افترض أنّنا استخدمنا الماء بدلًا من الزئبق في ميزان الحرارة. إذا كانت درجة الحرارة عند 4°س، ثم تغيرت، لماذا لا يشير ميزان الحرارة إلى ارتفاع درجة الحرارة أو انخفاضها؟
30. ■ إذا حصل التّبريد عند قاع البركة بدلًا من سطحها، فهل تتجمّد البركة من القاع إلى أعلى؟ فسّر.

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

تعطى كمية الحرارة المتحررة أو الممتصة (Q) من مادة حرارتها النوعية (c) وكتلتها (m) وتتغير درجة حرارتها بمقدار (ΔT) بـ

$$Q = cm\,\Delta T$$

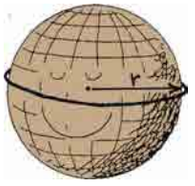
1. ● أحرق أحمد جوزة كتلتها 0.6 جم لتسخين 50 جم من الماء، فارتفعت درجة الحرارة من 22°س إلى 50°س. (السّعة الحراريّة للماء هي 1 سعر لكلّ غم لكلّ درجة سيليزية). (أ) افترض أنّ الكفاءة 4%، وأثبت أنّ القيمة الغذائيّة للجوزة هي 3500 سعر. (ب) بيّن أنّ قيمة الغذاء بالسّعرات لكلّ جرام هي 5.8 كيلو كالوري/جم (أو 5.8 سعر تجاريّ لكلّ جرام).

2. ■ إنّ دقّ مسمار في قطعة خشب يجعل المسمار ساخنًا. افترض مسمارًا من الفولاذ كتلته 5 جم، وطوله 6 سم، ومطرقة تبذل قوة عليه بمعدل 500 نيوتن تدفعه داخل قطعة الخشب، فيصبح المسمار أحمر. بيّن أنّ الزيادة في درجة حرارة المسمار هي 13.3°س. (افترض أنّ الحرارة النوعية للفولاذ هي 450 جول/كجم. °س.)
3. ■ إذا أردت تسخين 20 كجم من الماء بمقدار 20°س من أجل الاستحمام، فبيّن أنّ كمية الحرارة اللازمة هي 2000 كيلو سعر. ثم بين أنّ هذه تكافىء 8370 كيلو جول.
4. ■ إذا علمت أنّ السّعة الحراريّة النوعيّة للنحاس هي 0.092 سعر/ جم.°س. فبيّن أنّ كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة قطعة من النحاس كتلتها 10جم من 5°س إلى 100°س هي 92 سعرًا. كيف تقارن هذه مع الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الكتلة نفسها من الماء للفرق نفسه في درجات الحرارة؟
5. ● في المختبر، افترض أنّك غمرت 100جم من المسامير على درجة حرارة 40°س في 100جم من الماء على درجة حرارة 20°س.(الحرارة النوعية للحديد هي 0.12 سعر/جم.°س) ساوِ بين كمية الحرارة التي تفقدها المسامير وكمية الحرارة التي يكتسبها الماء، وبيّن أنّ درجة الحرارة النهائية للماء هي 22.1°س.

لحلّ المسائل أدناه، يجب عليك أن تعرف معدّل معامل التّمدّد الطّوليّ، والذي يختلف باختلاف المادة. يعرف بأنه التغير في الطّول (L) لكلّ وحدة طول- أو التغير الجزئيّ للطّول- لكلّ تغيّر في درجة الحرارة بمقدار1 س° . أي أنّ $\Delta L/L$ لكلّ °س.

للبلاتين، $\alpha = 24\times10^{-6}$ لكلّ درجة سيليزية.
وللفولاذ $\alpha = 11\times11$ لكلّ درجة سيليزية. يعطى التغير في الطول للمادة بـ $\Delta L = L\,\alpha\,\Delta T$

6. ● إذا علمت أنّ قضيبًا طوله 1م تمدد بمقدار 0.5 سم عندما سخن. بيّن أنه إذا سخّن قضيب طوله 100 متر بالمقدار نفسه، ومن المادة نفسها، فإنّ طوله يصبح 100.5متر.
7. ● افترض أنّ الدّعامة الرّئيسة من الفولاذ لجسر البوابة الذهبية التي طولها 1.3 كم ليس لها وصلات تمدّد. بيّن أنه عند زيادة درجة الحرارة بمقدار 15س°. فإنّ طول الدعامة يصبح أطول بمقدار 0.21 متر.
8. ■ تخيّل أنبوب فولاذ يلتفّ حول الأرض بإحكام بطول 40000 كم. وافرض أنّ النّاس الموجودين على طوله يتنفسون عليه لترتفع درجة حرارته بمقدار درجة سيليزية واحدة. يزداد طول الأنبوب. ويصبح رخوًا. ما مقدار ارتفاعه عن مستوى الأرض؟ بيّن أنّ الجواب مذهل: 70 مترًا أعلى! (للتبسيط، خذ تمدّد البعد الزّاويّ من مركز الأرض، وطبّق العلاقة التي تربط المحيط l بنصف القطر r ($l = 2\pi\,r$).



نشاط استكشافيّ

كم تحتوي حبّة الجوز من الطّاقة؟ احرقها واكتشف. إنّ حرارة اللهب هي الطّاقة النّاتجة عند تشكيل الرّوابط الكيميائيّة (ثاني أكسيد الكربون، CO_2، والماء H_2O). اثقب الجوزة بمثبت الورق (دبوس) الذي يمسك الجوزة فوق سطح الطّاولة (الجوزة المقسومة إلى نصفين تكون أفضل). أحضر علبة فيها ماء، تستطيع قياس التّغير في درجة حرارتها عند احتراق الجوزة. استعمل 10 مللترات تقريبًا من الماء وميزان حرارة سيليزيًّا. وعند إشعال الجوزة بالثقاب، ضع علبة الماء فوقها، وسجّل الزّيادة في درجة حرارة الماء عند انطفاء اللهب. يمكن حساب عدد السّعرات النّاتجة عن حرق الجوزة من العلاقة $Q = cm\,\Delta T$ ، حيث c السّعة الحراريّة النّوعيّة (1 سعر/جرام لكلّ درجة سيليزية)، و m كتلة الماء، و ΔT التغير في درجة الحرارة. يعبّر عن الطّاقة في الغذاء بدلالة السّعرات التّجاريّة وهي 1000 سعر مما نقيس. وعليه، لإيجاد عدد السّعرات التّجاريّة (في المواد الغذائية) اقسم الرّقم الذي توصلت إليه على 1000.

فحص الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدًا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من عشرة على الأقلّ. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤالٍ ما يلي:

1. تتناسب درجة الحرارة للمادة في العادة مع:
(أ) الطّاقة الحراريّة.
(ب) الطّاقة الحركيّة الاهتزازيّة.
(ج) معدّل الطّاقة الحركيّة الانتقاليّة.
(د) الطّاقة الحركيّة الانتقاليّة.
2. عند صبّ ثلاثة أرباع الماء السّاخن الموجود في وعاء آخر فارغ، فإنّ الوعاء يحتوي على:
(أ) الطّاقة الحراريّة.
(ب)حجم الماء الأصليّ.
(ج) درجة الحرارة نفسها.
(د) جميع ما ذكر.
3. يتجمّد الماء عند درجة حرارة:
(أ) 0°س.
(ب) 273 كلفن.
(ج) كليهما.
(د) لا شيء مما ذكر.
4. ببساطة، الحرارة هي:
(أ) درجة الحرارة.
(ب) الطّاقة الحراريّة.
(ج) الطّاقة الحراريّة التي تنساب من السّاخن إلى البارد.
(د) جميع ما ذكر.
5. قانون الدّيناميكا الحراريّة الذي يحدث فيه استثناءات هو القانون :
(أ) الأول.
(ب) الثّاني.
(ج) الثّالث.
(د) جميعها.
6. يزداد عدم الترتيب في خزانتك كلّ يوم، في هذه الحالة فإنّ الإنتروبي.
(أ) ينقص.
(ب) يزداد .
(ج) يبقى ثابتًا.
(د) لا شيء مما ذكر.
7. إذا قلنا إنّ للماء أعلى سعة حرارية نوعيّة، فكأننا نقول إنّ الماء:
(أ) يتطلب طاقة كبيرة حتى تزداد درجة حرارته.
(ب) يعطي طاقة كبيرة حين يبرد.
(ج) يمتص طاقة كبيرة لتغير قليل في درجة الحرارة.
(د) جميع ما ذكر.
8. يعتمد استخدام الأسلاك المزدوجة لقياس الحرارة على حقيقة أنّ المواد المختلفة تختلف في:
(أ) السّعات الحراريّة النوعيّة.
(ب) الطّاقات الحراريّة على درجات حرارة مختلفة.
(ج) معدّل التّمدّد الحراريّ.
(د) لا شيء مما ذكر.
9. تزداد كثافة الماء على درجة 4°س قليلًا عند:
(أ) تبريدها.
(ب) تسخينها .
(ج) كليهما.
(د) لا شيء مما ذكر.
10. يغطس الماء على درجة حرارة 4°س إلى قاع البركة بسبب:
(أ) وجود بلّورات جليد دون مجهريّة.
(ب) حاجة الأحياء البحرية إليه في الطّقس البارد.
(ج) تشكّل الجليد أولًا على سطح الماء.
(د) أنّه كالصخر، يكون الماء على درجة 4°س أكثف من الماء المحيط.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

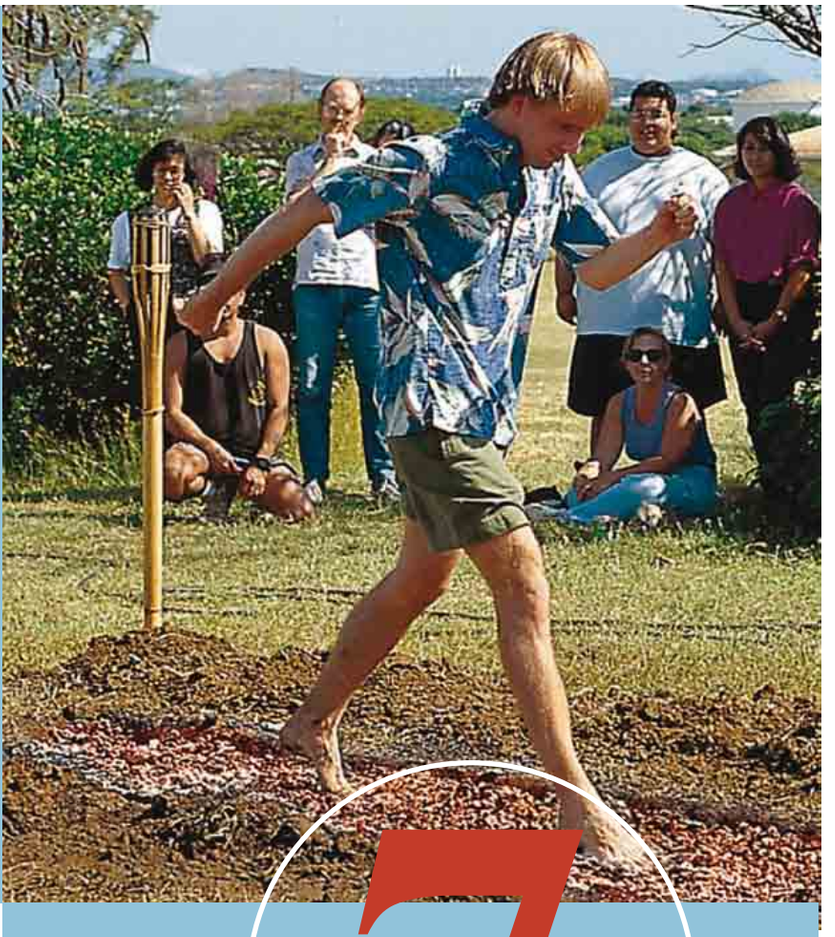
١٠ج، ٩ب، ٨د، ٧ب، ٦ب، ٥ج، ٤ب، ٣ج، ٢ب، ١ج

الفصل 6 مصادر على الشبكة

أشرطة فيديو

- درجات حرارة منخفضة باستعمال النيتروجين
- كيف يعمل جهاز تنظيم الحرارة (ثيرموستات)

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط



7

انتقال الحرارة وتغيّر الطّور

1.7 التّوصيل

2.7 الحمل

3.7 الإشعاع

4.7 قانون نيوتن في التّبريد

5.7 التسخين الكوني وأثر الدفيئة

6.7 انتقال الحرارة وتغير الطّور

7.7 الغليان

8.7 الانصهار والتّجمد

9.7 الطّاقة وتغير الطّور

■ إنّ انتقال الطّاقة يصاحب التغير في طور المادة. فعلى سبيل المثال، عندما يتحوّل الماء إلى جليد، فإنّ الطّاقة تستخلص من الماء. وعند تحوّل الماء إلى بخار، يجب أن يعطى طاقة الماء. وهكذا، فإنّ انتقال الطّاقة الحرارية مصاحب لتغير الطّور.

كما يمكن أن تنتقل الطّاقة الحراريّة دون أن يحدث تحوّل في الطّور، وذلك عندما تنتقل الحرارة من الماء الدافئ إلى الماء البارد. وسنبدأ هذا الفصل بالحالة الأبسط لانتقال الحرارة. عند وضع مواد عند درجات حرارة مختلفة على اتصال، فإنّ المواد الدافئة تبرد، والمواد الباردة تصبح دافئة ، وفي النهاية تصبح درجة حرارة المواد جميعها متساوية. وهذه العملية تحدث بثلاث طرائق هي: **التّوصيل، والحمل، والإشعاع.**

1.7 التّوصيل

إذا أمسكت بطرف مسمار من الحديد فوق لهب فإنّ المسمار يصبح حارًّا جدًّا بسرعة، بحيث لا يمكن تحمله. وإذا وضعت قضيبًا قصيرًا من الزّجاج فوق لهب، فإنك تستطيع أن تمسك قضيب الزجاج فترة أطول كثيرًا قبل أن يصبح حارًّا. تنتقل الحرارة في كلتا الحالتين من الطرف الحارّ على كامل الطول. تسمّى طريقة انتقال الحرارة هذه **التوصيل**. يحدث توصيل الحرارة بالاصطدامات بين الجزيئات والجزيئات المجاورة مباشرة؛ لأنّ انتقال الحرارة عبر المسمار كان سريعًا، يمكن القول إنّ المسمار *موصل* جيّد للحرارة. تسمّى المواد الرديئة التوصيل للحرارة عازلة.

ترتبط إلكترونات الجوامد (كالفلزّات) بذراتها أو جزيئاتها ارتباطًا ضعيفًا، وهي موصلة جيدة للحرارة. تتحرك هذه الإلكترونات بسرعة، وتنقل الحرارة إلى الإلكترونات الأخرى التي "تنتقل" بسرعة عبر الجامد. تتكون الموصلات الرّديئة - مثل الزّجاج، والصّوف، والخشب، والورق، والفليّن والبلاستيك - من جزيئات ترتبط ارتباطًا وثيقًا بإلكتروناتها. تتذبذب جزيئات هذه المواد في مواضعها، وتنقل الطاقة بالتفاعلات مع الجزيئات المجاورة. ولأنّ الإلكترونات غير متنقلة في المواد العازلة فإنّ الطاقة تنتقل فيها ببطء شديد.

يعدّ الخشب من المواد العازلة، وغالبا ما يستخدم بوصفه حاملًا لأدوات الطهو. حتى عندما يكون الإناء حارًّا، فإنّك تستطيع حمل الإناء فترة قصيرة بيديك العاريتين دون أذى. ولكن إذا كان الحامل من الحديد، وعند درجة الحرارة نفسها، فسوف تحرق يديك بالتأكيد. الخشب جيد العزل حتى عندما يصل إلى الاحمرار. وهذا يفسّر كيف يمشي جون (مؤلف *الكيمياء الفاهيمية*) على النار كما يظهر في الصورة الافتتاحية لهذا الفصل، حافي القدمين على فحم خشبي أحمر حار دون أن تحترق قدماه (**تحذير**: لا تجرب ذلك؛ فحتى محترفو المشي على النار يتعرضون لحروق مؤذية إن لم تكن الشّروط مواتية). إنّ العامل الرئيس هنا هو رداءة موصلية الخشب —حتى الخشب الحار— المحمر. وإذا كانت درجة حرارته مرتفعه، فإنّ كمية الطّاقة الداخليّة التي تصل إلى القدمين قليلة. وعلى الشخص الذي يمشي على النار أن يكون حذرًا من خلو الفحم الحار من مسامير وموصلات جيّدة أخرى.

إنّ الهواء موصل رديء جدًّا. لذا، يمكن وضع اليد لبرهة في فرن ساخن للبيتزا دون أذى. ولكن لا تلمس الفلزّ في الفرن السّاخن. تعزى الخصائص الجيدة للمواد العازلة مثل الصوف، والفرو، والجلود كثيرًا إلى احتوائها على فراغات هوائيّة. ولنكن مسرورين؛ لأنّ الهواء موصل رديء. لأنّه لو لم يكن كذلك، لشعرنا بالبرد في يوم درجة الحرارة فيه 20° س (68° ف)!

إنّ الثّلج أيضًا موصل رديء؛ لأنّ طبقاته تتكون من بلّورات تحبس الهواء لتزوده بالعزل. ولهذا السّبب، فانّ طبقة الثّلج تحفظ الأرض دافئة في الشتاء. وعليه، تجد الحيوانات في الغابة ملجأ لها من البرد داخل فجوات الثلج. إنّ الثّلج لا يزوّد هذه الحيوانات بالطاقة، بل إنّه — ببساطة — لا يُسرِّع فقدان الطاقة التي تنتجها أجسام الحيوانات. وهذا هو المبدأ نفسه الذي يُفسِّر سبب بناء منازل شعب الإسكيمو والمنازل في القطب الشّماليّ من الثّلج المضغوط: إنّها تحمي قاطنيها من البرد.

من المهم ألا يمنع العزل انسياب الطاقة الداخليّ. إنّ العزل يبطئ معدل انسياب الطاقة الدّاخليّة. حتى أنّ المنزل المدفأ الذي يكون فيه العزل جيدًا يبرد تدريجيًّا.

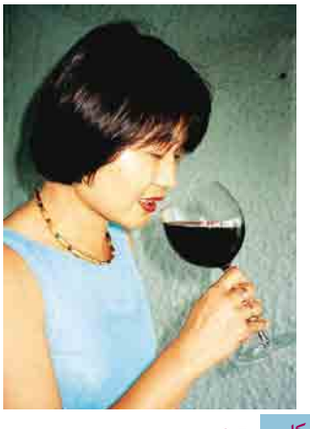
الشّكل 1.7

تحسّ أنّ الأرضيّة المبلّطة أبرد من أرضيّة الخشب، مع أنهما على درجة الحرارة نفسها. إنّ البلاط موصل للحرارة أفضل من الخشب. وهو يوصل الطاقة الداخلية من قدميك بسرعة.

ما الذي يمكن أن يكون جيّدًا وضعيفًا في آنٍ واحدٍ معًا؟ الجواب: أيّ عازل جيّد هو موصل ضعيف. أو أيّ موصل جيّد هو عازل ضعيف.

الشّكل 2.7

عندما تغرز مسمارًا في الجليد، فهل تنساب البرودة من الجليد إلى يدك، أم أنّ الطّاقة تنساب من يدك إلى الجليد؟



الشّكل 3.7

يتمّ تقليل حرارة الاتصال من يد ليلى إلى العصير بعمل يد طويلة لكأس العصير.

توضع المواد العازلة ـ كالصوف الصخريّ، والألياف الزّجاجيّة ـ في الجدران وسقوف المنازل؛ لتبطئ انتقال الطّاقة الدّاخليّة من المنزل الدّافئ إلى المحيط البارد في الشّتاء، ومن المحيط الدّافئ إلى البيت البارد في الصّيف.

الشّكل 4.7
تظهر أنماط الثّلج على سطح المنزل مناطق التّوصيل والعزل. تبيّن المناطق العارية أنّ الحرارة تأتي من الداخل حيث توصل عبر السقف وتذيب الثّلج.

■ **نقطة فحص**

1. في المناطق الصّحراويّة التي تكون حارّة في النهار وباردة في الليل، تُصنع جدران المنازل من الطّين. لماذا يجب أن تكون جدران الطّين سميكة؟
2. الخشب عازل أفضل من الزّجاج. ومع ذلك، تستخدم عادة الألياف الزّجاجيّة لعزل المنازل أكثر من الخشب. لماذا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. يستعيد الجدار ذو السّمك المناسب دفء المنزل في الليل بإبطاء انسياب الطّاقة الدّاخليّة من الدّاخل إلى الخارج، ويحتفظ بالبرودة في أثناء النهار بإبطاء انسياب الطّاقة الدّاخليّة من الخارج إلى الدّاخل؛ هذا الجدار له قصور حراريّ.
2. الليف الزّجاجيّ عازل جيّد. أفضل من الزّجاج مرات عديدة؛ وذلك بسبب أنّ الهواء محبوس بين أليافه.

■ 2.7 الحمل

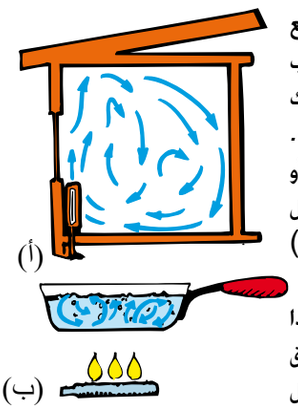
يمكنك رؤية تموّج الهواء في يوم حارّ عندما يرتفع الهواء الساخن من طريق معبّد. وبالمثل، عندما تضع مكعّب ثلج في كوب زجاجيّ شفّاف يحتوي على ماء ساخن، يمكنك رؤية أمواج الماء البارد الهابطة الناجّة عن انصهار هذا المكعّب. تسمّى عملية انتقال الحرارة نتيجة حركة الموائع عندما تصعد أو تهبط الحملَ. وبخلاف التّوصيل، يحدث الحمل في الموائع (السّوائل والغازات) فقط. ويتضمن الحمل حركة جسم من المائع (تيارات) بدلًا من التّفاعلات على المستوى الجزيئيّ.

نفهم لماذا يرتفع الهواء السّاخن. عندما يسخن هذا الهواء ويتمدّد، ويصبح أقلّ كثافة فإنّه يطفو إلى أعلى فوق الهواء المحيط الأبرد، مثل طفو البالون إلى الأعلى. وعندما يصل الهواء المرتفع إلى علوّ، وتصبح كثافته مساوية للهواء من حوله، فإنّه لا يرتفع أكثر من ذلك. وهذا ما نراه عندما يرتفع دخان النار ثم يهبط عندما يبرد، وتصبح كثافته مساوية لكثافة الهواء المحيط به.

لكي تتأكّد أنّ الهواء المتمدّد يبرد؛ أجر التجربة المبينة في الشكل 7.7. الهواء المتمدد يبرد فعلا*.

هناك مثال واضح على التّبريد بالتّمدّد يحدث عندما يتمدّد بخار الماء الصاعد من فتحة وعاء الضّغط (الشكل 8.7). إنّ خروج آثار التّبريد بالتّمدّد مع الاختلاط بالهواء البارد يسمح لك بوضع

التّوصيل الحراريّ عمليه يتمّ عن طريقها انتقال الطّاقة على شكل حرارة خلال المادة بين نقطتين عند درجتي حرارة مختلفتين.



الشّكل 5.7
تيارات الحمل في الغاز (الهواء) والسّائل.

لمعلوماتك

ببساطة، تحتوي أفران الحمل على مراوح في داخلها. يُسرِّع الطّهو دوران الهواء الساخن داخلها.

الشّكل 6.7
ينتج رأس عنصر التسخين المغمور في الماء تيارات حمل تظهر كظلال (تنشأ عن انحرافات الضّوء في الماء عند درجات حرارة مختلفة).

* أين تذهب الطّاقة في هذه الحالة؟ إنّها تذهب لعمل شغل على الهواء المحيط عندما يندفع الهواء المتمدّد إلى الخارج.

الشّكل 7.7

انفخ هواءً ساخنًا على يديك من فمك المفتوح بشكل واسع. ثم قلّص فتحة شفتيك بحيث يتمدّد الهواء في أثناء النفخ. جرّبها الآن. هل تلاحظ الفرق في درجة حرارة هواء الزّفير؟ هل يبرد الهواء في أثناء التّمدّد؟

يدك بأريحية حول نافورة البخار المتدفق. (**تحذير**: إذا جرّبت ذلك، فتأكّد من وضع يدك عاليًا فوق الفوّهة في البداية، ثم أخفضها لمسافة مناسبة فوق الفوّهة. إذا وضعت يديك فوق الفوهة مباشرةً، حيث لا يمكن رؤية البخار، انتبه! البخار غير مرئيّ ويبدو واضحًا من الفوهة قبل أن يتمدّد ويبرد. ما تراه من غيمه البخار هو في الحقيقة بخار ماء متكاثف، وهو أبرد كثيرًا من البخار العاديّ).

إنّ التّبريد بالتّمدّد هو عكس ما يحدث عند ضغط الهواء. إذا سبق أن قمت بضغط الهواء بمضخة عجلات يدوية، فمن المحتمل أنك ستلاحظ أنّ كلًّا من المضخة والهواء قد أصبحا ساخنين تمامًا؛ عندما يضغط الهواء يصبح ساخنًا.

الشّكل 8.7

يتمدّد البخار السّاخن عند مغادرته إناء الضّغط، ويبرد عندما يلمس يد ليلى.

تحرك تيّارات الحمل الغلاف الغازيّ وتنتج الرّياح. كما أنّ بعض أجزاء سطح الأرض تمتص من طاقة الشّمس أكثر من الأجزاء الأخرى. وينتج عن ذلك تسخين غير متكافئ للهواء بالقرب من الأرض. ويمكننا رؤية هذا الأثر عند الساحل. كما يظهر الشّكل 9.7. خلال النهار، تسخن الأرض أسرع من الماء، ثمّ يرتفع الهواء السّاخن القريب من الأرض، ليحلّ مكانه هواء بارد يأتي من فوق الماء، وهذا ما يسمّى نسيم البحر. أما في الليل فتنعكس العملية؛ لأنّ الشاطئ يبرد أسرع من الماء، ويبقى الهواء السّاخن فوق البحر. إذا أشعلت نارًا على الشاطئ فسترى أنّ الدّخان يندفع نحو اليابسة نهارًا، في حين يندفع نحو البحر ليلا.

لمعلوماتك

إنّ فتح باب الثّلاجة يسمح للهواء السّاخن بالدخول، ويحتاج إلى طاقة لتبريده. وكلما كانت الثّلاجة فارغة زادت مقايضة الهواء البارد بالهواء الساخن. لذا، عليك ملء ثلاجتك من أجل خفض تكاليف تشغيل منخفضة، خاصة إذا كان فتح الثلاجة وإغلاقها يتكرر كثيرًا.

نقطة فحص

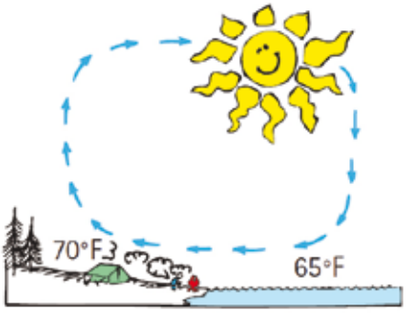
فسّر لماذا يمكنك وضع إصبعك حول لهب شمعة دون ضرر، ولكن ليس فوقه؟

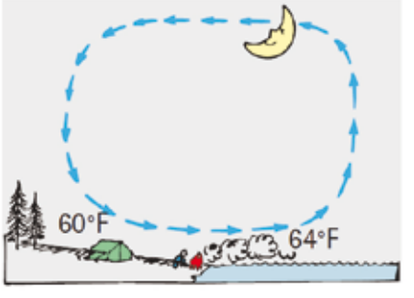
هل كان هذه اجابتك؟

ينتقل الهواء السّاخن إلى أعلى بالحمل. ولأنّ الهواء موصل ضعيف، فإنّ طاقة قليلة تنتقل إلى الجوانب نحو أصابعك.

الشّكل 9.7

تيارات الحمل من التسخين غير المتكافئ للأرض والماء خلال النهار، يرتفع الهواء السّاخن فوق الأرض، ويتحرك الهواء البارد فوق الماء ليحلّ مكانه. وينعكس اتجاه انسياب الهواء خلال الليل؛ لأنّ الماء الآن أسخن من اليابسة.



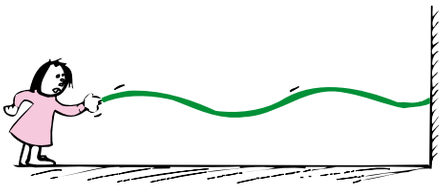


3.7 الإشعاع

تنتقل الطاقة من الشمس عبر الفضاء إلى الغلاف الجوي لتدفئة سطح الأرض؛ هذا الانتقال في الطاقة لا يرتبط بالتوصيل أو الحمل لعدم وجود وسط ناقل بين الشمس و الارض؛ فالطاقة ترسل بوسيلة أخرى؛ إنها **الأشعاع***. وتسمى الطاقة المنتقلة *الطاقة الاشعاعية*.

الشّكل 10.7
أنواع الطاقة الإشعاعية (الأمواج الكهرومغنطيسية)

توجد الطّاقة الإشعاعيّة على شكل *أمواج كهرومغناطيسية*. تتراوح بين أطول الأمواج وأقصرها. وهذه الأمواج هي: الأمواج الراديويّة. والأمواج الميكرويّة. والأمواج تحت الحمراء (أمواج غير مرئيّة تحت الحمراء في الطّيف المرئيّ) والأمواج المرئية. والأمواج فوق البنفسجيّة والأشعّة السّينيّة. وأشعة جاما. وسنناقش هذه الموجات بتوسع في الفصلين 11 و12.



الشّكل 11.7
تنتج الموجة الطّويلة عند هزّ الحبل بنعومة (تردّد منخفض). ولكن عند هزه بعنف (تردد عال). تنتج موجة قصيرة.

يرتبط طول موجة الإشعاع بتردّد الاهتزاز. والتّردّد هو معدل اهتزاز مصدر الموجة. تهزّ الفتاة في الشكل 11.7 حبلا بتردّد منخفض (شمال). وبتردد عالٍ (يمين). لاحظ أنّ الهزّ بتردّد منخفض ينتج أمواجًا طويلة. أما الهزّ بتردّد أعلى فينتج أمواجًا قصيرة. وسنرى في الفصول القادمة أنّ الإلكترونات المهتزّة تبثّ أمواجًا كهرومغناطيسيّة. إنّ الاهتزازات ذات التردّد المنخفض تنتج أمواجًا طويلة. في حين تنتج الاهتزازات ذات التردد العالي أمواجًا قصيرة.

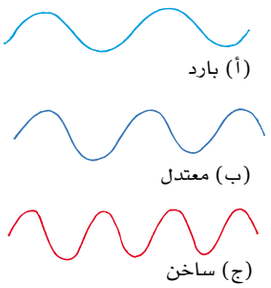
الانبعاثات والطّاقة الإشعاعيّة

إنّ أيّ جسم عند أيّ درجة حرارة أعلى من الصفر المطلق يبعث طاقه إشعاعية. ويتناسب تردّد الذروة للطاقة الإشعاعية تناسبًا طرديًّا مع درجة حرارة الجسم (الباعث) بالمطلق T أي أنّ:

$$f \sim T$$

إذا كان الجسم حارًّا بما فيه الكفاية فإنّ بعض الطّاقة الإشعاعيّة يكون في مدى الضوء المرئيّ. وعند درجة حرارة نحو 500°س. يبدأ الجسم ببثّ أمواج طويلة يمكن رؤيتها؛ الضوء الأحمر. ولكن عند درجات حرارة أعلى ينتج ضوء مائل للاصفرار . أما عند درجة حرارة 1500°س تقريبًا. فإنّ الأمواج التي تقع ضمن حساسيّة العين جميعها تنبعث. ونرى الجسم "أبيض حارًّا". إنّ النّجم الأزرق – السّاخن أكثر حرارة من النّجم الأبيض- الساخن. والنّجم الأحمر-الساخن أقلّ سخونة. ولأنّ النجم الأزرق- السّاخن له ضعف تردد الضّوء للنّجم الأحمر-السّاخن. فإنّ لسطحه ضعف درجة حرارة سطح النجم الأحمر-السّاخن** .

ولأنّ درجة حرارة سطح الشّمس عالية (بالمعايير الأرضية). فإنه يبث طاقه إشعاعية ذات ترددات عالية - معظمها في الجزء المرئيّ من الطّيف الكهرومغناطيسيّ. وفي المقابل. فإنّ سطح الأرض بارد نسبيًّا. لذا. فإنّ الطاقة الإشعاعية التي تبثها الأرض تأتي على شكل – أمواج تحت حمراء– تحت عتبة البصر. وتسمّى الطّاقة الإشعاعيّة المنبعثة من الأرض **الإشعاعَ الأرضيَّ (Earth Radiation).**



الشّكل 12.7
(أ) درجة حرارة منخفضة (بارد). يبثّ المصدر بشكل رئيس أمواجًا منخفضة التّردد وطويلة الموجة. (ب) درجة حرارة معتدلة. يبثّ المصدر بشكل رئيس أمواجًا معتدلة التّردّد ومعتدلة الموجة. (ج) درجة حرارة عالية (ساخنة). يبثّ المصدر بشكل رئيس أمواجًا عالية التّردّد وقصيرة الموجة.

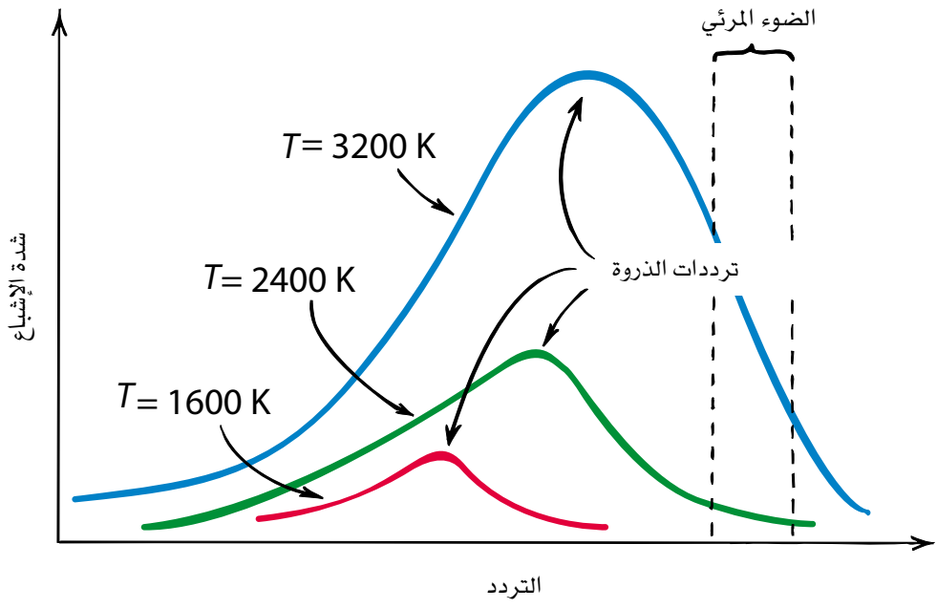
* الإشعاع الذي نتكلم عنه هنا هو الإشعاع الكهرومغناطيسي، بما في ذلك الضّوء المرئيّ. لذا، عليك أن تميّز بينه وبين النشاط الإشعاعي. وسنناقش هذه العملية النووية في الفصل 16.

** تتناسب كمية الطاقة المشعة (Q) التي يبعثها جسم مع الأس الرابع لدرجة الحرارة بالمطلق T :

$$Q \sim T^4$$

لذا فإن نجما أزرق ساخنًا له ضعف درجة حرارة نجم أحمر - ساخنًا يبعث 16 ضعف الطاقة التي يبعثها النجم الأحمر الساخن الذي له الحجم نفسه.

تعتمد كمية الطاقة المنبعثة على خصائص السطح ويشار إليها بانبعاثية الجسم - ولها مدى قريب من 0 للسطوح المصقولة اللامعة. وتقترب من 1 للأجسام السوداء القاتمة. يطلق السطح الأسود المثالي ما يعرف بإشعاع الجسم الأسود والانبعاثية له هي 1.



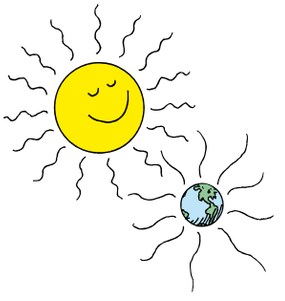
الشّكل 13.7
منحنيات الإشعاع عند درجات حرارة متفاوتة. يتناسب معدل تردّد الطّاقة الإشعاعيّة مباشرة مع درجة الحرارة المطلقة للمصدر الذي يبثّ.

إنّ الإشعاعات التي تطلقها الأرض هي إشعاعات أرضيّة. أما الإشعاعات التي تطلقها الشّمس فهي إشعاعات شمسيّة. وكلتاهما تمثلان منطقة في الطّيف الكهرومغناطيسيّ. (الإشعاع صفة نوعيّة للمشعّ).

تنشأ الطّاقة الإشعاعيّة للشّمس عن التفاعلات النوويّة التي تحدث عميقًا داخلها. وبطريقة مماثلة، فإنّ التّفاعلات النوويّة داخل الأرض تسخنها (زُرْ أيّ منجم عميق، وستجد أنّه دافئ على مدار السّنة). وأنّ معظم هذه الطّاقة الداخليّة تصل إلى سطح الأرض لتصبح إشعاعات أرضية (Terrestrial Radiation).

تبثّ الأجسام جميعها (أنت، والمدرس، والأشياء من حولك كلّها) طاقة إشعاعية باستمرار على مدى من التّرددات. وتبثّ الأجسام بدرجات الحرارة اليومية موجات تحت حمراء منخفضة الترددات. عندما يمتص جلدك الإشعاعات الحمراء العالية التردد عندما تقف بجانب فرن، عندئذ ستشعر بالدفء. ومن هنا فإنّ من المألوف الإشارة إلى الإشعاعات تحت الحمراء *بالإشعاعات الحراريّة*. ومن مصادر الأشعّة تحت الحمراء المألوفة: الشّمس، والمصباح الكهربائيّ (شمعه التدفئة)، والخشب المحترق في الموقد.

تؤسس الإشعاعات الحرارية لموازين الحرارة تحت الحمراء. ببساطة، ضع ميزان الحرارة في المكان المراد معرفة درجة حرارته، اضغط على الزّر، فتظهر القراءة الرّقميّة لدرجة الحرارة. تزود الإشعاعات المبثوثة من الجسم المراد قياس درجة حرارته بمقدار درجة الحرارة. إنّ موازين الحرارة النموذجيّة في قاعات التّدريس تعمل في مدى يتراوح بين - 30° س و 200° س.



الشّكل 14.7
تبثّ كلّ من الشّمس والأرض النوع نفسه من الطّاقة الإشعاعيّة. إنّ توهّج الشّمس مرئيّ للعين، بعكس توهّج الأرض الذي يتكون من أمواج طويلة لا ترى بالعين.

لمعلوماتك

كلّ شيء من حولك يشعّ الطّاقة ويمتصّها باستمرار!

نقطة فحص

أيّ من التالية لا يبثّ طاقه إشعاعية: (أ) الشّمس. (ب) الحمم البركانيّة. (ج) الفحم السّاخن الأحمر. (د) هذا الكتاب المقرّر؟

هل كان هذه اجابتك؟

جميع ما ذكر يبثّ طاقه إشعاعيّة، حتى الكتاب المقرر، مثله مثل المواد الأخرى المذكورة، له درجة حرارة. بحسب القاعدة $\bar{f} \sim T$. ولهذا، فالكتاب يبث إشعاعات تردّد ذروتها $\bar{f}$ ، وهو تردّد منخفض مقارنة بتردّدات الإشعاعات المبثوثة من المواد الأخرى. كلّ شيء له درجة حرارة أعلى من الصفر المطلق يبث طاقه إشعاعية؛ كلّ شيء!

امتصاص الطّاقة الإشعاعيّة

إذا كان كلّ شيء يشعّ طاقة، فَلِمَ لا تنفد هذه الطّاقة الإشعاعيّة من الأشياء كلّها في النهاية؟ والجواب هو أنّ كلّ شيء يمتصّ طاقة أيضًا. فالباثّات الجيدة للطّاقة الإشعاعيّة هي أيضًا ماصّات جيدة لها. والمواد الضعيفة البثّ هي ضعيفة الامتصاص. فعلى سبيل المثال، يصنع هوائيّ الصّحن الرّاديويّ ليكون

باثًّا جيدًا للأمواج الرّاديويّة. كما أنّه مصمّم أيضًا ليكون جيد الاستقبال (الامتصاص) لها. لذا، فالهوائي ذو التصميم الرّدي بوصفه باثًّا هو هوائيّ ضعيف الاستقبال.

إنّ سطح أيّ مادة، ساخنًا كان أم باردًا، يمتصّ أو يبثّ طاقة إشعاعيّة. فإن بعث أكثر ما يمتصّ، فهو في المحصلة باثّ. وتنخفض درجة حرارته. يعتمد كون السّطح باثًّا أو ماصًّا صافيًا للطاقة على كون درجة حرارته أعلى من درجة حرارة الأشياء حوله أو أقلّ منها. وباختصار، إذا كان السّطح أسخن من محيطه، فيصنّف على أنّه باثّ ويصبح أبرد. أما إذا كان أبرد من محيطه، فيصنّف على أنّه ماصّ ويصبح أدفأ.

■ **نقطة فحص**

1. إذا كان الماصّ الجيّد للطّاقة الإشعاعيّة باثًّا ضعيفًا لها، فكيف نقارن درجة حرارته مع درجة حرارة المحيط؟
2. أشعل مزارع مدفأة في مخزنه في صباح بارد. فسخّن الهواء إلى درجة (20°س) (68°ف)، فلماذا لا يزال يشعر بالبرد؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. إذا لم يكن الماصّ الجيّد باثًّا جيّدًا أيضًا فستكون النتيجة النهائية امتصاصًا للطّاقة الإشعاعيّة، وسوف تستمر درجة حرارة الماصّ أعلى من درجة حرارة المحيط. إنّ الأشياء من حولنا تصل إلى درجة حرارة متساوية في النهاية فقط؛ لأنّ الماصّات الجيدة بطبيعتها باثّات جيّدة.
2. جدران المخزن ما تزال باردة؛ فالمزارع يشعّ طاقة أكبر مما تعيد له الجدران من إشعاعات ولذلك يشعر بالبرد. (في يوم شتاء تكون مرتاحًا داخل بيتك أو في غرفة الصّف فقط إذا كانت الجدران دافئة، وليس الهواء فقط).

انعكاس الطّاقة الإشعاعيّة

إنّ عمليتي الامتصاص والانعكاس متضادتان؛ فالماصّ الجيد للطّاقة الإشعاعيّة يعكس قليلًا منها، بما فيها الضّوء المرئيّ. إذن، فإنّ السطح القليل الانعكاس، أو الذي لا يشعّ طاقة يظهر معتمًا. ولهذا، فالماصّ الجيد يظهر معتمًا (الماصّ المثاليّ)، وهو لا يعكس طاقه إشعاعية، ويظهر باللون الأسود كاملا. فعلى سبيل المثال، يسمح بؤبؤ العين للضّوء بالدخول دون انعكاس، ولهذا السبب يظهر أسود اللون (يحدث استثناء في عملية التّصوير عندما يظهر البؤبؤ ذا لون بنفسجي، ويحدث عندما ينعكس الضّوء اللامع جدًّا من السّطح الداخليّ البنفسجي للعين، ومن ثمّ العودة إلى البؤبؤ.)

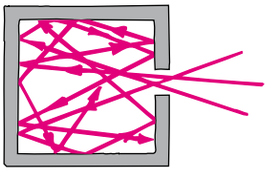
انظر إلى الفتحات في أطراف كومة من الأنابيب، تبدو الفتحات سوداء. انظر إلى الأبواب أو النوافذ في المنازل البعيدة خلال النهار فهي تبدو سوداء أيضًا. تظهر الفتحات سوداء لأنّ الضّوء الذي يدخل إليها ينعكس ذهابا وإيابًا مرات عديدة داخل جدرانها، وفي كلّ انعكاس يُمتصّ جزء منه. وفي النتيجة، يبقى جزء قليل من الضّوء، أو يرجع من الفتحة وينتقل إلى عينيك (الشّكل 16.7).

وفي المقابل، فإنّ العاكسَ الجيد ماصٌّ ضعيف. فالثّلج النّظيف عاكسٌ جيّد. لذا يذوب ببطء في بضوء الشّمس. أما إذا كان الثّلج متسخًا، فإنّه يمتصّ الطّاقة الإشعاعيّة من الشّمس ويذوب بسرعة. إنّ إسقاط أكياس من خام حبيبات الكربون (مادة ذات قدرة عالية على الامتصاص) من طائرة إلى جبال مغطاة بالثلوج هي إحدى الآليات التي تستخدم أحيانًا للسّيطرة على الفيضانات من أجل التحكّم في ذوبان الثّلج لأوقات مناسبة، وحتى لا تذوب الثّلوج بسرعة مسببة الطّوفان .

الشّكل 15.7

عند ملء وعائين بماء ساخن ؛ أحدهما أسود خشن السّطح، والآخر مصقول ولامع (أو بارد)، فإنّ الوعاء الأسود يبرد (أو يسخن) أسرع.

إنّ وضع قطعة بيتزا ساخنة في الخارج، في يوم شتاء يجعلها في المحصلة باثّة. وإنّ وضع القطعة نفسها داخل فرن ساخن يجعلها في المحصلة ماصّةً.



الشّكل 16.7

هناك فرصة ضئيلة للإشعاعات التي تدخل الفتحة للمغادرة بسبب امتصاص معظمها. ولهذا فإنّ فتحة أيّ تجويف تبدو سوداء لنا.

لمعلوماتك

يتأثر الانبعاث والامتصاص في الجزء المرئيّ من الطّيف باللون، ولكنه ليس الشيء نفسه في منطقه تحت الحمراء من الطّيف، حيث لنسيج السّطح تأثير أكبر. إنّ السّطح غير المصقول هو ماصّ / باثّ أفضل من السّطح المصقول، مهما كان اللون.

الشّكل 17.7
يبدو الثقب أسود اللون تمامًا كما يبدو الداخل أيضًا، حتى عندما يكون الدّاخل مطليًّا باللون الأبيض اللامع.

■ **نقطة فحص**

أيّهما أكثر فاعلية في تسخين الهواء داخل الغرفة: المشعاع السّاخن المدهون بالأسود أم الفضيّ؟

هل كانت هذه اجابتك؟

إنّ لون الدهان عامل قليل الأثر. لذا، فإن أيًّا من اللونين يمكن استخدامه؛ لأنّ المشعّات تعمل القليل بالإشعاع. فسطوحها الساخنة تدفيء الهواء المحيط بالتوصيل، فيرتفع الهواء السّاخن، وتدفئ تيارات الحمل الغرفة .(إن الاسم الأفضل لهذا النوع من السّخانات هو المحوّلات). والآن، إذا كنت مهتمًّا بالكفاءة القصوى فإنّ المشعاع الفضي اللون يشعّ أقلّ، ويسخن بسرعة، ويبقى ساخنًا فترة طويلة. لذا، فإنّه يعمل على تسخين الهواء بشكل أفضل.

■ 4.7 قانون نيوتن في التّبريد

إذا تُركت الأجسام الأسخن من محيطها وحدها فإنّها تبرد في النّهاية لتتساوى مع درجة حرارة المحيط. يعتمد معدّل التّبريد على الفرق بين سخونة الجسم ومحيطه. فشطيرة تفاح ساخنة تبرد أكثر في كلّ دقيقة تمضي إذا وضعت في ثلاجة أسرع مما لو وضعت على طاولة المطبخ. ففي الثلاجة يكون فرق درجات الحرارة بين الشطيرة ومحيطها أكبر؛ وبالمثل، فإنّ معدّل تسرّب الطّاقة الداخليّة من البيت الدافئ إلى الخارج يعتمد على الفرق بين درجتي الحرارة بين المكانين.

إنّ معدّل تبريد الجسم - سواء أكان بالتوصيل، أم بالحمل، أم بالإشعاع – يتناسب مع الفرق في درجة الحرارة ΔT بين الجسم ومحيطه تقريبًا.

يتناسب معدّل التّبريد مع ΔT~

وهذا هو **قانون نيوتن للتبريد** (إلى من نُسب هذا الاكتشاف؟).

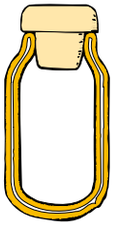
ينطبق هذا القانون على التسخين. إذا كان الجسم أبرد من محيطه فإنّ معدّل سخونته يتناسب أيضًا مع ΔT^*. إنّ الغذاء المجمّد يسخن بسرعة في غرفة دافئة أكثر من سخونته في غرفه باردة.

*يبقى الجسم السّاخن الذي يتضمّن مصدرًا للطّاقة ساخنًا أكثر من محيطه إلى فترة غير محدودة. إنّ الطّاقة الدّاخليّة التي تشعها لا تبردها بالضرورة. ولا ينطبق عليها قانون نيوتن للتّبريد. يبقى محرّك السّيارة في أثناء تشغيله أسخن من هيكلها والهواء المحيط بها. ولكنه يبرد بعد أن يطفأ وفقًا لقانون نيوتن للتبريد. وتقترب درجة حرارته ببطء من درجة حرارة المحيط. وفي المقابل، تبقى الشّمس أسخن من محيطها ما دام فرنها النووي يعمل: خمسة بلايين سنة إضافية.

حافظات الحرارة: الثّرموس

إنّ زجاجة الثّرموس المألوفة وعاء من زجاج ذي جدارين فضّيّين مفرغ ما بينهما. يقتصر انتقال الحرارة ببطء عند لحظة صبّ السّائل السّاخن أو البارد من هذه الزّجاجة. يبقى السّائل عند درجة الحرارة نفسها ساعات عديدة؛ لأنّ انتقال الحرارة سواء بالتوصيل، أو بالحمل، أو بالإشعاع غير ممكن.

1. انتقال الحرارة بالتوصيل عبر الفراغ مستحيل. بعض الطّاقة الدّاخليّة تتسرب بالتوصيل عبر الزجاج والسّدادة. ولكن هذه عملية بسيطة، لأنّ الزّجاج والبلاستيك والفلّين موصلاتٌ ضعيفة.
2. يمنع الفراغ بين الجدارين ضياع الحرارة عبرهما بالحمل؛ بسبب انعدام الهواء بينهما.



3. لا يمكن ضياع الحرارة بالإشعاع من السّطوح الفضيّة للجدارين، والتي تعكس الطاقة الإشعاعية لتعود إلى الزّجاجة.

■ **نقطة فحص**

بسبب خسران الطّاقة الدّاخليّة من كأس الشّاي السّاخن أسرع من خسرانها في كأس الشّاي الفاتر. فهل صحيح القول إنّ كأس الشّاي السّاخن يبرد إلى درجة حرارة الغرفة قبل كأس الشّاي الفاتر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

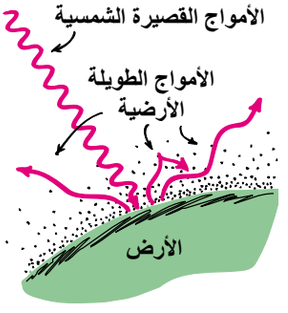
لا. على الرّغم من أنّ معامل التّبريد للكأس السّاخنة أعلى منه للماء البارد. فهو يحتاج إلى فترة أطول حتى يبرد ليصل إلى الاتّزان الحراريّ. يساوي الزمن الإضافيّ الزمن اللازم ليصل إلى درجة حرارة كأس الشّاي الفاتر: معدل التبريد وزمنه شيئان مختلفان.

■ 5.7 التسخين الكوني وأثر الدفيئة

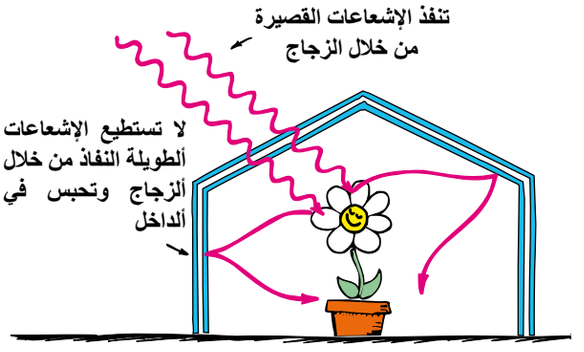
يكون داخلُ السّيارة الواقفة في شارع، والمغلقة النوافذ في يوم دافئ، والشمس ساطعة أشدّ حرارة كثيرًا من الهواء الخارجيّ. إنّ هذا مثال على أثر الدّفيئة. وقد سمّيت بهذا لأنّ لها الأثر نفسه لرفع درجة الحرارة داخل البيوت الزّجاجيّة التي تستخدم لزراعة الأزهار. ولفهم أثر الدفيئة؛ علينا تعرّف مفهومين:

الأول ذُكر سابقًا – وهو أنّ الأشياء جميعها مشعّة، وأنّ طول موجة الإشعاع يعتمد على درجة حرارة الجسم الباثّ للإشعاع. إنّ الأجسام ذات درجة الحرارة المرتفعة تشعّ أمواجًا قصيرةً. في حين تشعّ الأجسام ذات درجة الحرارة المنخفضة أمواجًا طويلة. أما المفهوم الثّاني الذي علينا معرفته، فهو أنّ شفافيّة الأشياء كالهواء والزّجاج تعتمد على طول موجة الإشعاع. إنّ الهواء شفّاف لكلّ من الموجات تحت الحمراء (طويلة) والموجات المرئيّة (قصيرة). إلا إذا احتوى الهواء على فائض من بخار الماء، أو ثاني أكسيد الكربون. ففي هذه الحالة فهو معتم لتحت الحمراء. (سنناقش فيزياء النفاذية والإعتام في الفصل 11).

والآن، لماذا يصبح داخل السّيّارة حارًّا جدًّا في ضوء الشّمس السّاطعة؟ بالمقارنة بدرجة حرارة الهواء الخارجي، إنّ درجة حرارة الشّمس عالية جدًّا. وهذا يعني أنّ الأمواج التي تشعّها الشّمس قصيرة جدًّا. وأنّ هذه الموجات تخترق كلًّا من الغلاف الجوّيّ وزجاج نوافذ السّيّارة بسهولة. ولهذا، فإنّ جزءًا من طاقة الشّمس يتسرّب إلى داخل السّيّارة. وفيما عدا الانعكاس فإنها تُمتصّ. ولهذا، يسخّن داخل السّيّارة. وكما أنّ داخل السّيّارة بدوره يشعّ موجاته الخاصّة. ولكن لأنّه ليس ساخنًا كما الشّمس، فإنّ إشعاعاته تكون في صورة موجات أطول. تصطدم هذه الأمواج الطويلة المشعّة بالزّجاج وهو غير شفّاف لها. وأخيرًا، فإنّ الطّاقة الإشعاعيّة تبقى داخل السّيّارة، مما يجعله ساخنًا. (ولهذا يجب عدم ترك الحيوانات داخل السّيارة في يوم مشمس.)



الشّكل 18.7
تبثّ الشّمس أمواجًا قصيرةً، بعكس الأرض الباردة التي تبثّ أمواجًا طويلة. يعيد بخار الماء، وثاني أكسيد الكربون وغيرهما من غازات الدّفيئة في الغلاف الجوّيّ الحرارة التي لولاها لذهبت كإشعاعات من الأرض إلى الفضاء.



الشّكل 19.7
يكون الزّجاج شفّافًا للأمواج القصيرة الموجة، ولكنه معتم للإشعاعات الطويلة الموجة. الطاقة المشعة من النبتة هي طويلة الموجة لأنّ درجة حرارتها منخفضة نسبيًّا.

الأثر نفسه يحدث في الغلاف الجوّيّ للأرض. وهو نفاذ الإشعاع الشّمسيّ. يمتصّ سطح الأرض هذا الإشعاع. ويعيد إشعاع جزء منه - كإشعاعات أرضية طويلة. يُمتصّ ويُعاد – بثّ معظم الإشعاعات الأرضية الطويلة من غازات الغلاف الجوّيّ (بخار الماء وثاني أكسيد الكربون بشكل رئيس). إنّ الإشعاعات الأرضية التي لا تستطيع النفاذ من الغلاف الجوّيّ تسخن الأرض. تعدّ عملية التّسخين الكونيّ مفيدة جدًّا؛ إذ لولاها لأصبحت الأرض باردة بدرجة حرارة نحو (-18°س). وخلال الـ 500,000 سنة الماضية تذبذب معدّل درجة حرارة الأرض بين 19°س و27°س. وحاليًّا في أعلى قيمة لها. (27°س) - وهي في ارتفاع. إنّ مخاوفنا البيئيّة الحاليّة تتمثّل في أنّ ارتفاع مستوى ثاني أكسيد الكربون وغيره من غازات الغلاف الجويّ الأخرى سوف يؤدّي إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض أكثر. لذا يحدث اتزان حراري ضارّ بالغلاف الحيويّ للأرض.

المهم هو إدراك أنه "لا يمكن تغيير شيء واحد فقط". فإذا غيّرت شيئًا ما فإنك تغيّر شيئًا آخر بالضرورة. إنّ ارتفاعًا طفيفًا في درجة حرارة الأرض يعني محيطات أسخن. وهذا يعني تغيّرا في المُناخ وأنماط العواصف. وأنّ محيطًا أسخن يعني كذلك زيادة في التبخير. كما يعني زيادة سقوط الثّلج في المناطق القطبية. إنّ المساحات الأرضية المغطاة بالجليد والثّلج حاليًّا أكبر من مجموع المساحات المزروعة - وهي تتناقص بمعدّل غير مسبوق في التّاريخ. هذه المساحات البيضاء تعكس أشعة الشّمس. ولها إمكانية في إنقاص درجة حرارة الكون. إنّ تسخين الأرض اليوم أكثر. يمكن أن يؤدي إلى تبريدها في المستقبل. وهذا قد يؤدي إلى العصر الجليديّ التالي! أو لا يؤدي.. لا نعرف!

ولكن ما نعرفه هو أنّ استهلاك الطاقة مرتبط بحجم السّكان. ونحن نتساءل بجدّ دائمًا عن النّمو المستمر للسكان . (من فضلك. اقرأ ملحق د. "النّموّ الأسّيّ ومضاعفة الزّمن" - مادة مهمة جدًّا).

إنّ الدور المهم للزّجاج في البيت الزجاجي لبائع الأزهار، هو منع الحمل من الهواء البارد في الخارج مع الهواء السّاخن في الداخل. ولذا، فإنّ أثر البيت الزّجاجيّ يؤدّي دورًا أكبر في الاحتباس الحراري أكبر من دوره في البيت الزّجاجيّ لبائع الأزهار.

■ **نقطة فحص**

ماذا نعني بـــ: يشبه أثر الدفيئة دور صمام أحاديّ الاتجاه (دايود)؟

هل كان هذا جوابك؟

كلّ من الغلاف الأرضيّ والزّجاج في دفيئة الأزهار - يُنفذ أمواج الضّوء القصيرة. ويمنع الموجات الطويلة من الخروج. وبسبب هذا المنع. تنتقل الإشعاعات في اتجاه واحد (تمامًا كالصّمام الأحاديّ).

■ 6.7 انتقال الحرارة وتغيّر الطّور

توجد المادة في أربعة أطوار (حالات) مألوفة. فالجليد على سبيل المثال. هو طور الصلابة للماء. وعند زيادة الطّاقة الداخليّة. تحطم زيادة الحركة الجزيئية التّركيب المجمّد. ويصبح في طور الماء السّائل. وعند إضافة طاقه أكثر يتغير السّائل إلى طور الغاز. وإذا أضفت طاقه أخرى فإنّ الجزيئات تتحطم إلى أيونات وإلكترونات منتجة طور البلازما. البلازما (لا تخلط بينها وبين بلازما الدم) غاز مضيء يوجد في شاشات التّلفاز. وغيرها من مصابيح الغاز. إنّ الشّمس والنّجوم ومعظم الفضاء في طور البلازما. وكلّما غيرت المادة طورها. حدث انتقال في الطّاقة الداخليّة.

التّبخير (Evaporation)

يتحول الماء إلى الطّور الغازيّ بعملية **التّبخير**: ففي السّائل، تتحرك الجزيئات عشوائيًّا بسرعات متفاوتة. فكّر في جزيئات الماء ككرات بلياردو صغيرة، تتحرك عشوائيًّا كيفما اتفق، وتستمر في التصادم بعضها ببعض. إنّ بعض الجزيئات يكتسب طاقة حركية خلال التصادم، أما بعضها الآخر فيخسر طاقه حركية. كما أنّ الجزيئات على السّطح، والتي اكتسبت طاقة حركيّة من خلال ارتفاعها إلى أعلى هي التي يمكن أن تتحرّر من السّائل. إنّها تغادر السّطح، وتهرب إلى الفضاء فوق السّائل، وبهذه الطريقة تصبح غازًا.

عندما تغادر الجزيئات السّريعة الماء تبقى الجزيئات البطيئة. ماذا يحدث لمجموع الطّاقة الحركية في السّائل عند مغادرة الجزيئات ذات الطّاقة – العالية؟ الجواب: ينقص معدّل الطّاقة الحركية للجزيئات المتبقّية. تنقص درجة الحرارة (هي مقياس معدّل الطّاقة الحركيّة للجزيئات) ويبرد الماء.

عندما تسخن أجسامنا تبدأ الغدد العرقيّة في إنتاج العرق. وهذه هي طبيعة منظم الحرارة. تبرد بتبخر العرق، وتبخُّره يساعدنا على استقرار درجة حرارة الجسم. إنّ العديد من الحيوانات لا تملك غددًا عرقية. لذا، فعليها تبريد نفسها بطرق أخرى (الشكلان 21.7 و22.7).

الشّكل 20.7
يساعد بلّ القماش المغلف لحافظة الماء على تبريدها. عندما تتبخر جزيئات الماء السّريعة من الغطاء المبلل، تنخفض درجة حرارة الغطاء، ويبرد الفلزّ الذي بدوره يبرّد الماء في الدّاخل. ولذا يصبح الماء في الحافظة أبرد كثيرًا من الهواء الخارجيّ.

■ نقطة فحص

إذا لم يكن هناك انتقال للطّاقة الحركيّة من جزيئات الماء إلى الهواء في الأعلى، فكيف يكون التّبخر عملية تبريد؟

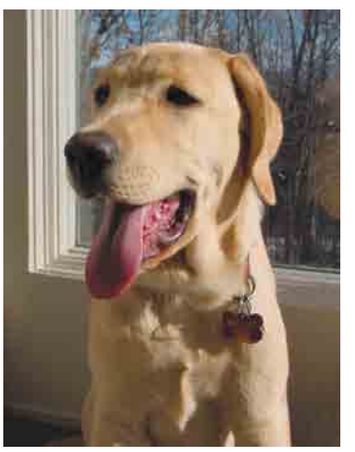
هل كانت هذه إجابتك؟

يبرد السّائل فقط عندما نأخذ منه الطّاقة الحركيّة بعيدًا بتبخير الجزيئات. وهذا يشبه زيادة سرعة كرات البلياردو على حساب الكرات الأخرى التي نقصت سرعتها. إنّ الجزيئات التي تتبخر هي السريعة، أما البطيئة فتبقى. وعليه، تنقص درجة حرارة الماء.

لمعلوماتك

يأخذ الماء من جسدك طاقة معه، ولهذا تشعر بالبرودة عندما تخرج من الماء في يوم دافئ وعاصف.

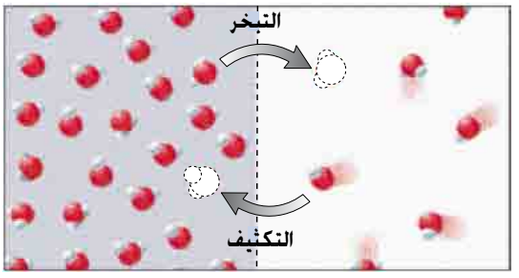
تنتقل الجزيئات من طور الصلابة إلى الطّور الغازيّ مباشرة في ثاني أكسيد الكربون الصلب (الجليد الجاف) - ولهذا السبب سمّي *الجليد الجاف*. يسمى هذا الشّكل من التبخير **التّسامي (Sublimation)**. إنّ كرة العثّ مشهورة بتساميها. حتى الماء المتجمد يتعرض للتسامي. ولأنّ جزيئات الماء متماسكة بقوة في حالة الصلابة فإنّ الماء المتجمد يتسامى ببطء أكثر من تبخر الماء السّائل. يفسّر التّسامي فقد كثير من الثّلوج والجليد، وخصوصًا في المرتفعات وقمم الجبال المشمسة. كما يفسّر التسامي سببَ صغر حجم مكعبات الجليد إذا تركت مجمّدة فترات طويلة.



الشّكل 21.7
مثل غيره من الكلاب، لا يملك سام غددًا عرقية (ما عدا ما بين أصابعه). إنه يبرد باللهاث. وبهذه الطريقة يحدث التّبخر في الفم وداخل الرئتين.

الشّكل 22.7
لا توجد للخنازير غدد عرقية، ولهذا فإنها لا تستطيع تبريد نفسها بتبخير العرق. وبدلًا من ذلك، تتمرغ في الطّين حتى تتبرد.

التّكثيف (Condensation)



الشّكل 23.7
تبادل الجزيئات عند سطح التلامس بين الماء السّائل والغاز.

إنّ عملية التّبخير هي عكس عملية **التّكثيف**: إنّها تحويل الغاز إلى سائل. عندما تنجذب جزيئات الغاز بالقرب من سطح السّائل فإنها تصطدم بطاقة حركية عالية بسطح السّائل وتصبح جزءًا منه. يمتص السّائل الطاقة الحركية، بحيث تكون النتيجة زيادة في درجة الحرارة. لذا، فبينما يبرد السائل المتبقي بالتبخير، يسخن الجسم الذي يحدث عليه التكثيف: التّكثيف هو عملية تسخين.

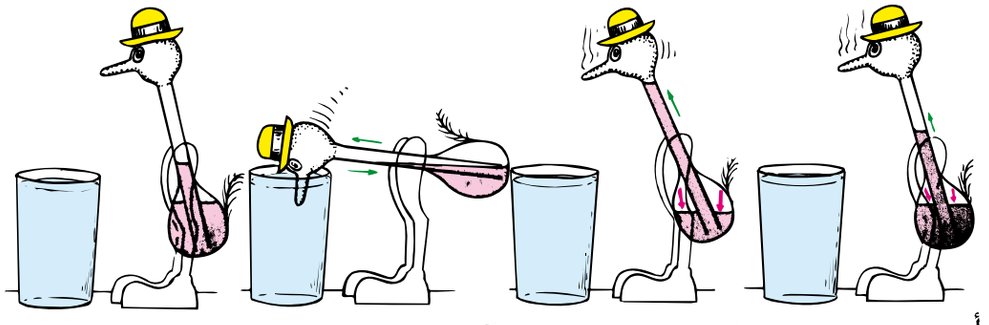
تعدّ الطّاقة المتحررة من البخار عندما يتكثف مثالًا مناسبًا جدًّا على التسخين بالتكثيف. يعطي البخار طاقة كبيرة عندما يتكثف إلى سائل ويرطب الجليد. ولهذا، فإنّ الحرق من بخار على درجة 100°س هو أكثر ضررًا من الحرق من ماء يغلي على درجه 100°س. تستخدم الطاقة المتحررة من البخار في أثناء التكثيف في أنظمة التسخين - البخاري.

عند الاستحمام، ربما لاحظت أنك تشعر بالدفء في الحمّام الرّطبة أكثر من خارجها. وبعيدا عن الرّطوبة، يكون معدّل التبخر أعلى كثيرًا من معدل التكثف. لذا، فستشعر بالبرد. ولكن عندما تبقى في هذه الحجيرة الرّطبة، فإنّ معدّل التّكثف يكون أعلى، ولذلك تشعر بالدفء. والآن، أنت تعرف لماذا يمكنك أن تجفف جسمك بالمنشفة براحة أكبر عندما تكون في الحمام. أما إذا كنت على عجلة، ولا تكترث بالبرد، فيمكنك تنشيف نفسك في الممرات.

إنك تشعر بالبرودة في المناطق الجافة أكثر من المناطق السّاحلية في أيام الصّيف بعد الظهر، رغم تساوي درجة الحرارة في المنطقتين: ففي المناطق الجافة يكون معدّل التبخر من جسمك أكبر من معدّل تكاثف جزيئات الماء من الهواء على جلدك. أمّا في المناطق الرطبة فيكون معدّل التكثف أعلى من معدل التّبخر. كما أنّك تشعر بأثر السّخونة عندما يتكثف بخار الماء على جلدك. أي أنّك تُقذف باصطدام جزيئات الماء في الهواء. (سنكتشف التّكثف في الغلاف الجويّ عند دراسة المُناخ والطّقس في الفصل 25).

الشّكل 24.7
تتحرر الطاقة الداخلية من البخار عند تكثفه داخل "المشعاع".

الشّكل 25.7
إذا شعرت بالبرد خارج حجيرة الحمام، ارجع إلى الداخل وتدفأ من تكثيف بخار الماء المتوافر في الداخل.



الشّكل 26.7
تعمل لعبة الطّائر الشّارب عبر تبخر الأيثر من داخل جسمه عن طريق سطح رأسه. يحتوي أسفل الجسم على سائل الأيثر الذي يتبخّر بسرعة عند درجة حرارة الغرفة. (أ) عند تبخره (ب) يخلق ضغطًا (داخل الأسهم) والتي تدفع بالأيثر إلى أعلى الأنبوب. لا يتبخر الأيثر الموجود في أعلى الأنبوب؛ لأنّ الرأس يبرد بتبخر الماء من اللبادة الخارجية التي تغطي الرأس والمنقار. عندما يكون وزن الأيثر في الرأس كافيًا فإنّ الطّير (ج) ينحني إلى الأمام، مما يسمح للأيثر بالعودة إلى الجسم. وكل انحناءة تبلل لبادة الرأس والمنقار، وهكذا تتكرر الدورة.

السّحق بالتّكثيف

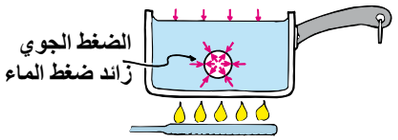
ضع كمية صغيرة من الماء في علبة ألومنيوم غير مغلقة، وسخنها بالفرن حتى يخرج البخار من الفتحة. عندما يحدث ذلك، يُطرد الهواء ويحلّ مكانه البخار. وإذا قلبتها بسرعة بملقط في حوض من الماء فسوف تتحطم بسبب الضّغط الجويّ! لماذا؟ عند اصطدام جزيئات البخار داخل العلبة بجدرانها الداخلية، فإنّها ترتد- بالتأكيد لا يمتصها الفلز. ولكن حين يصطدم بخار الماء في الحوض، فإنها تلتصق بسطح الماء؛ بسبب التّكثّف، تاركًا ضغطًا منخفضًا في العلبة. وعندئذ يُحطّم الضّغط الجويّ العلبة. وهنا نرى بشكل تمثيلي كيفية انخفاض الضغط بالتّكثّف (هذا العرض يضع الأساس لدورة الآلة البخاريّة؛ ربما للدّراسة المستقبليّة).

نقطة فحص

ضع وعاء ماء في أيّ مكان في غرفتك. إذا لم يتغير مستوى الماء في الوعاء من اليوم إلى اليوم التالي، فهل تستنتج عدم حدوث تكثّف أو تبخّر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا، تحدث عمليتا التّكثّف والتّبخّر بشكل كبير وباستمرار على المستوى الجزيئيّ. إنّ حقيقة عدم حدوث تغير على مستوى الماء يشير إلى تساوي معدلات التّبخّر والتّكثّف.



الشّكل 27.7
تصنع حركة جزيئات البخار في الفقاعة (مكبرة جدًا) ضغطًا غازيًا (يسمى ضغط البخار) يعادل الضّغط الجويّ زائد ضغط الماء على الفقاعة.

7.7 الغليان

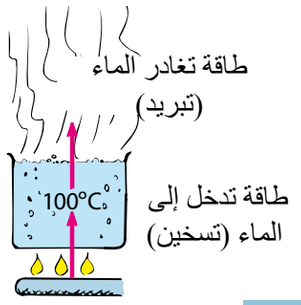
يحدث التّبخر عند سطح السّائل. ويحدث تغير في الطّور من السّائل إلى الغاز تحت سطح السّائل عند توافر الظّروف المناسبة. ترتفع فقاعة الغاز المتكوّنة تحت سطح السّائل إلى الأعلى، حيث تنطلق إلى الهواء المحيط. يسمى هذا التّغيّر في الطّور **الغليانَ**.

يجب أن يكون ضغط البخار داخل الفقاعة في السّائل الذي يغلي كبيرًا بما فيه الكفاية لمقاومة ضغط السّائل المحيط. وإن لم يكن ضغط البخار كبيرًا بما فيه الكفاية، فإنّ الضغوط المحيطة تقضي على أيّ فقاقيع في طريقها إلى التّشكّل وعند درجة حرارة تحت نقطة الغليان فإنّ ضغط البخار لا يكون كبيرًا بما فيه الكفاية؛ فالفقاقيع لا تتشكّل حتى تبلغ درجة الغليان.

يشبه الغليانُ التّبخرَ في أنّه عملية تبريد. وللوهلة الأولى، يبدو هذا مدهشًا - ربما لأننا عادة ما نربط الغليان بالتسخين. ولكن تسخين الماء شيء وغليانه شيء آخر. عندما نغلي الماء إلى درجة حرارة 100° س تحت الضّغط الجويّ، فهو في اتزان حراريّ. يبرد الماء في الإبريق بالغليان بالسرعة نفسها التي سخن بها من طاقة المصدر الحراريّ (الشكل 28.7). وإن لم يكن التبريد حاصلًا فإنّ استمرار تطبيق الحرارة على الماء المغليّ في الإبريق يؤدي إلى رفع درجة حرارته.

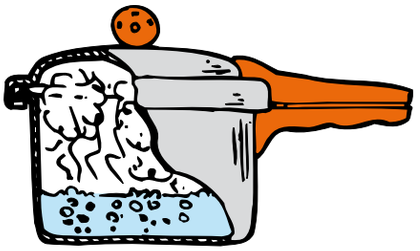
عند زيادة الضّغط على سطح السّائل يخمد الغليان. وترتفع درجة حرارته. تعتمد درجة الغليان لسائل ما على الضّغط فوق السائل - وهذا واضح في وعاء الضّغط (الشّكل 29.7). في هذا الوعاء، يتعاظم ضغط البخار في الداخل ويمنع الغليان. وهذا يرفع درجة الحرارة إلى أعلى من درجة الغليان المعتادة. لاحظ أنّ درجة حرارة الماء وهو في طريقه إلى الغليان، هي التي تُنضج الطعام، وليست عملية الغليان نفسها.

ينقص الضّغط الجويّ (كما في المناطق المرتفعة) درجة حرارة الغليان. على سبيل المثال، في مدينة دينفر/كولارادو في الولايات المتحدة - مدينه على ارتفاع ميل - يغلي الماء على درجة حرارة 95° س بدلا من 100° س. إذا أردت طهو طعام في منطقة يغلي الماء فيها عند درجة حرارة أقلّ من 100° س، فعليك الانتظار وقتًا أطول حتى تحصل على نضج كافٍ. إذا سلقت البيض لمدة ثلاث دقائق في دنفر فإنّك لا تستطيع أكله. وإذا كانت درجة حرارة غليان الماء منخفضة جدًّا، عندئذ لا يمكن طهو الطعام أبدًا.



الشّكل 28.7
يدفئ التسخين الماء من الأسفل، أمّا الغليان فيبرده من الأعلى.

عندما نقول إننا نغلي الماء فهذا يعني أننا نسخنه. في الواقع، إنّ عملية الغلي تبرد الماء.



الشّكل 29.7
يمسك غطاء الوعاء المحكم الضغط البخار المضغوط فوق سطح الماء، وهكذا يمنع الغليان. وبهذه الطريقة تزداد درجة غليان الماء إلى أكثر من 100°س.

■ نقطة فحص

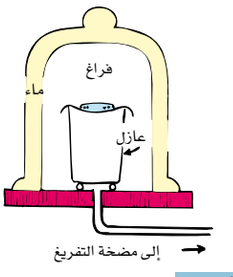
1. لأنّ الغليان عملية تبريد، فهل عملية تبريد يديك الرطبتين بغمسهما في ماء يغلي فكرة جيدة؟
2. الماء المغلي بسرعة له درجة الحرارة نفسها للماء الذي يغلي ببطء، فكلاهما يغلي عند درجة حرارة 100° س. إذن، لماذا تكون تعليمات طهو المعكرونة غالبًا هي استعمال الماء المغلي بسرعة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

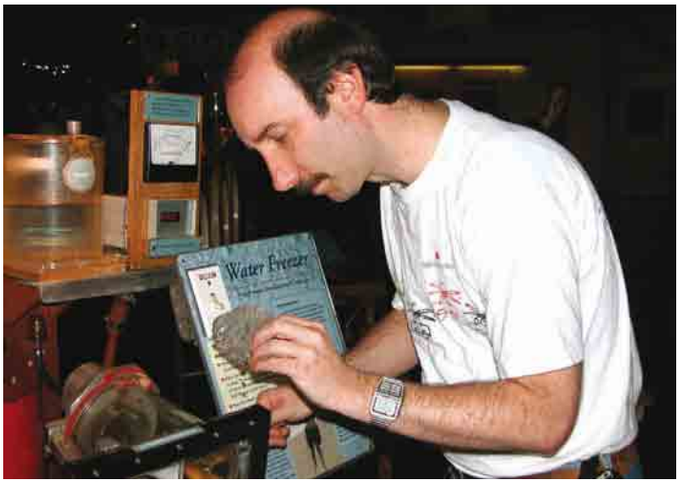
1. لا؛ عندما نقول إنّ الغليان عملية تبريد، فنحن نعني أنّ الماء المتبقي في الوعاء (ليس يداك) هو الذي يبرد مقارنة بدرجة الحرارة التي يمكن أن يصبح عليها الماء لو لم يحدث تبخير. وبسبب أثر التبريد للغليان، يبقى الماء عند درجة حرارة 100° س بدلًا من أن يسخن أكثر. ولهذا، إذا غمست يديك في ماء عند درجة حرارة 100° س فسيكون هذا مؤذيًا جدًّا لهما!
2. يعلم الطّباخ الجيّد أنّ السّبب في استعمال الماء المغلي بسرعة ليس درجة الحرارة المرتفعة، بل ببساطه لمنع التصاق السباجيتي بعضها ببعض.

يوضح الشّكل 30.7 إثباتًا تمثيليًّا لأثر التبريد للبخار والغليان. نرى وعاءً (صحنا غير عميق) يحتوي على ماء عند درجة حرارة الغرفة داخل وعاء مفرّغ. عندما تبدأ تفريغ الوعاء من الهواء ببطء بمضخّة هواء، يبدأ الماء في الغليان. وكما هو الحال في التبخر، تغادر الجزيئات ذات الطاقة العالية من الماء، ويبرد الماء المتبقي. وكلما نقص الضغط أكثر يحدث المزيد والمزيد من الغليان للجزيئات المتحركة بسرعة حتى يصل السّائل المتبقي إلى درجة 0° س. إنّ استمرار التبريد في الغليان يؤدي إلى تشكّل الجليد فوق سطح فقاقيع الهواء. كما أنّ الغليان والتبريد يحدثان في الوقت نفسه؛ إنّ منظر الفقاقيع المجمّدة للماء الذي يغلي رائع.

إذا نثرت بعض قطرات القهوة في حجرة مفرغة، فإنها تغلي حتى تتجمد. وتستمر جزيئات الماء في التبخّر إلى الفراغ حتى بعد تجمدها وحتى لا يتبقى غير البلّورات الصغيرة من القهوة الصّلبة.



الشّكل 30.7
جهاز لتوضيح أنّ الماء يتجمد ويغلي في الوقت نفسه في الفراغ. يوضع 1 جم أو 2 جم من الماء في طبق يتم عزله من القاعدة بكأس بوليسترين.



الشّكل 31.7
يزيل رون Ron قطعة من الجليد الطازج من "الماء المتجمد" في المعرض. كما تم عرضه في الحجرة المفرغة، كما في الشّكل 30.7.

وبهذه الطريقة تصنع القهوة الجافة المجمدة. إنّ انخفاض درجة الحرارة لهذه العملية يحفظ التركيب الكيميائي للقهوة الصّلبة من التّغيّر. وعند إضافة الماء السّاخن، يُستعاد كثير من النكهة الأصلية للقهوة.

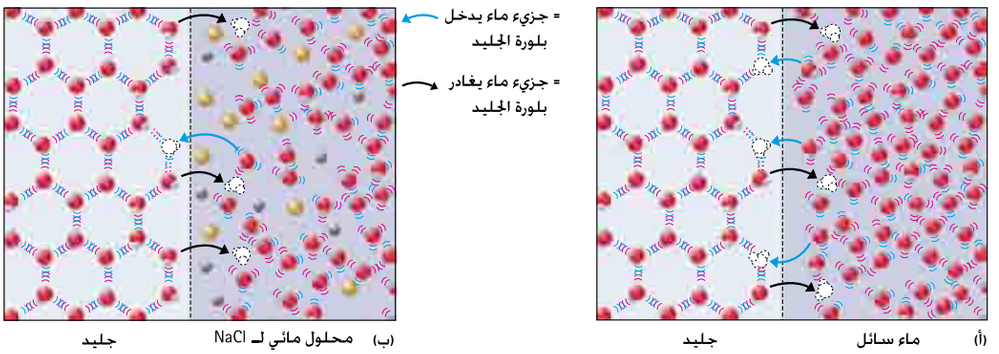
لمعلوماتك

■ لم يكن لمتسلقي الجبال في القرن التاسع عشر أدوات لقياس الارتفاع. ولهذا استخدموا درجات غليان الماء لتحديد ارتفاعهم.

■ 8.7 الانصهار والتّجمد

يحدث **الانصهار** عندما يتغير طور المادة من الصّلابة إلى السّيولة. ولفهم ما يحدث: تخيّل مجموعة من الناس متشابكي الأيدي، يقفزون هنا وهناك. وكلما كان قفزهم شديدًا، صعب أن تبقى أياديهم متشابكة. أما إذا كان القفز شديدًا بما فيه الكفاية، فيستحيل عندئذ بقاء الأيادي متشابكة. والشيء نفسه يحدث لجزيئات الجامد عندما يسخن. عند امتصاص الجامد للحرارة تهتز جزيئاته بشدة أكثر فأكثر. وإذا كانت كمية الحرارة الممتصة كافية فإنّ قوى التجاذب بين الجزيئات لا تستطيع الإمساك بها معًا. ومن هنا ينصهر هذا الجامد.

يحدث **التّجمد** عندما يتغيَّر طور المادة من السّيولة إلى الصّلابة، أي عكس عملية الانصهار. عندما تأخذ الطّاقة من السّائل، تتباطأ الحركة الجزيئية، وتتحرك الجزيئات ببطء، بحيث إن قوى التجاذب بين الجزيئات تربطهم معًا. ويتجمد السّائل عندما تهتز جزيئاته حول نقطة معينة ويتشكل الجامد.



الشّكل 32.7
(أ) في مزيج من الجليد والماء على درجة 0°س. تكسب بلورات الجليد جزيئات الماء وتفقدها في الوقت نفسه. يكون الجليد والماء في حالة اتزان حراري. (ب) عند إضافة الملح إلى الماء، يدخل القليل من جزيئات الماء إلى الجليد؛ بسبب توافر القليل منها عند الحاجز الفاصل.

يتشكّل الجليد عند درجة 0° س، تحت ضغط جويّ عاديّ. وتنخفض نقطة تجمد الماء عند وجود شوائب فيه. تعترض الجزيئات "الغريبة" الطريق، وتتدخل في تشكيل البلّورة. وعمومًا ، فإنّ إضافة أيّ شيء إلى الماء يخفض درجة تجمده. ويعدّ الماءُ المقاوم للتجمد أحدَ التطبيقات العملية لهذه الظاهرة.

لمعلوماتك

لماذا ينثر الصّخر الملحيّ على الطرقات المغطاة بالجليد في الشّتاء؟ الجواب: لأنّ الملح يصهر الجليد. إنّ الملح في الماء ينفصل إلى أيونات صوديوم وأيونات كلور. وعندما توجد هذه الأيونات في الماء، فإنّها تعطي الطاقة التي تذيب الطّبقات السّطحيّة دون المجهرية من الجليد، وتزداد عملية الإذابة عن طريق ضغط عجلات السيارات التي تدور على السّطح المغطّى بالجليد، والذي بدوره يجبر الملح على الدخول في هذا الجليد. ومن الجدير بالذكر أنّ حجم البلّورات هو الذي يميّز بين الملح الصّخريّ الذي يُرشُّ على الطرقات في الشتاء من جهة، والمادة التي تنثرها على الذرة(البوشار) من جهة أخرى.

9.7 الطّاقة وتغيّر الطّور

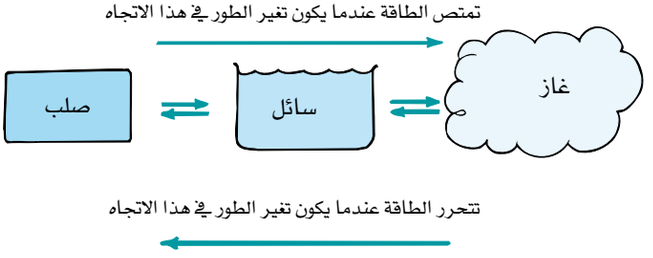
إذا سخّنت الجامد إلى درجة كافي، فسينصهر ويصبح سائلا. وإذا سخّنت السّائل، فسيتبخر ويصبح غازًا. يجب إضافة طاقة للمادة لتغير طورها من الصّلابة إلى السّيولة إلى الغاز. وبالمقابل، يجب استخلاص طاقه من المادة لتغيّر طورها من الغاز إلى السّائل إلى الصّلب. (الشّكل 33.7).

إنّ دورة الثّلاجة توضّح هذه المفاهيم. يضُخّ محرّك الثّلاجة سائلًا خاصًّا عبر النظام؛ حيث يتعرض لدورة من التبخير والتكثيف. عند تبخر السّائل، تُنتزع الطّاقة الدّاخليّة من الأجسام المخزّنة في الثّلاجة. يوجه الغاز المتشكّل، وطاقته المتحررة، نحوه ويتكثف ليصبح سائلًا في الأسلاك اللولبية في الخلف، والتي تسمى ملفات التّكثيف. في المرة القادمة عندما تكون بالقرب من الثّلاجة، ضع يدك بالقرب من ملفات التكثيف في الخلف، لتشعر بالحرارة الصادرة من الدّاخل.

تستخدم مكيفات الهواء المبدأ نفسه؛ فهي ببساطة تمتصّ الطّاقة الحراريّة من جزء من الوحدة إلى وحدةٍ أخرى. وإذا عكست أدوار التبخير والتكثيف فسيصبح مكيف الهواء مدفأة.

تسمّى كميةُ الطّاقة اللازمة لتغيير أيّ مادة من حالة الصّلابة إلى حالة السّيولة (والعكس) **حرارة الانصهار (Heat of Fusion)** للمادة. وهي للماء 334 جول/جم. في حين تسمّى كميةُ الطّاقة اللازمة لتغيير أيّ مادة من حالة السّيولة إلى الغازيّة (والعكس) **حرارة التّبخير (Heat of Vaporization)** للمادة. وتبلغ للماء كمية هائلة 2256 جول/جم.

في عصور ما قبل الحداثة، حال المزارعون في المناخات الباردة دون تجمد جِرار الغذاء بالاستفادة من ميزة أنّ حرارة الانصهار - للماء عالية. ببساطة، لقد احتفظوا بأنابيب ضخمة من الماء في أقبيتهم. يمكن لدرجة الحرارة أن تهبط إلى ما دون التّجمّد. ولكن ليس في الأقبية، حيث يحرر الماء طاقة داخلية في أثناء تجمده. وتتطلب الأغذية المعلبة درجات حرارة دون الصفر لتتجمد؛ وذلك لاحتوائها على الملح أو السكر. وما كان على المزارعين سوى استبدال أحواض الماء المتجمد بالأحواض غير المتجمدة، وهكذا لا تهبط درجات حرارة القبو إلى ما دون الصفر.



الشّكل 33.7
تتغيّر الطّاقة بتغيّر الطّور.

الشّكل 34.7
يتم حصاد ضوء الشّمس ببساطة ولطف.

إنّ حرارة التبخير هي الطّاقة اللازمة لفصل جزيئات من طور السّائل إلى الطّور الغازيّ، أو أنّها الطّاقة المتحرّرة عندما تتكثف الغازات إلى طور السّائل.

■ **نقطة فحص**

في عملية تكثيف بخار الماء في الهواء، فإنّ الجزيئات الأبطأ في الحركة هي التي تتكثّف. هل التكثيف يسخّن الهواء المحيط أم يبرّده؟

هل كانت هذه اجابتك؟

عند إبعاد الجزيئات الأبطأ من الهواء، يصبح معدّل الطّاقة الحركيّة للجزيئات المتبقيّة في الهواء أكبر. لذا يسخن الهواء. وتغير الطّور هو من الغاز إلى السّائل، وهذا يحرّر طاقة (الشّكل 33.7).

إنّ حرارة الانصهار هي الطّاقة اللازمة لفصل الجزيئات من طور الصّلابة إلى طور السّيولة، أو أنّها الطاقة المتحرّرة عندما تتشكّل الرّابطة في السّائل لتغيّره إلى طور الصّلابة.

تسمح حرارة التبخير العالية للماء أن تلمس بإصبعك المبلل لفترة قصيرة مقلاة حارة على الفرن دون أن تتأذّى. ويمكنك ملامستها عدة مرات بالتعاقب ما دام إصبعك مبلّلا. فالطّاقة التي عادة ما تنتقل إليك لتحرق إصبعك، تذهب إلى تغيير طور الرّطوبة عليه. وبالطريقة نفسها تستطيع الحكم على سخونة مكواة الملابس.

قام بول ريان (Paul Ryan)- مراقب في قسم الأشغال العامة في مدينة مولدن / مساشوسيتس في الولايات المتحدة- لسنين باستخدام الرّصاص المصهور للحام المواسير في عمليات سباكة معينة. وكان يروّع المشاهدين بغمس أصابعه في الرصاص المصهور للحكم على سخونته (الشّكل 35.7). لقد كان متأكدا من أنّ الرّصاص ساخن جدًّا، ولكن إصبعه كانت مبللة بالكامل قبل القيام بهذا العمل. (تحذير: لا تجرب ذلك؛ إذا لم يكن الرّصاص ساخنًا بما فيه الكفاية، فسوف يلتصق بإصبعك).
سوف نناقش دور الطّاقة الحراريّة في التّسخين الكونيّ في الفصل الخامس والعشرين.

الشّكل 35.7
يفحص بول ريان Paul Ryan سخونة الرّصاص المذاب بغمس إصبعه المبللة فيه.

ملخّص المصطلحات

التّوصيل Conduction: انتقال الطّاقة الدّاخليّة عن طريق اصطدام الجزيئات والإلكترونات ضمن المادة (خصوصًا في الجامد).
الحمل Convection: انتقال الطّاقة الدّاخليّة في الغاز أو السّائل عن طريق التّيارات في المائع المسخّن. ينساب المائع حاملًا الطّاقة معه.
الإشعاع Radiation: انتقال الطّاقة بالموجات الكهرومغناطيسيّة.
الإشعاع الأرضيّ Terrestrial radiation: الطّاقة الإشعاعيّة التي تبثّها الأرض.
قانون نيوتن للتّبريد Newton's law of cooling: يتناسب معدّل فقدان الطّاقة الدّاخليّة من الجسم مع الفرق في درجة الحرارة بين الجسم ومحيطه. كما يتناسب معدّل التبريد مع ΔT.
التّبخير Evaporation: تغيّر الطّور عند سطح السّائل لدى مروره بالطّور الغازيّ.
التّسامي Sublimation: تغيّر الطّور من الصّلب إلى الغاز مباشرة، متخطّيا طور السّائل.
التّكثيف Condensation: تغيّر الطّور من الغاز إلى السّائل، عكس التّبخير، وهو تسخين السّائل يحدث الغليان.
الغليان Boiling: تحدث حالة من التبخير السريع ضمن السّائل، وفي الهواء المحيط. وكما هو الحال في التّبخير يحدث التّبريد.
الانصهار Melting: عملية تحوّل الطّور من الصّلابة إلى السّيولة كما هو الحال من الجليد إلى الماء.
التّجمُّد Freezing: عملية تحوّل في الطّور من السّيولة إلى الصّلابة، كما هو الحال من الماء إلى الجليد.
حرارة الانصهار Heat of fusion: كمية الطّاقة اللازمة لتحويل أيّ مادة من الصّلابة إلى السّيولة (والعكس) وهي للماء 334 جول/جم (أو 80 سعر/جم).
حرارة التّبخير Heat of vaporization: كمية الطّاقة اللازمة لتحويل أيّ مادة من السّيولة إلى الغازيّة (والعكس) وهي للماء 2256 جول/جم (أو 540 سعر/جم).

أسئلة مراجعة

1. ما الطرائق الثلاث المألوفة التي يتمّ بها انتقال الحرارة؟

1.7 التّوصيل

2. ما دور الإلكترونات "الحرّة" في موصلات الحرارة؟
3. ما تفسير المشي على النار بالأقدام العارية. المشي بأمان فوق الفحم الخشبيّ الأحمر الحارّ أيضًا؟
4. هل يمنع العازل الجيد الحرارة من الدخول إليه أنه يبطئ مرورها؟

2.7 الحمل

5. بأيّ وسيلة تنتقل الحرارة بالحمل؟
6. ماذا يحدث لدرجة حرارة الهواء عندما يتمدد؟
7. لماذا لا تحترق يد الطّاهي عندما يضعها فوق صمام الأمان في وعاء الضّغط (الشكل 8.7)؟
8. لماذا يتغيّر اتجاه رياح السّاحل بين النهار والليل؟

3.7 الاشعاع

9. كيف يرتبط تردّد الطّاقة الإشعاعيّة لجسم مع درجة الحرارة المطلقة لمصدر الإشعاع؟
10. ما الإشعاعات الأرضيّة؟ فيم تختلف عن إشعاعات الشّمس؟
11. بما أنّ الأجسام جميعها تبثّ طاقة إلى محيطها. فلِمَ لا تستمر درجة حرارة هذه الأجسام في الانخفاض؟
12. لماذا يبدو بؤبؤ العين أسود اللون؟

4.7 قانون نيوتن للتّبريد

13. أيهما يتعرض لمعدل تبريد أكبر: مسمار أحمر- ساخن في فرن دافئ أم مسمار أحمر- ساخن في غرفه باردة. أم أنّ كليهما يبرد بالمعدل نفسه؟
14. هل ينطبق قانون نيوتن للتّبريد على التّسخين. كما ينطبق على التّبريد؟

5.7 التّسخين الكونيّ وأثر الدّفيئة (البيوت الزّجاجيّة)

15. ما التبعات على درجة حرارة الأرض لو انعدم أثر الدّفيئة بالكامل؟
16. .ماذا نعني بالتّعبير الآتي: "لا تستطيع أبدًا تغيير شيء واحد فقط"؟

6.7 انتقال الحرارة وتغيّر الطّور

17. ما الأطوار الأربعة المألوفة للمادة؟
18. هل للجزيئات جميعها في السّائل السرعة نفسها تقريبًا. أم أنّ سرعات الجزيئات مختلفة ومتباعدة؟
19. ما التبخير. ولِمَ يُعَدّ عملية تبريد؟ وما الذي يبرد؟
20. ما التّسامي؟
21. ما التّكثيف؟ ولِمَ يعدّ عملية تسخين؟ وما الذي يسخن؟
22. لماذا يكون الإيذاء الناجم عن حرق البخار أكبر من الإيذاء الناجم عن الحرق بالماء المغلي. مع أنّ لكليهما درجة الحرارة نفسها؟

7.7 الغليان

23. ميّز بين التّبخر والغليان؟
24. لماذا لا يغلي الماء على درجة حرارة 100°س عند تعرضه لضغط أكبر من الضّغط الجوّيّ الطّبيعيّ؟
25. ما الذي يُسّرع إنضاج الطّعام في وعاء الضّغط: غليان الماء أم درجة حرارته العالية؟

8.7 الانصهار والتّجمد

26. لماذا ينصهر الجامد عند زيادة درجة حرارته؟
27. لماذا يتجمّد السّائل عند نقصان درجة حرارته؟
28. لماذا لا يتجمّد الماء عند درجة حرارة 5°س عند وجود أيونات غريبة فيه؟

9.7 الطّاقة وتغيّر الطّور

29. هل يعطي السّائل طاقة أم يمتصّها عند تحوّله إلى: غاز. صلب؟
30. هل يعطي الغاز طاقة أم يمتصّها عند تحوّله إلى سائل؟ ماذا عن الجامد الصّلب عند تحوّله إلى سائل؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● لُفّ فرو معطف حول ميزان حرارة. هل ترتفع درجة الحرارة؟
2. ● ما تفسير أنّ (غطاء) الرّيش يكون دافئًا في ليل الشّتاء البارد؟
3. ● ما دور طبقة النحاس أو الألومنيوم الموجودة في أسفل أدوات الطّبخ الفولاذيّة؟
4. ● بلغة الفيزياء. لماذا تُقدم البطاطس المشويّة ملفوفة برقائق الألومنيوم؟
5. ● تأذت العديد من الألسُن من لعق قطعه فلزّية في يوم بارد. لماذا؟ في حين لا يكون هناك أذى إذا استعملنا قطعة خشبيّة بدلًا من القطعة الفلزية في اليوم نفسه؟
6. ● الخشب عازل أفضل من الزّجاج. ومع ذلك تُستخدم الألياف الزّجاجيّة للعزل في المباني الخشبيّة. لِمَ ذلك؟
7. ■ قم بزيارة أيّ مقبرة مغطاة بالثّلج. ولاحظ أنّ الثلج لا يرتفع

إلى الأعلى مقابل حجر الشّاهد. ولكن يشكل انخفاضات حوله كما في الشكل. ما تفسيرك لذلك؟

8. ■ موصلية الخشب منخفضة جدًّا. هل تبقى موصليته ضعيفة حتى عندما يكون حارًّا جدًّا؛ أي في مرحلة يصبح فيها فحمًا ساخنًا أحمر اللون؟ هل تستطيع المشي على الفحم الأحمر السّاخن وأنت حافي القدمين؟ مع أنّ الفحم ساخن، هل تصل كمية كبيرة من حرارة الفحم إلى قدميك إذا كنت سريع الخطوة؟ هل تستطيع عمل الشيء نفسه على قطعة حديد حمراء ساخنة ؟ فسّر. (**تحذير**: لا تجرب ذلك؛ فقد يلتصق الفحم بقدميك) .

9. ● يقول صديق: يكون للجزيئات في خليط من الغازات المتزنة حراريًّا معدّلُ الطّاقة الحركيّة نفسه. هل توافق على ذلك؟ دافع عن إجابتك.

10. ● يقول صديق: يكون للجزيئات في خليط من الغازات المتزنة حراريًّا معدّلُ السرعة نفسه. هل توافق على ذلك؟ دافع عن إجابتك.

11. ● ما علاقة ارتفاع الحرارة النوعية للماء مع تيارات الحمل في الهواء عند شاطئ البحر؟

12. ■ كيف تقارن معدّل الطّاقات الحراريّة لكلّ جزيء في خليط من غازي الهيدروجين والأكسجين عند درجة الحرارة نفسها ؟

13. ■ في خليط من غازي الهيدروجين والأكسجين عند درجة الحرارة نفسها، أيّ الجزيئات يتحرك بسرعة أكبر؟ ولماذا؟

14. ■ أيّ الذرات لها معدّل سرعة أكبر في خليط من 238 -U- و235-U-؟ كيف يؤثر ذلك في غشاء مساميّ، والذي لولاه لكان الخليط مكونًا من غازات متماثلة من هذه النّظائر؟

15. ■ تدفع آلات صنع الثّلج في المناطق الزلقة بخليط من الهواء المضغوط والماء خلال نافورة. يمكن أن تكون درجة حرارة الخليط الابتدائية أعلى من درجة تجمد الماء، ومع ذلك تتكون بلّورات الثّلج عند قذف الخليط من النافورة. فسّر كيفية حدوث ذلك.

16. ● إذا شغّلت مصباحًا متوهجًا وأطفأته بسرعة كبيرة وأنت واقف بجانبه فستشعر بحرارته، ولكن حين تمسك به ستجده غير ساخن. فسر لِمَ أحسست بحرارة المصباح؟

17. ● عند وضع عدد من الأجسام على درجات حرارة مختلفة في غرفة مغلقة، فإنها تتشارك في الطّاقة الإشعاعيّة، وتصل أخيرًا إلى درجة الحرارة نفسها. هل يحدث هذا الاتّزان الحراريّ لو كان الماصّ الجيّد باهتًا ضعيفًا، وكان الباهتُ الجيّد ماصًّا ضعيفًا؟ دافع عن إجابتك.

18. ■ من القواعد أنّ الماصّ الجيّد للإشعاع هو مشعّ جيّد، وأنّ العاكس الجيّد هو ماصٌّ ضعيف. اذكر قاعدة تربط بين خصائص الانعكاس والإشعاع للسّطح.

19. ● تأتي حرارة البراكين والينابيع الطّبيعية الحارّة من كميات قليلة من المعادن المشعة في الصّخور داخل الأرض. لماذا لا تسخّن هذه الصّخور نفسها عند السّطح بمجرد اللمس؟

20. ♦ افترض أنّ مطعمًا يقدم القهوة قبل أن تكون جاهزةً لاحتسائها. حتى تكون أسخن ما يمكن حين تبدأ احتساءها، هل من الحكمة أن تضيف مبيض القهوة بمجرد تقديمها لك أم قبيل ذلك؟

21. ■ هل من المهم تحويل درجات الحرارة إلى مقياس كلفن عند تطبيق قانون نيوتن في التبريد؟ لماذا؟

22. ♦ إذا رغبت في توفير الوقود، وإبقاء بيتك دافئًا مدة نصف ساعة أو أكثر في يوم بارد جدًّا، فهل تلجأ إلى إدارة منظم درجة الحرارة عدة درجات حرارة إلى الأقل، أم بإطفائه بالكامل، أم أنّك ستبقيه عند درجة حرارة الغرفة التي تريد؟

23. ♦ إذا رغبت في توفير وقود، وإبقاء بيتك باردًا مدة نصف ساعة أطول في يوم حارّ جدًّا، فهل تدير منظم حرارة مكيف الهواء أعلى قليلًا، أم ستقوم بإطفائه، أم تتركه عند درجة الحرارة التي تريدها؟

24. ● لماذا تُطلى جدران البيوت الزجاجية المزروعة بالأزهار باللون الأبيض؟ هل تتوقع أنّ هذه الممارسة تكون أكثر انتشارًا في أشهر الصيف أم في أشهر الشتاء؟

25. ● إذا تغيرت تركيبة الغلاف الجوي في الطبقات العليا بحيث تسمح لكمية أكبر من الإشعاعات الأرضية بالنفاذ، فما أثر ذلك في مُناخ الأرض؟

26. ● يمكنك تحديد اتجاه الريح ببلّ إبهامك ورفعه في الهواء. فسّر.

27. ■ إذا كانت الجزيئات جميعها في السائل لها السرعة نفسها، وبعضها كان قادرًا على التبخر، فهل تبرد البقية؟ فسّر.

28. ■ من أين تأتي الطاقة التي تُبقي الطائر الغاطس يعمل في الشكل 26.7؟

29. ■ لماذا تغلّف مطرة الماء بقطعة قماش مبللة لكي تبقى باردة أكثر من وضعها في ماء بارد؟

30. ■ لماذا تنقص درجة حرارة غليان الماء عندما يكون الضغط منخفضًا، كما هو الحال في المناطق المرتفعة؟

31. ■ ضع كأسًا من الماء فوق حامل داخل قدر من الماء بحيث يكون أسفل الكأس فوق قاع القدر. عند وضع القدر في الفرن يغلي الماء في القدر، ولكن الماء في الكأس لا يغلي. لماذا؟

32. ● يغلي الماء آنيًّا على درجة حرارة الغرفة في الفراغ - على القمر مثلا. هل تستطيع سلق بيضة في هذا الماء؟ فسّر.

33. ● اقترح صديقك المخترع تصميمًا لأداة طهو تجعل حدوث الغليان عند درجة حرارة أقلّ من 100°س، بحيث يمكن الطهو بأقلّ استهلاك من الطاقة. علّق على هذه الفكرة.

34. ● عندما تسلق البطاطس، هل يقلّ وقت الطهو إذا استخدمت ماء يغلي بنار حامية أم بنار هادئة.

35. ■ لماذا يقلّل تغطية وعاء الماء زمن الغليان عند وضعه في الفرن، ولكن بعد الغليان، فإنّ وضع الغطاء يقلل من وقت الطهو نوعا ما؟

36. ■ في محطة الطاقة النووية للغواصة، تكون درجة حرارة الماء في المفاعل أعلى من 100°س. كيف يمكن ذلك؟

37. ■ أُخرجت قطعة من معدن وقطعة أخرى من خشب لهما الكتلة نفسها من فرن ساخن، وكلتاهما عند درجة الحرارة نفسها، وأسقطتا على قطع من الجليد. إذا علمت أنّ الحرارة النوعية للمعدن أقلّ مما لقطعة الخشب، فأيهما يذيب جليدًا أكثر قبل أن يصلا إلى درجة الصفر السيليزي؟

38. ■ لماذا يمنع وجود حوض من الماء في قبو المزارع الأطعمة المعلبة من التجمد؟

39. ■ لماذا يحمي رشُّ أشجار الفاكهة بالماء قبل الصقيع الفواكهَ من التجمد؟

40. ● لماذا يلهث الكلب؟

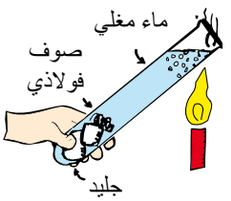
مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● إذا علمت أنّ السّعة الحرارية النوعية للجليد هي 0.5 سعر/جم . °س. افترض أنها تبقى ثابتة إلى درجة الصفر المطلق. فأثبت أنّ الحرارة اللازمة لتحويل مكعب جليد كتلته 1 جم على درجة الصفر المطلق (-273°س) إلى 1 جم من الماء المغلي هو 320 سعرًا.
2. ● تعرضت قطعة من الجليد عند درجة 0°س لـ 10 جم من البخار عند درجة 100°س فذابت بالكامل. أثبت أنّ كتلة الجليد لا تزيد على 80 جم .
3. ■ أسقطت كرة من الجليد كتلتها 10 كجم على بلاط من ارتفاع 100°س. افترض أنّ نصف الحرارة المتولدة يستنفد في تسخين الكرة. أثبت أنّ درجة حرارة الكرة ترتفع بمقدار 1.1°س. بالوحدات الدولية (SI) السعة الحرارية النوعية للحديد هي 450 جول /كجم. °س. لماذا يكون الجواب واحدًا لأيّ كرة حديدية مهما كانت كتلتها.
4. ■ أسقطت قطعة من الجليد على درجة 0°س من ارتفاع ما بحيث ذابت بالكامل عند ارتطامها. افترض أنّ المقاومة معدومة. وأنّ الطاقة استنفدت جميعها لإذابة الجليد. برهن أنّ الارتفاع اللازم ليحدث ذلك هو 34 كم على الأقل. (مساعدة: ساوِ طاقة الوضع للجاذبية بالجول مع حاصل ضرب كتلة الجليد في حرارة انصهاره (بوحدات (SI) هي 335,000 جول/كجم). هل استنتجت لِمَ لا تعتمد الإجابة على الكتلة.
5. ■ صبّ 50 جم من الماء السّاخن عند درجة حرارة 80°س في وعاء يحتوي على قطعة جليد كبيرة على درجة 0°س. فأصبحت درجة الحرارة النهائية في الوعاء 0°س . أثبت أنّ كتلة الجليد التي انصهرت هي 50 جم .
6. ■ أسقطت قطعة من الحديد كتلتها 50 جم عند درجة حرارة 80°س على وعاء يحتوي قطعة كبيرة من الجليد على درجة 0°س. بين أنّ كتلة الجليد الذائبة هي 5.5 جم (سعة الحرارة النوعية للحديد هي 0.11 سعر/جم . س°).
7. ■ حرارة التبخير لإيثيل الكحول تبلغ نحو 200 سعر/جم. بيّن أنه إذا سمح لـ 2 كجم من هذه المادة المبرَّدة بالتبخير في الثلاجة، فإنها تحوّل 5 كجم من الماء إلى جليد على درجة 0°س.

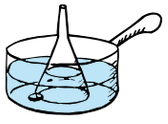
أنشطة استكشافية

1. إذا كنت تسكن في منطقة بها ثلج. فافعل مثلما فعل بنيامين فرانكلين (Benjamin Franklin) قبل 200 عام: ضع عينة من قطعة قماش سوداء خفيفة فوق الثلج. ولاحظ الفرق بين معدل انصهار الجليد تحت قطعة القماش.
2. أمسك أنبوب اختبار معبأ بماء بارد بيديك من أسفله. سخّن الطّرف العلوي بلهب حتى يغلي الماء. حقيقة أنك ما زلت تمسك بالأنبوب من أسفله يدلّ على أنّ الماء ضعيف التوصيل للحرارة. ويصبح الأمر أكثر تشويقًا عند استخدامك لسلك المواعين (الصوف الفولاذي) كإسفين لقطع الجليد في القاع. وحينها سيغلي الماء دون انصهار الجليد. جرّب وانظر.



3. لفّ قطعة ورق حول قضيب حديد وضعه فوق لهب. لاحظ أنّ الورق لا يحترق. هل تستطيع تفسير السبب؟ (الورق لا يشتعل حتى تصل درجة حرارته إلى 235°س).

4. ضع قمعًا من البايركس بشكل مقلوب في وعاء مليء بالماء بحيث يبقى أنبوب القمع المستقيم فوق الماء. ضع أسفل القمع مسمارًا أو قطعة نقود بحيث يمكن للماء أن يدخل إلى القمع. ضع الوعاء في فرن. وراقب الماء حين يبدأ الغليان. من أين تبدأ الفقاقيع أولًا؟ لماذا؟ عندما ترتفع الفقاقيع، تتمدد بسرعة وتدفع الماء الموجود أمامها. يحصر القمع الماء، والذي يدفع من خلال الأنبوب ويطرد من الأعلى. والآن، هل تعلم كيف تعمل آلة صنع القهوة؟



5. راقب فوهة إبريق الشاي الأمامية عندما يغلي. لاحظ أنه لا يمكنك رؤية البخار من خلالها. إنّ الغيمة التي تراها بعيدًا عنها ليست بخارًا. ولكنها قطرات ماء مكثفة. والآن، ضع لهب شمعة في غيمة البخار المتكثف. هل يمكنك تفسير ملاحظاتك؟
6. يمكنك عمل مطر داخل مطبخك. ضع كأسًا من الماء في وعاء زجاجيّ مقاوم للحرارة، وسخنه ببطء فوق نار هادئة. عندما يسخن الماء، ضعه في طبق مليء بمكعبات جليد فوق وعاء. عندما يسخن الماء من تحتها تتكون القطرات في أسفل الطبق البارد وتتمدد حتى تصبح كبيرة وتسقط، منتجةً "مطرًا" منتظمًا حين يسخن الماء من أسفلها. ما أوجه الشبه والاختلاف بين هذا والمطر الطبيعيّ ؟

7. قِسْ درجة حرارة ماء يغلي، وكذلك درجة حرارة محلول من ماء وملح يغلي. كيف تقارن بين درجتي حرارتهما؟
8. إذا وضعت وعاءً غير مغطى من الماء في حوض مسطح من الماء المغلي، ويكون أعلاه فوق الماء المغلي، فإنّ الماء في الوعاء الداخلي يصل إلى درجة حرارة 100°س ولكنه لا يغلي، فسّر.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة على الأقل من 10 في هذا الامتحان. أما إن لم تتمكن من ذلك فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر الجواب الأفضل لكلّ ما يلي:

1. يعتمد الشّخص الذي يمشي على الفحم الخشبي الحارّ حافيًا على أنّ الخشب
أ. موصل جيد.
ب. ضعيف التوصيل.
ج. ذو سعة حرارية نوعية قليلة.
د. ذو إشعاع منخفض.
2. يرتبط الحمل الحراري غالبا بـ:
أ. الطاقة الإشعاعية.
ب. الموائع.
ج. العوازل.
د. جميع ما ذكر.
3. عادة، عندما يتمدد الهواء بسرعة فإنّ درجة حرارته:
أ. تزداد.
ب. تنقص.
ج. تبقى ثابتة.
د. لا تتأثر ولكن ليس دائمًا.
4. المصدر الذي درجة حرارته عالية يشعّ نسبيًّا:
أ. أمواجًا قصيرة.
ب. أمواجًا طويلة.
ج. إشعاعات منخفضة التردد.
د. لا شيء مما ذكر.
5. النجم الذي له درجة حرارة أعلى هو:
أ. الأحمر السّاخن.
ب. الأبيض السّاخن.
ج. الأزرق السّاخن.
د. لا توجد معلومات كافية.
6. بالمقارنة بالإشعاعات من الشّمس فإنّ للإشعاعات الأرضية:
أ. أمواجًا أطول.
ب. ترددات أقلّ.
ج. (أ+ب)
د. لا شيء مما ذكر.
7. إنّ أصلَ أغلب الطاقة الحرارية في داخل الأرض هو:
أ. الضغوط العالية.
ب. الموصلية الحرارية المنخفضة للصخور.
ج. الطاقة الإشعاعية المحبوسة.
د. الانحلال الإشعاعيّ.
8. في المحصلة، تعدّ البيتزا السّاخنة الموضوعة على الثّلج:
أ. ماصَّة.
ب. باعثة.
ج. (أ+ب).
د. لا شيء مما ذكر.
9. عندما يغير السّائل طوره للغاز فهو:
أ. يمتص طاقة.
ب. يبث طاقة.
ج. لا يمتص طاقة ولا يبثها.
د. يصبح أكثر موصلية.
10. عندما يقترب السّائل من الغليان فإنّ هذه العملية تعمل على:
أ. مقاومة التغير الزائد للطّور.
ب. تسخين السّائل.
ج. تبريد السّائل.
د. إشعاع طاقة من النّظام.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

1ج، 2د، 3ب، 4أ، 5ج، 6د، 7ج، 8ج، 9أ، 10أ

الفصل 7 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 7.13

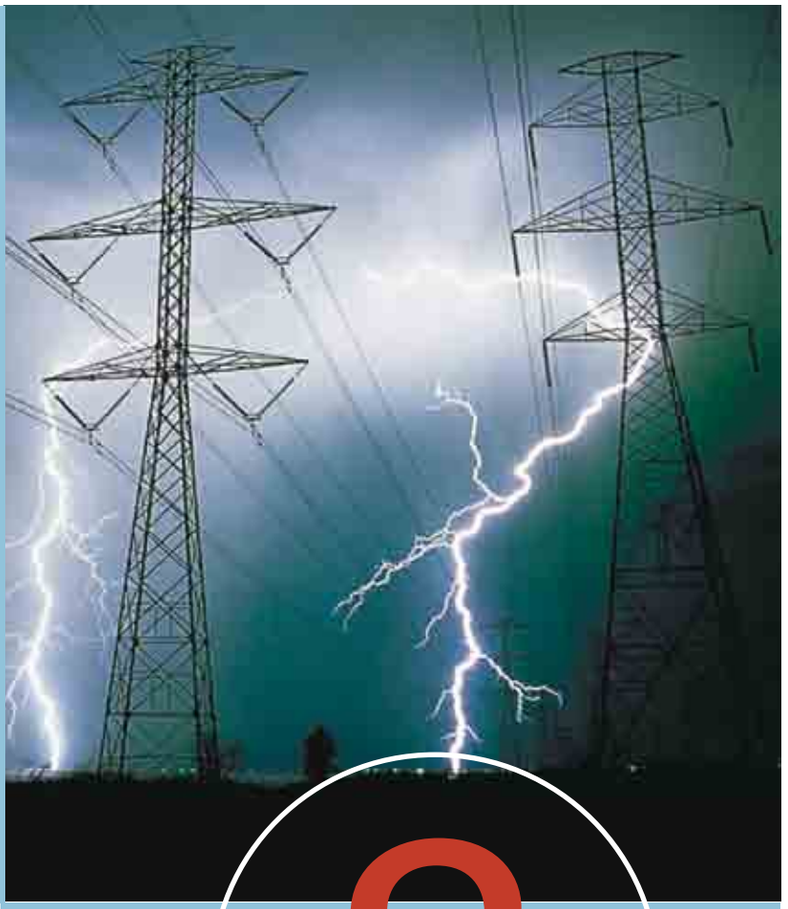
أشرطة فيديو

- سر المشي فوق الفحم الساخن
- الهواء موصل ضعيف
- التكثيف عملية تدفئة وتسخين
- الغليان عملية تبريد
- طنجرة الضغط: غليان وتجمد في ذات الوقت

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط



الكهرباء السّاكنة والتّيّار الكهربائيّ

8

■ توجد الكهرباء في كلّ مكان، بما في ذلك البرق في السّماء، والبطاريات التي تشغّل جهازك الموسيقي. تتطلب دراسة الكهرباء وفهمها نهجًا تدريجيًّا؛ لأنّ المفاهيم المتضمّنة فيها تراكميةٌ ينبني بعضها على بعض. لقد كان هذا حالنا في دراسة الفيزياء الآن، وهناك المزيد لاحقًا. لذا، عليك أن تكون حريصًا في دراسة هذه المادة. وقد تكون المهمة صعبةً، ومربكة، ومحبطة إذا كانت متسرّعة. ولكن بجهد واعٍ، يمكن أن تكون مفهومة ومفيدة. وسنبدأ بالكهرباء السّاكنة، أي الكهرباء عند السّكون، وننهي الفصل بالتّيّار الكهربائيّ.

1.8 الشّحنة الكهربائيّة

2.8 قانون كولوم

3.8 المجال الكهربائيّ

4.8 الجهد الكهربائيّ

5.8 مصادر الجهد

6.8 التّيّار الكهربائيّ

7.8 المقاومة الكهربائيّة

8.8 قانون أوم

9.8 الدّارات الكهربائيّة

10.8 القدرة الكهربائيّة

1.8 الشّحنة الكهربائيّة

جرّب ما يلي: اربط خيطًا حول منتصف قشّة بلاستيكية. ثم علّق القشّة بالخيط. ادلك نصف القشّة بقطعة صوف. إذا دلكت قشّة أخرى بالصّوف ثم قرّبت نهايتي القشتين المدلوكتين إحداهما من الأخرى، فسوف تتنافران.

وإذا دلكت بدلًا من ذلك أنبوب اختبار زجاجيًّا بالحرير، وقرّبت الزّجاج المدلوك من القشّة المعلقة، فإنّ أطرافهما تتجاذب. وإذا استبدلت القشّة المعلقة بأنبوب الاختبار الزّجاجيّ، ثم دلكت أنبوب اختبار زجاجيّ آخر بالحرير، فإنّ طرفي الأنبوبين تتنافران.

إنّ مقدرة القشتين البلاستيكيتين المدلوكتين، وكذلك أنبوبا الاختبار المدلوكين على التأثر بقوة عبر الفضاء يعود إلى خاصية تسمّى *الشّحنة* الكهربائيّة. ويبدو هذا كسحر، ولكنه ليس أكثر (أو أقلّ!) سحرًا من قدرة الكتل على التأثير بقوى جاذبية بعضها في بعض خلال الفضاء.

أجرى عالم أميركا العظيم الأول، بنيامين فرانكلين (Benjamin Franklin)، قبل 200 سنة، تجارب مشابهة لما سبق، ووضع الفرضيات التّالية:

1. لكلّ مادة متعادلة (غير مشحونة) مستوى مناسب من المائع الكهربائيّ.
2. يؤدي دلك مادتين إحداهما بالأخرى إلى انتقال "المائع الكهربائيّ" من إحداهما إلى الأخرى.
3. إذا كسب جسم ما مائعًا كهربائيًّا، يصبح موجب الشّحنة من المائع الكهربائيّ. وبالمثل، إذا فقد جسم ما مائعًا كهربائيًا، يصبح سالب الشّحنة من المائع الكهربائيّ.

لم يستطع فرانكلين رؤية المائع المنتقل عند دلك الزّجاج بالحرير. وقرّر تسمية الزّجاج موجب الشّحنة، وهذا يعني أنّ الحرير سالب الشّحنة لأنه فقد مائعًا كهربائيًّا إلى الزجاج. وعليه فإنّ الصوف موجب الشّحنة، أما البلاستيك فسالب الشّحنة، في المثال المذكور.

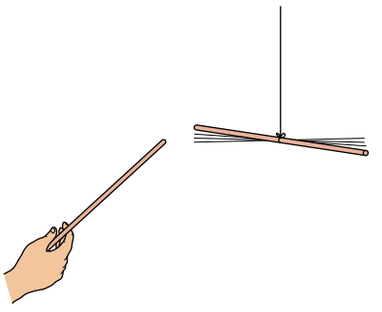
حين يتم تعيين هذه الشّحنات، يمكننا رؤية أعظم قاعدة أساسية في السّلوك الكهربائيّ:

الشّحنات المتشابهة تتنافر، والمختلفة تتجاذب.

تنشأ القوى الكهربائيّة عن جسيمات في الذرّة. في النموذج البسيط المقترح في أوائل عام 1900م على يد إرنست رذرفورد (Ernest Rutherford) ونيلز بور (Niels Bohr)، تحاط النواة الموجبة الشّحنة بإلكترونات سالبة الشّحنة (الشّكل 2.8). تجذب النواة الإلكترونات وتمسكها في مدار، كإمساك الشّمس بالكواكب في المدار. ولكن الفارق أنّ الإلكترونات تتنافر مع الإلكترونات الأخرى (أما قوى الجاذبية فتجذب فقط).

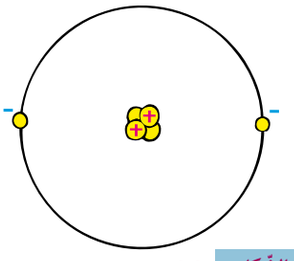
نورد هنا بعض الحقائق المهمة حول الذرات:

1. لكلّ ذرة نواة موجبة الشّحنة محاطة بإلكترونات سالبة الشّحنة.
2. الإلكترونات جميعها متماثلة، أي أنّ كل واحد له الكتلة نفسها، أي كمية الشّحنة السّالبة نفسها مثل أيّ إلكترون آخر.
3. تتكون النواة من بروتونات ونيوترونات. (نواة الهيدروجين العادية هي الاستثناء الوحيد لأنّها لا تحتوي على نيوترونات). البروتونات جميعها متماثلة وهي موجبة الشّحنة، وبالمثل، فإنّ النيوترونات جميعها متماثلة أيضًا. وتبلغ كتلة البروتون 2000 مرة كتلة الإلكترون تقريبًا، ولكن شحنته الموجبة تساوي مقدار الشّحنة السّالبة للإلكترون نفسها. وللنيوترون كتلة أكبر قليلًا من كتلة البروتون، وليس له شحنة.



الشّكل 1.8
قشة بلاستيكية مدلوكة بالصّوف معلقة بخيط.، عند تقريب قشّة صوف أخرى مدلوكة منها فإنّ القشتين تتنافران.

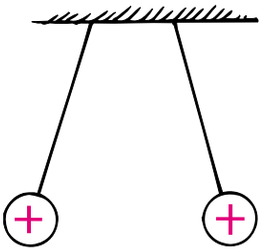
الشّحنة كعصاة المارشال في سباق الأفراس؛ قد تنتقل من جسم إلى آخر ولكنها لا تضيع.



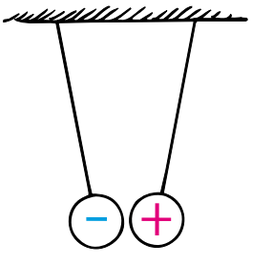
الشّكل 2.8
نموذج ذرة الهيليوم. تتكون النواة الذرية من بروتونين ونيوترونين. يجذب البروتونان الموجبا الشّحنة الإلكترونين السالبي الشّحنة. ما الشّحنة الصافية لهذه الذرة؟

4. في العادة، يكون عدد الإلكترونات مساويًا لعدد البروتونات في الذرات. لذا، فإنّ الشّحنة الصافية للذرة تساوي صفرًا.

لماذا تتنافر الإلكترونات معًا، وتتجاذب مع البروتونات؟ وهذا أعلى من مستوى هذا الكتاب. ولكن في حدود فهمنا الحالي، نقول: ببساطة هكذا وجدنا الطبيعة - إنّ هذا السلوك الكهربائيّ أساسيّ، أو جوهري.



(أ)



(ب)

الشّكل 3.8

(أ) الشّحنات المتشابهة تتنافر. (ب) الشّحنات المختلفة تتجاذب.

■ نقطة فحص

1. خلف تعقيدات الظاهرة الكهربائيّة، هناك قاعدة أساسية تنشأ منها الآثار الكهربائيّة جميعها . ما هذه القاعدة الأساسية؟
2. كيف تختلف شحنة الإلكترون عن شحنة البروتون؟

هل كانت هذه إجاباتك؟

1. الشّحنات المتشابهة تتنافر، والمختلفة تتجاذب.
2. شحنات هذه الجسيمات متساوية في المقدار، ومختلفة في النوع.

حفظ الشّحنة

للإلكترونات والبروتونات شحنة كهربائية. في الذرة المتعادلة، يكون عدد الإلكترونات مساويًا لعدد البروتونات، لذا ليس لها شحنة صافية. تتعادل الشّحنة الكلية الموجبة تمامًا مع الشّحنة الكلية السّالبة. وإذا تم انتزاع إلكترون من الذرة، فلا تعود الذرة متعادلة، ويصبح للذرة شحنة موجبة إضافية (بروتون) أكثر من الشّحنة السّالبة (بمقدار الإلكترون)، لذا فهي موجبة الشّحنة.

تسمى الذّرة المشحونة *أيونًا*. ويكون للأيون *الموجب* شحنة كهربائية صافية موجبة لأنها فقدت واحدًا أو أكثر من الإلكترونات. أما الأيون *السالب*، فيكون له شحنة سالبة صافية لأنه كسب واحدًا أو أكثر من الإلكترونات الإضافية.

تتكون المادة من ذرات، وتتكون الذرات من إلكترونات وبروتونات (ونيوترونات أيضًا). أي جسم له العدد نفسه من الإلكترونات والبروتونات ليس له شحنة كهربائية صافية. ولكن إذا لم تكن الأعداد متساوية، فسيكون الجسم مشحونًا كهربائيًّا. ويعزى عدم التساوي إلى إضافة إلكترونات أو انتزاعها.

وعلى الرّغم من أنّ الإلكترونات الأعمق في الذرة مقيدة بشده بالشّحنات الموجبة في النواة الذرية، فإنّ الإلكترونات الأبعد للعديد من الذرات تكون غير مقيدة تمامًا، ويمكن نزعها بسهولة. ما الطّاقة اللازمة لفصل إلكترون بعيدًا عن الذرة؟ تختلف هذه الحسابات باختلاف المواد. فمثلا، الإلكترونات مقيدة بشدة في المطاط أو البلاستيك أكثر منها في الصوف أو الحرير. وعليه، فعند دلْك قشّة بلاستيكية بقطعه من الصوف تنتقل الإلكترونات من الصوف إلى القشّة البلاستيكية، ويصبح لدى البلاستيك إلكترونات إضافية، ويصبح سالب الشّحنة. وفي المقابل، يصبح هناك نقص عند الصوف في الإلكترونات، ويكون موجب الشّحنة. وإذا دلكت قضيبًا من البلاستيك أو الزجاج بالحرير فستجد أنّ القضيب أصبح موجب الشّحنة؛ فالحرير يتمسك بالإلكترونات أكثر من تمسك الزجاج أو البلاستيك. وتنزع الإلكترونات من القضيب إلى الحرير. ومما سبق نخلص إلى أنّ:

الجسم الذي لديه أعداد غير متساوية من الإلكترونات والبروتونات يكون مشحونًا كهربائيًا. وإذا كان لديه إلكترونات أكثر من البروتونات، كان سالب الشّحنة. أما إذا كان لديه إلكترونات أقلّ من البروتونات، فيكون موجب الشّحنة.

الشّكل 4.8

عند دلك قضيب مطاطي بالفرو، تنتقل الإلكترونات من الفرو إلى القضيب. ويصبح القضيب سالب الشّحنة. هل الفرو مشحون؟ ما مقدار الشّحنة مقارنة بشحنة القضيب؟ هل هي موجبة أم سالبة؟

لم يفسر فرانكلين انتقال الشّحنات بدلالة انتقال الإلكترونات؛ لأن الإلكترونات لم تكن معروفة آنذاك. وقد ثبت لاحقًا، وجد أنه لا يمكن إفناء الإلكترونات أو استحداثها، وإنما تنتقل من مادة إلى أخرى؛ الشّحنة محفوظة. وينطبق مبدأ حفظ الشّحنة هذا على كلّ حدث سواء كان على مستوى كبير، أم على المستوى الذري، أم على المستوى النووي. ولا توجد حالة حتى الآن تم فيها استحداث شحنة كهربائية صافية أو إفناؤها.

إنّ مبدأ حفظ الشّحنة هو حجر زاوية في الفيزياء، بالمستوى نفسه لحفظ الطّاقة والزخم.

يكون لأيّ جسم مشحون كهربائيًّا زيادة أو نقص بعدد صحيح معين من الإلكترونات؛ لا يمكن تقسيم الإلكترون إلى أجزاء من الإلكترونات. وهذا يعني أنّ شحنة الجسم هي عدد صحيح من مضاعفات شحنة الإلكترون. ولا يمكن أن يكون لجسم شحنة 1.5 أو 1000.5 إلكترون مثلا. حتى هذا التاريخ، تدل القياسات جميعها على أنّ للأجسام شحنة، هي عدد صحيح مضاعف لشحنة الإلكترون المفرد.

■ **نقطة فحص**

إذا سحبت إلكترونًا واحدًا إلى حذائك عندما كنت تمشي على سجادة، فما شحنتك: سالبة أم موجبة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

عندما يزحف حذاؤك المطاطيّ أو البلاستيكي على السّجادة فإنه يلتقط الإلكترونات منها بالطريقة نفسها التي تشحن قضيب المطاط عند دلكه بالقماش. فيصبح عندك مزيد من الإلكترونات وانت تسحب حذاءك، لذا تكون مشحونًا بشحنة سالبة (السّجاد موجب الشّحنة).

يعدّ حفظ الشّحنة مبدأ آخر من مبادئ الحفظ. تذكر من الفصول السابقة حفظ كلّ من الزخم والطّاقة.

الشّكل 5.8

لماذا تصيبك صدمة خفيفة من مقبض الباب بعد أن تمشي فوق السجاد؟

تكنولوجيا الإلكترونيات والشرر

يمكن أن تكون الشّحنة الكهربائيّة خطرة. في مئتي سنة الماضية، كان الشّباب الذين يسمون قردة المسحوق يركضون حفاة القدمين تحت سطح السفينة الحربية ليجلبوا أكياس البارود إلى المدافع في الأعلى. لقد كانت تعليمات السفن أن يتم هذا العمل بأقدام حافية. لماذا؟ بسبب أهمية عدم تراكم الشّحنات السّاكنة على المسحوق الذي على أجسامهم عندما يركضون ذهابًا وإيابًا. يدلك الحافي القدمين سطح السفينة على نحو أقلّ من الآخرين. وهذا بدوره يضمن عدم تراكم الشّحنة التي يمكن أن تنتج شعلة شرارة تؤدي إلى انفجار. وهذا بدوره يضمن عدم تراكم الشّحنة التي قد تنتج شعلة شرارة تؤدي إلى انفجار. سطح السفينة على نحو أقلّ من الآخرين. وهذا بدوره يضمن عدم تراكم الشّحنة التي قد تنتج شعلة شرارة تؤدي إلى انفجار. وتعدّ الشّحنة السّاكنة خطرًا في العديد من المصانع اليوم، ليس بسبب الانفجارات، ولكن بسبب احتمال تدمير الدوائر الإلكترونية الدقيقة بالشّحنات السّاكنة. بعض مكونات الدائرة تكون حسّاسة بما يكفي "لتشوى" بالشرر من الكهرباء السّاكنة. يلبس فنيّو الإلكترونيات غالبًا ملابس خاصة مع أسلاك موصولة بالأرض بين الأكمام والأحذية. كما أنّ بعضهم كان يلبس معاصم قمصان خاصة، تتصل بسطح الارض لكي لا تتجمع الشّحنات السّاكنة؛ كأن يتحرك كرسيّ، مثلا. وكلما صغرت الدائرة الكهربائيّة زاد خطر الشرر الذي يمكن أن يقصر دائرة عناصر الدائرة.

لمعلوماتك

■ تعدّ الكهرباء السّاكنة مشكلة عند مضخات الجازولين. حتى أصغر الشرر يمكن أن يشعل البخار القادم من الجازولين، ويتسبب في حريق مميت غالبًا. لذا، فإنّ الإجراء المناسب لتفادي الخطر هو لمس فلزّ، وتفريغ الشّحنة السّاكنة من الجسم قبل تعبئة الوقود. إضافة إلى عدم استخدام جهاز الهاتف المحمول عند التعبئة.

■ 2.8 قانون كولوم

إنّ القوة الكهربائيّة كقوة الجاذبية؛ تتناقص عكسيًا مع مربع البعد بين الشّحنات. وتسمى هذه العلاقة التي اكتشفت في القرن الثامن عشر، على يد شارلز كولوم (Charles Coulomb) **قانون كولوم**. ينصّ هذا القانون على أنّ أيّ جسمين مشحونين، واللذين تكون أبعادهما أصغر كثيرًا من البعد بينهما، تتغير القوة بينهما مباشرة مع حاصل ضرب شحنتيهما، وعكسيًا مع مربع البعد بينهما. تؤثر هذه القوة في خطوط مستقيمة من إحدى الشحنتين إلى الأخرى. ويمكن التعبير عن قانون كولوم كالآتي:

$$F = k\frac{q_1 q_2}{d^2}$$

حيث d هي المسافة بين الجسيمات المشحونة، أما q_1 فكمية الشّحنة على الجسيم الأول، في حين تشير q_2 إلى كمية الشّحنة على الجسيم الثاني، و k هو ثابت التناسب.

تحتوي قطعة نقدية عادية على 10^{24} إلكترون تقريبًا، وجميعها تتنافر معًا. لماذا لا تنبعث هذه الإلكترونات من القطعة النقدية الفلزّيّة؟

الأساور المؤينة؛ علم أم ادعاء كاذب؟

تدل الاستطلاعات أن معظم الأميركيين يعتقدون أن الأساور المؤينة يمكن أن تخفف آلام العضلات والمفاصل. يدعي المصنعون أن الأساور المؤينة تخفف من الآلام. هل هم على حق؟ لقد تم فحص هذا الادعاء في عام 2002م، من قبل باحثين في مايوكلينك Mayo Clinic في جاكسون فيل، بفلوريدا/ الولايات المتحدة، حيث طلب إلى 305 مرضى عشوائيًّا أن يلبسوا الأساور المؤينة لمدة 28 يومًا وطلب إلى 305 مرضى آخرين أن يلبسوا أساور مشابهة وهمية للمدة نفسها. كان المتطوعون للدراسة من الذكور والإناث تتراوح أعمارهم بين 18 عامًا وآخرين كبار كانوا يشكون من ألم في بداية الدراسة.

لم يعلم الباحثون وكذلك المشتركون أي المتطوعين لبس الأساور المؤينة وأيهم لبس الأساور المقلدة. كان النوعين متماثلين في المظهر، ومن المصنع نفسه، وتم ارتداؤها بحسب توصيات المصنع. من المدهش أن كلتا المجموعتين أبدت راحة كبيرة من الألم، ولم يوجد أي فرق في المجموعتين في مقدار الراحة من الألم بين المجموعتين. من الواضح أن الاعتقاد بأن الأساور تزيل الألم تفعل فعلها!

من المهم معرفة أنه عندما يتوقع الشخص الخلاص من الألم فإن الدماغ يبدأ في إنتاج الإندروفينان (endorphins) (وهذه ترتبط بمواقع مستقبلات المسكنات (التحذير). إن أثر الدواء الوهمي حقيقي، ويمكن قياسه عن طريق فحص الدم. وبهذا يصدق القول المأثور بأنه حينما تتمنى شيئًا بهوس يجعلك تؤمن بأنه حقيقة. ولكن هذا لا صلة له بالفيزياء أو الكيمياء أو التفاعلات الحيوية مع السوار. وهكذا يمكن تصنيف الأساور المؤينة إلى أجهزة العلم الوهمي (الكاذب)؟ في أي مجتمع تنتشر فيه الشعوذة أكثر من اعتماده على العلم، يصبح العلم الكاذب تجارة رائجة.

تسمى وحدة الشّحنات **الكولوم**، ويرمز إليها بـ C. وتبين أنّ شحنة مقدارها 1 كولوم تساوي 6.25 بليون بليون إلكترون. ويبدو هذا عددًا ضخمًا من الإلكترونات، ولكنه يمثل كمية الشّحنة التي تنساب عبر مصباح كهربائي 100- واط في أقلّ من ثانية.

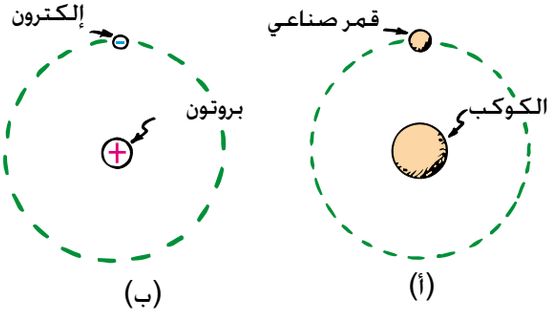
يشبه ثابتُ التناسبِ (k) في قانون كولوم ثابتَ التناسبِ (G) في قانون نيوتن للجاذبية. وبدل أن يكون رقمًا صغيرًا مثل G، فإنّ k عدد كبير، تقريبًا

$$k = 9{,}000{,}000{,}000\ \text{N.m}^2/\text{C}^2$$

وبالرموز العلمية، $k=9.0\times10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2$. إنّ الوحدة $\text{N.m}^2/\text{C}^2$ ليست مركزية في اهتمامنا هنا. إنها ببساطة تحويل الجانب الأيمن من المعادلة إلى وحدة القوة، النيوتن (N). المهم هو كبر مقدار k. مثلًا، إذا كان زوج من الشّحنات المتشابهة بمقدار 1 كولوم لكلّ منهما، وعلى بعد 1م إحداهما من الأخرى، فإنّ قوة التنافر بينهما تكون 9 بلايين نيوتن.*

ويعادل هذا الرقم 10 أضعاف وزن سفينة حربية! لذا من الواضح أنّ شحنة صافية مقدارها 1 كولوم لا وجود لها في بيئتنا اليومية.

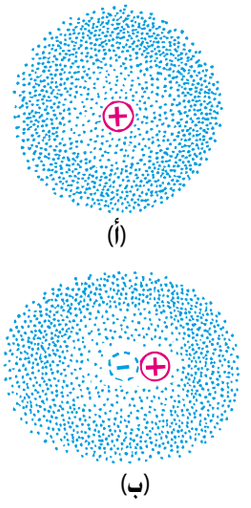
وهكذا، فإنّ قانون نيوتن للجاذبية بين الكتل يشبه قانون كولوم للأجسام المشحونة كهربائيًّا. إنّ الفرق المهم بينهما هو أنّ القوى الكهربائيّة تكون تجاذبًا أو تنافرًا. أما قوى الجاذبية فهي تجاذب دائمًا. إنّ قانون كولوم هو الأساس في قوى الربط بين الجزيئات والتي تعدّ أساسية في الكيمياء.



الشّكل 6.8

(أ) تمسك قوة الجاذبية القمر الصناعي في المدار حول الكوكب. (ب) تمسك القوة الكهربائيّة الإلكترون في مدار حول البروتون. لا يوجد تماس بين الأجسام في كلتا الحالتين. نقول إنّ الأجسام الدائرة تتفاعل مع مجالات القوة في الكوكب والبروتون وهي في كلّ مكان في تماس مع هذه المجالات. وهكذا، فإنّ القوة التي تؤثر بها شحنة كهربائية في شحنة أخرى يمكن وصفها بأنها تفاعل بين الشّحنة والمجال الناتج عن الشّحنة الأخرى.

* في المقابل، فإنّ قوة الجاذبية بين كتلتين مقدار كلّ منهما 1 كجم تفصلهما مسافة 1م هي 6.67×10^{-11} نيوتن. وهذه قوة متناهية في الصغر. تصبح القوة 1 نيوتن، بين كتلتين متساويتين مقدار كلّ منها 123,000 كجم، وتفصلهما مسافة 1م! تكون قوى الجاذبية بين الأجسام العادية متناهية في الصغر. والفروق في القوى الكهربائيّة بين الأجسام العادية يمكن أن تكون ضخمة للغاية. ونحن لا نحس بوجودها؛ لأنّ كلًّا من الشّحنات الموجبة والسّالبة متعادلة. وحتى الأجسام العالية الشّحنة، فانّ الفرق بين شحنات الإلكترونات والبروتونات يكون أقلّ من تريليون تريليون من الكولوم.



الشّكل 7.8
(أ) يتطابق المركز السالب «لغيمة» الإلكترونات مع مركز النواة الموجبة في الذرة. (ب) عند تقريب شحنة خارجية سالبة إلى اليمين، كما هي على البالون المشحون، تتشوه غيمة الإلكترونات بحيث لا تصبح مراكز الشّحنة الموجبة والسّالبة متطابقة. وتصبح الذرة مستقطبة كهربائيًّا.

■ **نقطة فحص**

1. البروتون هو نواة ذرة الهيدروجين، وهو يجذب الإلكترون الذي يدور حوله. هل يجذب الإلكترونُ البروتونَ بقوة أقلّ، أم بقوة أكبر، أم بالمقدار نفسه التي يجذب البروتون الإلكترون؟
2. إذا تنافر بروتون على مسافة معينة مع جسم مشحون بقوة معينة، فكم تنقص هذه القوة عند إبعاد البروتون إلى: 1- ثلاثة أضعاف المسافة الأصلية من الجسم؟ 2- خمسة أضعاف المسافة؟
3. ما إشارة شحنة الجسم في هذه الحالة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. كمية القوة نفسها، بحسب قانون نيوتن الثالث – الميكانيكا الأساسية! تذكر أنّ القوةَ تفاعلٌ بين شيئين؛ في هذه الحالة بين البروتون والإلكترون. حيث يجذب أحدهما الآخر بالقوة نفسها.
2. بحسب قانون التربيع العكسي، عند ثلاثة أضعاف البعد، تنقص القوة إلى ($\frac{1}{9}$) قيمتها الأصلية. وعند خمسة أضعاف البعد الأصلي، تتناقص القوة إلى ($\frac{1}{25}$) من قيمتها الأصلية.
3. موجبة.

استقطاب الشّحنة

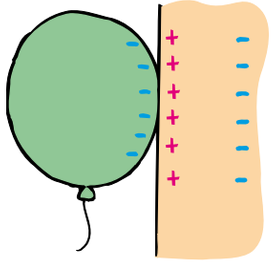
إذا شحنت بالونًا منفوخًا بدلكه بشعر رأسك، ثم وضعته ملامسًا لجدار، فإنه سيلتصق. يحدث هذا بسبب أنّ الشّحنة على البالون تغير توزيع الشّحنة للذرات أو الجزيئات في الجدار، وتُستحث بفاعلية شحنة معاكسة على الجدار. لا تستطيع الجزيئات الحركة من مواقعها المستقرة، ولكن "مراكز الشّحنة" فيها هي التي تتحرك. ينجذب الجزء الموجب من الذرة أو الجزيء (الشّكل 7.8). ويقال إنّ الذرة أو الجزيء **مستقطب كهربائيًّا (Electrically Polarized)**. وسنرى في الجزء الثاني أنّ الاستقطاب يقوم بدور مهم في الكيمياء

■ **نقطة فحص**

تعلم أنّ البالون المدلوك في شعرك يلتصق بالجدار. للمداعبة: هل يلتصق رأسك المشحون بشحنة معاكسة بالجدار؟

هل كان هذا جوابك؟

لا، إلا إذا كان معبأ بالهواء (رأس كتلته نحو كتلة البالون المنفوخ بالهواء). إنّ القوة التي تجذب البالون إلى الجدار لا يمكنها أن تتحمل رأسك لأنه ثقيل.



الشّكل 8.8
يستقطب البالون المشحون سلبيًّا الجزيئات في الجدار الخشبي، ويجعل سطحه موجب الشّحنة، ويلتصق البالون بالجدار.

■ 3.8 المجال الكهربائيّ

تشبه القوى الكهربائيّة، قوى الجاذبية، في أنها تؤثر بين الأشياء التي لا تكون على تماس معًا، لأنّ كلًّا من الكهرباء والجاذبية تتشابه في وجود مجال قوه يؤثر في الشّحنات والكتل البعيدة. وتتغير خصائص الفضاء المحيط لأيّ كتلة بطريقة ما بحيث إنّ إدخال كتلة أخرى للمنطقة يجعلها تتأثر بقوة. يسمى هذا «التغير في الفضاء» *بالمجال الجاذبيّ*. ويمكننا التفكير في أيّ كتلة أخرى وكأنها تتفاعل مع المجال وليس مباشرة مع الكتلة التي أنتجته. مثلًا، عندما تسقط تفاحة عن الشجرة، نقول إنها تتفاعل مع كتلة الأرض، ولكن يمكننا التفكير أيضًا في أنها تتفاعل مع المجال الجاذبي للأرض. من المعتاد أن نفكر في الصواريخ والأشياء المشابهة على أنها متفاعلة مع المجالات الجاذبية.

فرن الأمواج الدقيقة (الميكروويف)

تخيل محتوىً مليئًا بكرات تنس الطاولة بين عدة مضارب في حالة سكون. والآن تخيّل أنّ المضارب دارت فجأة إلى الأمام وإلى الخلف، ضاربة كرات التنس المجاورة. غالبًا ما تزود الكرات في الحال بالطّاقة، وتبدأ في الاهتزاز في الاتجاهات جميعها. إنّ فرن الأمواج الدقيقة يعمل بطريقة مشابهة. المضارب هنا هي جزيئات الماء التي تدور في الاتجاهات جميعها بإيقاع مع الموجات الدقيقة في المحتوى. وكرات التنس هي الجزيئات الأخرى التي تشكل جسم المادة التي تُطبخ.

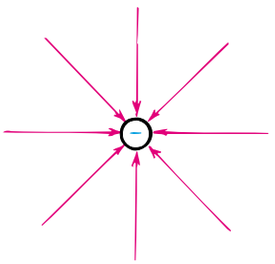
جزيئات الماء مستقطبة كهربائيًّا بشحنات متعاكسة على الجوانب المتقابلة. وعند تسليط مجال كهربائيّ عليها، تصطف مع المجال كما تصطف إبرة البوصلة في المجال المغناطيسيّ. عندما يجعل المجال يهتز، تهتز جزيئات الماء أيضًا — وتكون طاقتها عالية عندما يتساوى تردد الموجات مع تردد الدوران الطبيعي للماء. لذا، يُطهى الطعام بتحويل جزيئات الماء إلى مصادر طاقة قافزة، تنقل الحركة الحرارية إلى جزيئات الطعام المحيط. ومن دون الجزيئات القطبية في الطعام، فإنّ فرن الموجات الدقيقة لا يقوم بعمله. ولهذا السبب تمرّ الأمواج الدقيقة من خلال الزّغوة، أو الورق، أو صفائح السّيراميك، وتنعكس عن الفلزات دون أيّ أثر. ولكنها تزود جزيئات الماء بالطّاقة.

ملحوظة: يجب الحذر من غلي الماء في فرن الأمواج الدقيقة. أحيانًا، يسخن الماء أسرع من تكوُّن الفقاعات، لذا يسخن الماء أكثر من درجة غليانه؛ يصبح شديد السّخونة. إذا ضخّ الماء أو صبّ قليلًا، فسيؤدي هذا إلى تشكّل الفقاعات بسرعة، حيث تطرد الماء الحار بعنف من الوعاء الذي يحتويها. هناك أكثر من شخص أصيب وجهه بسبب اندفاع الماء.

بدلًا من أجسام مولّدة للمجالات. يقوم المجال بدور الوسيط في القوى بين الأجسام. والأهم من ذلك، هو أنّ المجال يختزن الطّاقة. وبالتشابه مع مجال الجاذبية، فإنّ الفضاء حول الشّحنة الكهربائيّة يزود بالطّاقة من **المجال الكهربائيّ** - هالة من الطّاقة تنتشر في الفضاء.*

إذا وضعت جسيمًا مشحونًا في مجال كهربائيّ، فإنه يتأثر بقوة. يكون اتجاه القوة المؤثرة في شحنة موجبة هو اتجاه المجال نفسه. يمتد المجال الكهربائيّ حول البروتون قطريًّا من البرتون. ويكون المجال الكهربائيّ للإلكترون في الاتجاه المعاكس (الشّكل 9.8). كما هو الحال للقوة الكهربائيّة، يخضع المجال الكهربائيّ حول جسيم لقانون التربيع العكسيّ. ويبين الشّكل 10.8 بعض هيئات المجال الكهربائيّ. ويظهر الشّكل 11.8 صورًا فوتوغرافية لأنماط المجال. وبالمثل، فسوف نرى في الفصل اللاحق كيفية اصطفاف حبيبات الحديد مع المجال المغناطيسيّ.

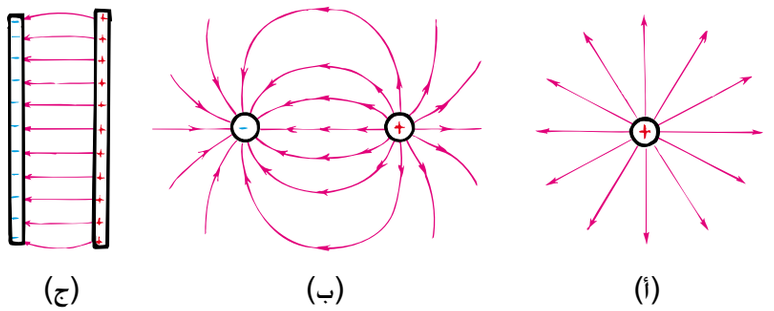
ربما يوضح لك المدرس آثار المجال الكهربائيّ المحيط بالقبة المشحونة لمولّد فان دي جراف. (الشّكل 12.8). الأجسام المشحونة في مجال القبة إما أن تتجاذب أو تتنافر، ويعتمد هذا على إشارة الشّحنة.



الشّكل 9.8

تمثيل المجال الكهربائيّ حول شحنة سالبة.

المجال الكهربائيّ هو الخزان الطبيعي للطاقة الكهربائيّة.

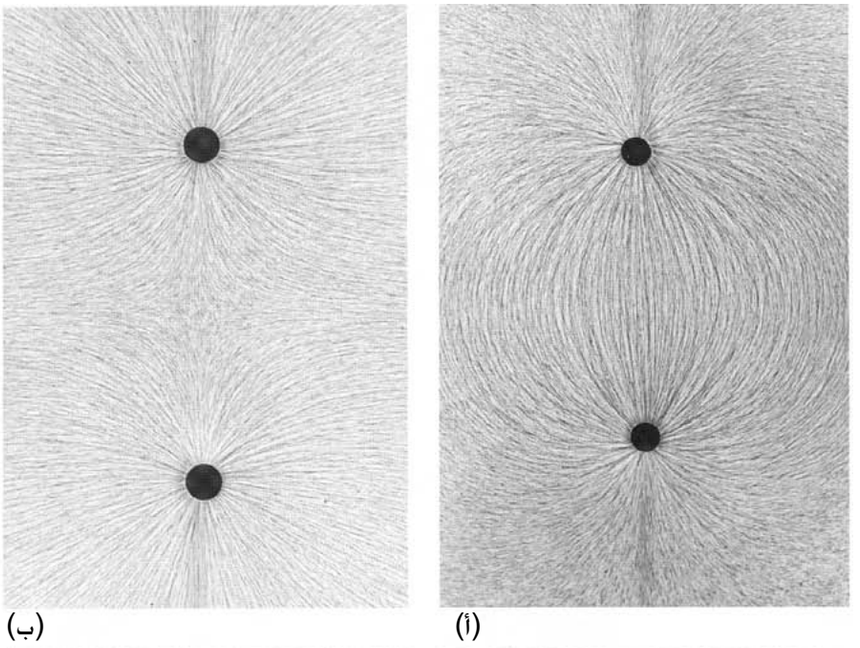


(أ) (ب) (ج)

الشّكل 10.8

بعض هيئات المجال الكهربائيّ. (أ) خطوط القوة حول شحنة موجبة مفردة. (ب) خطوط القوة حول زوج من الشّحنات المتساوية ولكنها مختلفة. لاحظ أنّ الخطوط تنطلق من الشّحنة الموجبة وتنتهي في الشّحنة السّالبة. (ج) خطوط منتظمة للقوة بين صفيحتين متوازيتين مشحونتين بشحنتين مختلفتين.

* المجال الكهربائيّ كمية متجهة، له مقدار واتجاه. مقدار المجال عند أيّ نقطة هو القوة لكلّ وحدة شحنة. إذا تأثرت شحنة، q، بقوة، F، عند نقطة ما في الفضاء فإنّ المجال الكهربائيّ، E، عند تلك النقطة هو $E = F/q$.



الشّكل 11.8

تصطف أجزاء من خيط معلق في مغطس زيت من النهاية إلى النهاية في اتجاه المجال. (أ) شحنات متساوية ومختلفة. (ب) شحنات متساوية متشابهة. (ج) صفيحتان مشحونتان مختلفتان. (د) أسطوانة وصفيحة مشحونتان بشحنتين مختلفتين.

ترتب الشّحنات السّاكنة نفسها على أيّ سطح موصل كهربائيّ بحيث ينعدم المجال الكهربائيّ داخل الموصل. لاحظ عشوائية الخطوط داخل الأسطوانة في الشّكل 11.8د، حيث لا يوجد مجال.

لمعلوماتك

■ مهما كانت شدة المجال الكهربائيّ حول مولّد فان دي جراف مشحون. فإنّ المجال الكهربائيّ داخل القبة يكون صفرًا. وهذا صحيح داخل السّطوح الفلزّيّة التي تحمل شحنات ساكنة.

الشّكل 12.8

كلّ من لوري Lori والقبة الكروية لمولّد فان دي جراف مشحونان كهربائيًا.

■ **نقطة فحص**

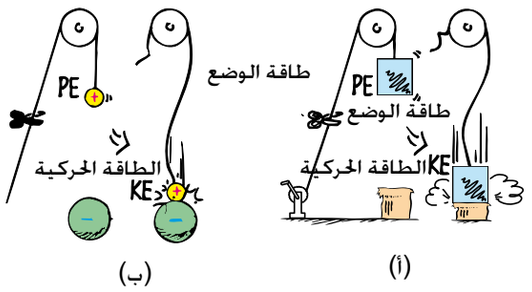
كلّ من لوري وقبة مولّد فان دي جراف في الشّكل 12.8 مشحونان. لِمَ لا يقف شعر لوري؟

هل كان هذا جوابك؟

كلّ من لوري وشعرها مشحونان. وتتنافر كلّ شعرة مع الشعرة المجاورة؛ وهذا دليل على أنّ الشّحنات المتشابهة تتنافر. حتى لو كانت الشّحنة صغيرة فإنها تنتج قوة كهربائية أكبر من وزن حزمة من الشعرات. ولحسن الحظ فإنّ القوة الكهربائيّة لا تكون قوية بما فيها الكفاية لتجعل ذراعها مرفوعة!

4.8 الجهد الكهربائيّ

عندما درسنا الطّاقة في الفصل الثالث، تعلمنا أنّ للجسم طاقة وضع جاذبية بسبب موقعه في المجال الجاذبي. وبالمثل، توجد طاقة وضع للجسيم المشحون بسبب وجوده في مجال كهربائي. وكما أنه يلزم شغل لرفع جسيم له كتلة ضد مجال الجاذبية للأرض، فإنه يتطلب شغلًا لدفع جسيم مشحون ضد المجال الكهربائيّ لجسيم مشحون. يغير هذا الشغل طاقة الوضع الكهربائيّ للجسيم المشحون.* وبالمثل، يزيد الشغل المبذول في ضغط الزنبرك من طاقة الوضع له (الشّكل 14.8أ). وبالمثل أيضا، فإنّ الشغل المبذول لدفع جسيم مشحون قريبًا من كرة مشحونة في (الشّكل 14.8ب) يزيد من طاقة الوضع للجسيم المشحون. ونسمي طاقةَ الوضع التي يمتلكها الجسيم المشحون بسبب موقعه **طاقةَ الوضع الكهربائيّة (Electric Potential Energy)**. وإذا أطلق الجسيم فإنه يتسارع مبتعدًا عن الكرة، وتتحول طاقة وضعه إلى طاقة حركية.



الشّكل 13.8
(أ) طاقة الوضع الجاذبي (PE) لكتلة مثبتة في مجال جاذبي. (ب) طاقة الوضع لجسيم مشحون مثبت في مجال كهربائي. عند إطلاق الكتلة والجسيم، كيف يستحوذ على الطّاقة الحركية (KE) من كلّ منهما بالمقارنة مع النقص في طاقة الوضع؟

إذا دفعنا جسيمًا له ضعف الشّحنة فإننا نبذل شغلًا مضاعفًا؛ لأنّ ضعفَ طاقة الوضع تكون للجسيم الذي له ضعف الشّحنة في الموقع نفسه. وللجسيم الذي له ثلاثة أضعاف الشّحنة، سيكون له ثلاثة أضعاف طاقة الوضع. وهكذا عندما ندرس الكهرباء، فمن الأفضل دراسة طاقة الوضع الكهربائيّة لكلّ شحنة بدلًا من التعامل مع طاقة الوضع الكلية لجسيم مشحون. ببساطة، تقسم كمية الطّاقة في كلّ حالة على كمية الشّحنة. ويسمى مفهومُ طاقة الوضع لكلّ شحنة الوضعَ الكهربائيّ، أي أنّ

الجهد الكهربائيّ = طاقة الوضع الكهربائيّة / كمية الشّحنة

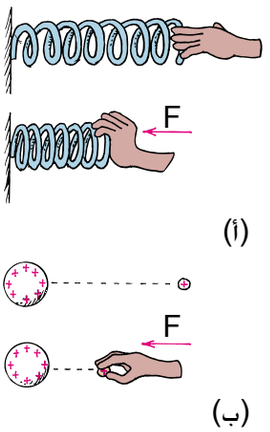
إنّ وحدة قياس الجهد الكهربائيّ هي الفولت، وغالبًا ما يسمى الوضع الكهربائيّ الجهدَ. ويساوي جهد مقداره 1 فولت كمية من الطّاقة مقدارها 1 جول لكلّ واحد كولوم من الشّحنة.

1 فولت = 1 جول / 1 كولوم

وهكذا، فإنّ بطارية بـ 1.5 فولت تعطي 1.5 جول لكلّ 1 كولوم من الشّحنة التي تنساب خلال البطارية. وللعلم، فإنّ *الجهد الكهربائيّ* و*الجهد* هما الشيء نفسه، وعادة ما يستخدم أحدهما بدلًا من الآخر.

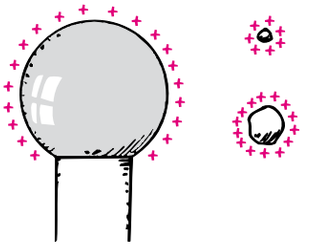
تأتي أهمية الجهد من أنه يمكن تعيين قيمة محددة له وفق الموقع. ويمكننا أن نتحدث عن الجهود لمواقع مختلفة في المجال الكهربائيّ سواء أكانت هناك شحنات في هذه المواقع أم لا. والشيء نفسه يمكن قوله عن الجهود في المواقع المختلفة من الدائرة الكهربائيّة. ولاحقًا في هذا الفصل، سنرى أنّ موقع الطرف الموجب في بطارية 12 فولت يبقى عند جهد 12 فولت أعلى من موقع الطرف السالب. عند وصل وسط موصل إلى فرق الجهد هذا، ستتحرك أيّ من الشّحنات في الوسط بين الطرفين.

الجهد الكهربائيّ والجهد يعنيان الشيء نفسه- طاقة الوضع الكهربائيّة لكلّ وحدة شحنة – بوحدات الفولت. وفي المقابل، فإنّ فرق الجهد هو الجهد نفسه – الفرق في الجهد الكهربائيّ بين نقطتين – بوحدات الفولت أيضا.



الشّكل 14.8
(أ) للزنبرك طاقة مرونة (PE) عندما ينضغط. (ب) وكذلك للشحنة الصغيرة طاقة وضع أكثر عند دفعها قريبًا من شحنة كروية. في كلتا الحالتين، تزيد طاقة الوضع نتيجة بذل جهد.

* يكون هذا الشغل موجبًا إذا زادت طاقة الوضع الكهربائيّة للجسيم المشحون. أما إذا نقصت فسيكون سالبًا.



الشّكل 15.8
لشحنة الاختبار الكبرى طاقة وضع أكبر في مجال القبة المشحونة، ولكن الجهد الكهربائيّ لأيّ مقدار من الشّحنة عند الموقع نفسه هو ذاته.

■ **نقطة فحص**

1. إذا احتوت شحنة الاختبار الموضوعة بالقرب من الكرة المشحونة على ضعفي الشّحنة كما في الشّكل 15.8، فهل تكون *طاقة الوضع الكهربائيّ* في شحنة الاختبار بالنسبة إلى الكرة المشحونة هي نفسها، أم تصبح ضعف ما كانت عليه؟ هل يكون الوضع الكهربائيّ لشحنة الاختبار هو نفسه، أم يكون ضعف ما كان عليه؟
2. ماذا نعني بقولنا إنّ البطارية في سيارتك هي من فئة 12 فولت؟

هل كانت هذه إجابتك؟

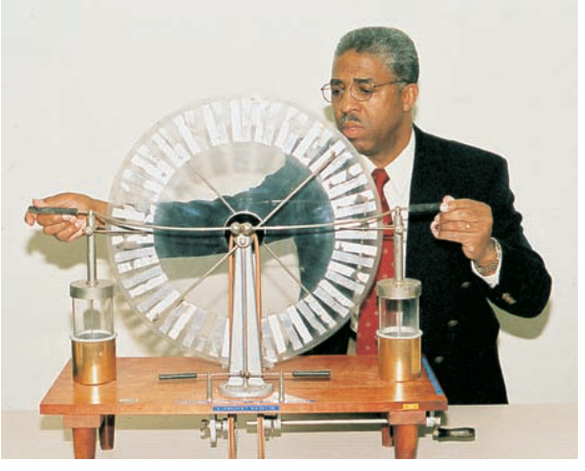
1. النتيجة لمضاعفة عدد الكولومات تعني مضاعفة *طاقة الوضع الكهربائيّة*؛ لأنّ هذا يتطلب ضعف كمية الشغل لوضع الشّحنة هناك. ولكن *الجهد الكهربائيّ* يبقى هو نفسه. إنّ ضعف طاقة الوضع مقسومًا على ضعف الشّحنة يعطي الجهد الكهربائيّ نفسه، لا يماثل طاقة الوضع الكهربائيّة. تأكد من فهمك لهذه الأشياء قبل المضيّ في دراستك.
2. هذا يعني أنّ بعض أطراف البطارية أعلى بمقدار 12 فولت من الطرف الآخر. وسنرى لاحقًا عند وصل دائرة بين هذين الطرفين، بأنّ كلّ كولوم يمرّ بين هذين الطرفين سيعطي 12 جول من الطّاقة (و12 جول "تستهلك" في الدائرة).

الشّكل 16.8
على الرغم من أنّ جهد البالون المشحون عالٍ، إلا أنّ طاقة الوضع الكهربائيّة منخفضة بسبب صغر مقدار الشّحنة.

إذا دلكت بالونًا برأسك فسيصبح البالون سالب الشّحنة - ربما بعدة آلاف من الفولتات! وهذا يعني عدة آلاف من جولات الطّاقة. إذا كانت الشّحنة 1 كولوم. ولكن، 1 كولوم يعدّ كمية كبيرة من الشّحنة. تبلغ الشّحنة على البالون المدلوك في العادة أقلّ من 1 في المليون من الكولوم. وهكذا، فإنّ كمية الطّاقة المرتبطة بالبالون المشحون صغيرة جدًّا. يعني الجهدُ العالي طاقةً عالية إذا كانت مرتبطة بشحنة كبيرة. وتختلف طاقة الوضع الكهربائيّة عن الجهد الكهربائيّ (أو الفولتية).

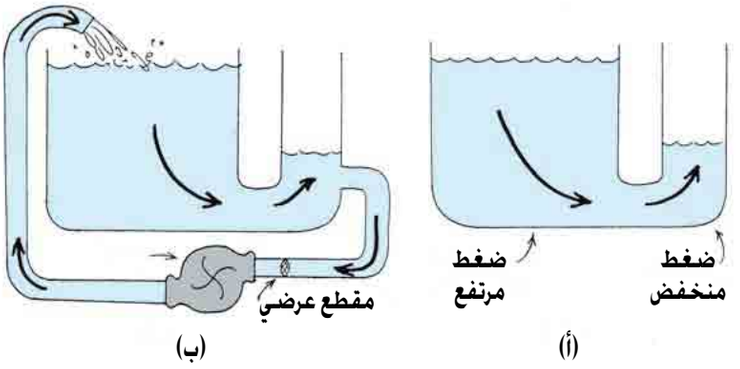
■ 5.8 مصادر الجهد

عندما يكون طرفا موصل حراري عند درجتي حرارة مختلفتين، ستنساب الطّاقة الحرارية من الطرف الذي درجة حرارته أعلى إلى الطرف الذي درجة حرارته أقلّ. وينتهي الانسياب عندما تصل النهايتان إلى درجة الحرارة نفسها. تُسمى أيُّ مادة تحتوي على جسيمات مشحونة، والتي يمكنها الانسياب بسهولة من خلالها عندما تتعرض لقوة كهربائية **الموصلَ الكهربائيّ (Electric Conductor)**. ويتميز كلّ من الموصل الحراريّ والكهربائيّ بوجود شحنات كهربائية حرة الحركة. وبصورة مشابهة لانسياب الحرارة، عندما تكون نهايتا الموصل الكهربائيّ على جهدين مختلفين - أي عندما يكون هناك فرق في الجهد (Potential Difference) - تنساب الشّحنات في الموصل من الجهد الأعلى إلى الجهد الأقلّ. ويستمر انتقال الشّحنات حتى يصل طرفا الموصل إلى طاقة الوضع نفسها. ودون فرق في الجهد، لا يحدث انسياب في الشّحنة.



الشّكل 17.8
على الرّغم من أنّ آلة ويمزهيرست يمكن أن تولّد آلاف الفولتات، إلا أنّها لا تنتج طاقة أكثر من تلك التي يضعها فيها جيم Jim بإدائرة ذراع التدوير.

الجهد العالي ذو الطّاقة المنخفضة مشابه للشرر غير الضار ذي درجات الحرارة العالية التي ينبعث من شرر الألعاب النّاريّة. تذكر أنّ درجة الحرارة هي معدل الطّاقة الحركية لكلّ جزيء، وهذا يعني أنّ الطّاقة الكلية كبيرة عندما تكون الجزيئات كثيرة. وبالمثل، فإنّ الجهد العالي يعني طاقة عالية عندما تكون الشّحنات كبيرة.

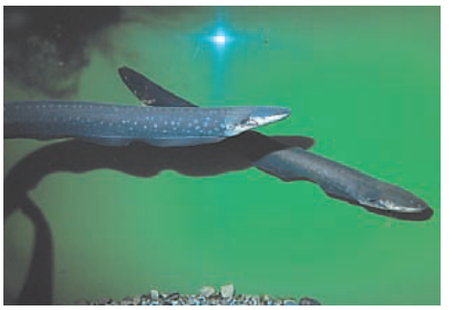


الشّكل 18.8
(أ) ينساب الماء من الخزان ذي الضغط العالي إلى الخزان ذي الضغط المنخفض. ويتوقف الانسياب عندما ينتهي الفرق في الضغط. (ب) يستمر الماء في الانسياب بسبب استدامة الفرق في الضغط بواسطة المضخة.

لضمان استمرار انسياب الشّحنة في موصل، يلزم التزود ببعض الترتيبات لإدامة فرق الجهد عند انسياب الشّحنة من طرف موصل إلى طرفه الآخر. ويشبه هذا انسياب الماء من خزان عالٍ إلى خزانٍ أقلّ ارتفاعًا (الشّكل 18.8أ). ينساب الماء في الأنابيب التي تصل بين الخزانين ما دام هناك فرق في مستوى الماء. يتوقف انسياب الماء مثل انسياب الشّحنات في الأسلاك، عندما تتساوى الضغوط عند النهايات. (نحن نعني هذه الظاهرة ضمنيًّا عندما نقول إنّ الماء يبحث عن مستواه). يكون الانسياب المستمر ممكنًا إذا كان هناك فرق في مستويات الماء -فرق في ضغوط الماء- ويستمر الفرق باستخدام مضخة مناسبة (الشّكل 18.8ب).

يتطلب استدامة التّيّار الكهربائيّ جهاز ضخّ لاستمرار فرق في الوضع الكهربائيّ - لاستمرار الجهد .

إنّ البطاريات الكيميائية أو المولدات هي مضخات كهربائية تقوم بجعل انسياب الشّحنة على نحو مستمر. تبذل هذه الأجهزة شغلًا لسحب الشّحنات السّالبة بعيدًا عن الأيونات الموجبة. وتبذل هذه البطاريات الكيميائية بالانحلال الكيميائي للخارصين أو الرّصاص في الحامض، وتحوّل الطّاقة المختزنة في الروابط الكيميائية إلى طاقة وضع كهربائية.



تفصل المولدات الشّحنة بالحثّ الكهرومغناطيسي الذي سوف نناقشه في الفصل القادم. إنّ الشغل المبذول (بأيّ طريقة كانت) لفصل الشّحنات المتعاكسة موجود عند طرفي البطارية أو المولد. تزود هذه الطّاقة لكلّ شحنة بفرق الوضع (الفولتية) والتي تزود بدورها "بالضغط الكهربائيّ" لتحريك الإلكترونات عبر الدائرة الموصلة إلى طرفيها.

■ 6.8 التّيّار الكهربائيّ

كما أنّ التّيّار المائيّ هو انسياب جزيئات H_2O، فإنّ **التّيّار الكهربائيّ** هو انسياب الجسيمات المشحونة. في دوائر من الأسلاك الفلزية، تشكل الإلكترونات الشّحنة المنسابة. وهناك إلكترون أو أكثر من الإلكترونات من كل ذرة فلز تكون حرة الحركة خلال الشبيكة الذرية. تسمى حاملات الشّحنة هذه إلكترونات التوصيل. وفي المقابل، لا تتحرك البروتونات في المواد الصلبة؛ لأنها مقيدة ضمن أنوية الذرات وهي، بطريقة ما، مرتبطة بمواقع ثابتة. ولكن في الموائع، تشكل الأيوناتُ الموجبة الشّحنةَ الكهربائيّة المنسابة كما الإلكترونات.

لمعلوماتك

■ إنّ البطاريات الكيميائية لا تستجيب بشكل جيد للاندفاع المفاجئ للشحنة. والبديل الذي لا يستجيب جيدًا لدفق الطّاقة هو دولاب الغزل. تصنع الدواليب الحديثة - على العكس من ذلك الذي يستخدم من قبل الخزافين لغزل الطّاقة - من مواد مركبة قوية، ويمكن غزلها بسرعات عالية دون أن تتكسر. لذا يمكن تحويل الطّاقة الحركية الدورانية إلى أشكال أخرى من الطّاقة. انتظر دواليب كأجهزة تخزين للطاقة.

الشّكل 19.8
إنه مصدر جهد غير عادي. تبلغ طاقة الوضع الكهربائيّة بين رأس ثعبان الماء الكهربائيّ وذيله إلى حدّ 650 فولت.

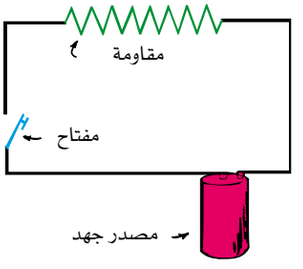
لا تزود البطارية الدائرة بالإلكترونات، إنها تزود الإلكترونات الموجودة أصلا في الدائرة بالطّاقة.

لمعلوماتك

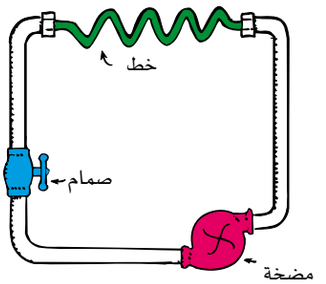
■ عندما تُزود بطارية سيارة عادية بضغط كهربائي مقداره 12 فولت إلى دائرة موصولة عبر طرفي توصيل، فإنها تزود 12 جول من الطّاقة لكلّ كولوم من الشّحنة التي تسري في الدائرة.

الشّكل 20.8
كلّ كولوم من الشّحنة يجبر على الانسياب في الدائرة التي تصل النهايتين بـِ 1.5 فولت لخلية الضوء الومضي يزود بطاقة مقدارها 1.5 جول.

يعود الفرق المهم بين انسياب كلّ من الماء والإلكترونات إلى موصلاتهما. إذا اشتريت أنبوب ماء من متجر، فإنّ البائع لا يبيعك الماء الذي ينساب فيه. لذا عليك أنت تزويده بالماء. وفي المقابل، عندما تشتري "أنبوب إلكترونات"، سلكًا كهربائيًّا، فأنت تحصل أيضًا على الإلكترونات. فكلّ جزء من المادة، بما فيها الأسلاك، يحتوي على عدد هائل من الإلكترونات التي تحتشد في اتجاهات عشوائية. وعندما يجعلها مصدر جهد تتحرك، نحصل حينها على تيار كهربائيّ.



(ب)



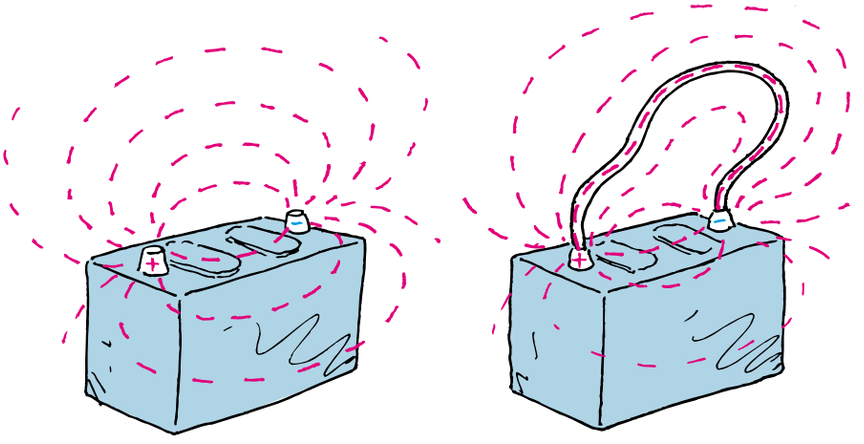
(أ)

الشّكل 21.8
التناظر بين (أ) دائرة هيدروليكية بسيطة و(ب) دائرة كهربائية. يبذل جهد كبير في بناء مسارعات ضخمة للجسيم، تسارع الإلكترونات حتى تقترب سرعتها من سرعة الضوء. إذا انتقلت الإلكترونات في الدائرة العادية بهذه السرعة، فعلى المرء أن يثني السّلك بزاوية حادة لجعل هذه الإلكترونات ذات الزخم العالي تفشل في الرجوع وتنبعث في الهواء. لا حاجة إلى المسارعات! في الحقيقة، تتحرك الإلكترونات في الدوائر ببطء شديد.

يقاس *معدل* الانسياب الكهربائيّ بالأمبير (*Ampere*). **فالأمبير** هو معدل انسياب 1 كولوم من الشّحنة في الثانية. (أي انسياب 6.25 بليون بليون إلكترون في الثانية). إنّ السّلك الذي يحمل تيار 4 أمبير إلى مصباح سيارة أمامي مثلًا، ينقل 4 كولوم من الشّحنة يمر عبر أيّ مقطع عرضي في السّلك في الثانية. في السّلك الذي يحمل تيار 8 أمبير، يمر ضعف عدد الكولومات في أيّ مقطع عرضي في الثانية. إنّ سرعة انسياق الإلكترونات عبر السّلك بطيئة بشكل مدهش. ويعزى هذا إلى استمرار ضخّ الإلكترونات في ذرات السّلك. إنّ صافي السرعة، و سرعة الانسياق، للإلكترونات في دائرة نموذجية هي أقلّ من 1 سم/ث. في حين تنتقل الإشارة الكهربائيّة بسرعة قريبة من سرعة الضوء. وهذه هي السرعة التي ينشأ فيها المجال الكهربائيّ في السّلك.

أوهناك نقطة مثيرة أخرى، وهي أنّ السّلك الذي يحمل التّيار الكهربائيّ غير مشحون كهربائيًّا. وتحت الظروف العادية، هناك العدد الكبير نفسه من الإلكترونات المحتشدة خلال شبيكة الذرة مساوٍ للشحنات الموجبة في الأنوية الذرية. كما أنّ هناك تساويًا بين عدد كلّ من الإلكترونات والبروتونات. لذا، فبغض النظر عن أنّ السّلك يحمل تيارًا أم لا، فإنّ الشّحنة الصافية للسلك في العادة "صفر" في أيّ لحظة.

هناك بعض الالتباس بين الشّحنة التي تسري *خلال* الدائرة والجهد المسلط عبرها. ويمكننا التمييز بين هذه الأفكار بدراسة أنبوب طويل فيه ماء - ينساب الماء خلال الأنبوب إذا كان هناك فرق في الضغط بين طرفيه، حيث ينساب الماء من الطرف ذي الضغط العالي إلى الطرف ذي الضغط المنخفض. الماء فقط هو الذي ينساب، وليس الضغط. وبالمثل، تنساب الشّحنة الكهربائيّة بسبب الفرق في الضغط الكهربائيّ (الجهد). يمكنك القول إنّ *الشّحنات* تنساب خلال الدائرة بسبب *الجهد* المسلط عبر الدائرة، ولكن لا يمكنك القول إنّ الجهد ينساب خلالها.



الشّكل 22.8
تتجه خطوط المجال الكهربائيّ بين طرفي البطارية خلال الموصل الذي يصل بين الطرفين. سلك سميك مبين هنا، ولكن المسار من طرف إلى آخر هو في العادة دائرة كهربائية. (إذا لمست هذا السّلك الموصل، فلن تتعرض لصدمة، ولكن السّلك سوف يسخن بسرعة وقد يحرق يدك!)

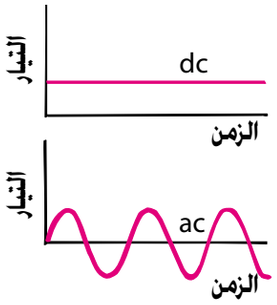
تاريخ الـ 110 فولت

في الأيام الأولى للإنارة بالكهرباء، كانت الجهود العالية تحرق فتائل مصابيح الضوء الكهربائيّ. لذا كان الجهد المنخفض عمليًا أكثر. وتبنت مئات محطات توليد الكهرباء في الولايات المتحدة قبل 1900م الـ 110 فولت (أو 115 أو 120 فولت) جهدًا معياريًّا لها. لقد تقرر اعتماد الجهد 110 فولت لأنه جعل المصابيح في ذلك العصر تتوهج بسطوع كمصابيح الغاز. وفي الوقت الذي شاعت الإنارة الكهربائيّة في أوربا، وتمكن المهندسون من صنع مصابيح لا تحترق بسرعة عند الجهود العالية. تكون ناقلات الطّاقة أكثر كفاءة عند الجهود العالية. وعليه، فقد تبنت أوربا 220 فولت جهدًا معياريًّا لها. في حين بقيت الولايات المتحدة على الـ 110 فولت (اليوم هي 120 فولت رسميًّا) بسبب المبالغ الطائلة في المنشآت في أجهزة الـ 110 فولت. ومن المثير في الدوائر المتناوبة، أنّ 120 فولت هي معدل الجذر التربيعي للجهد. إنّ الجهد الفعلي في 120 فولت متناوب، يتغير بين 170+ فولت و 170- فولت، مولدًا طاقة للمكواة أو المِحمصة مثل 120 فولت في دائرة مباشرة.

إنّ الجهد لا يذهب إلى أيّ مكان؛ لأنّ الشّحنة هي التي تتحرك. وينتج الجهد تيارًا (إذا كانت هناك دائرة كاملة).

التّيّاران؛ المستمر (Direct Current) والمتناوب (Alternating Current)

قد يكون التّيار مستمرًّا أو متناوبًا؛ **فالتّيّار المستمر** (*dc*) يشير إلى انسياب الشّحنات في اتجاه واحد. تنتج البطارية تيارًا مستمرًّا في الدائرة؛ لأنّ طرفي البطارية لهما دائمًا الإشارات نفسها. وتتحرك الإلكترونات من الطرف المُنفر السالب إلى الطرف الجاذب الموجب، وهي تتحرك عبر البطارية في الاتجاه نفسه دائمًا.



الشّكل 23.8
التّيّاران؛ المستمر (dc)، والمتناوب (ac) بدلالة الزمن.

وفي **التّيّار المتناوب** (*ac*)، تتحرك الإلكترونات أولًا في أحد الاتجاهات، ثمّ في الاتجاه المعاكس، متناوبة حول موقع ثابت نسبيًّا. وهذا ما يحدث في المولد أو المتناوب بتغيير الإشارة دوريًّا عند الطرفين. وعلى نحو تقريبي، فإنّ الدوائر التجارية المتناوبة جميعها تتعلق بتيارات تتناوب إلى الأمام وإلى الخلف بتردد 60 دورة في الثانية. هذا تيار بـ 60 هرتز (تسمى الدورة الواحدة في الثانية (هرتز).

في بعض البلدان، يستعمل تيار 25، أو 30، أو 50 هرتز. وفي أنحاء العالم كلّه، نجد أنّ معظم الدوائر السكنية والتجارية متناوبة (*ac*)؛ لأنّ الطّاقة الكهربائيّة المتناوبة يمكن رفعها بسهولة إلى جهد عالٍ لنقلها إلى أماكن بعيدة بفقدان كمية حرارة صغيرة، ثم تخفض إلى جهود مناسبة حيث يتم استهلاكُ الطّاقة. إنّ حدوث ذلك أمر مدهش، وسوف نعود إليه في الفصل اللاحق. وتنطبق قواعد الكهرباء في هذا الفصل على كلّ من التّيّارين المستمر والمتناوب.

لمعلوماتك

■ لا يوجد خطر كهربائي في بطاريات السيارات، ولكن الخطورة في انفجارها. إذا لمست طرفي التوصيل بمفك فلزي مباشرة، فقد تنشأ شرارة تشعل غاز الهيدروجين في البطارية، وتعمل على تطاير أجزائها والحامض معًا!

لمعلوماتك

■ ينجز التحويل من المتناوب إلى المباشر بجهاز إلكتروني يسمح بانسياب الإلكترون في اتجاه واحد فقط، هو الصمام. أما نوع الصمام الأكثر ألفة فهو الصمام الباعث للضوء (LED). تنطلق الفوتونات عندما تعبر الإلكترونات فجوة "الطّاقة" في الجهاز. وفي الغالب تناظر طاقة الفوتون تردد الضوء الأحمر. ونرى هذه الصمامات في العديد من الأجهزة المتنوعة، بما في ذلك أجهزة الفيديو (VCRs)، ومشغّل أقراص الفيديو المدمجة (DVD). ومن المثير أنه عند عكس نقاط الوصل الكهربائيّ (المدخلات) مع مخرجات الضوء، يصبح الجهاز خلية شمسية!

■ 7.8 المقاومة الكهربائيّة

يعتمد مقدار التّيّار في الدائرة على المقاومة الكهربائيّة فيها، وليس على مقدار الجهد فقط. وكما أنّ الأنابيب الضيقة تقاوم سريان التّيّار أكثر من الأنابيب الواسعة، فإن الأسلاك الرفيعة تقاوم التّيّار أكثر من السميكة. إضافة إلى أنّ الطول يساهم في المقاومة أيضًا. وكما أنّ الأنابيب الطويلة لها مقاومة أكثر من الأنابيب القصيرة، فإنّ الأسلاك الطويلة تعني مقاومة أكبر. والأهم من ذلك هو المادة المصنوعة منها الأسلاك؛ فالمقاومة الكهربائيّة للنحاس منخفضة، في حين يكون لشريط من المطاط مقاومة هائلة. إلى جانب أنّ درجة الحرارة تؤثر في المقاومة الكهربائيّة. وكلما زاد اهتزاز الذرات في الموصل (أي ارتفعت درجة الحرارة)، زادت المقاومة.

وتصل مقاومة بعض المواد إلى الصفر عند درجات حرارة منخفضة، حيث تسمّى هذه المواد فائقةَ الموصلية. تقاس المقاومة الكهربائيّة بوحدة تسمى الأوم. وعادة ما يستخدم الحرف اليوناني أوميجا (Omega)، Ω، كرمز لهذه الوحدة. وقد سميت هذه الوحدة تكريمًا للفيزيائي الألماني جورج سيمون أوم (George Simon Ohm)، الذي اكتشف في عام 1826م علاقة بسيطة ومهمة جدًّا بين كلّ من الجهد، والتّيّار، والمقاومة.

الموصلات الفائقة (SuperConductors)

تصطدم الإلكترونات المنسابة في أسلاك المنازل العادية بالأنوية الذرية في السّلك، وتحول طاقتها الحركية إلى طاقة حرارية فيه. ولقد اكتشف الباحثون في بداية القرن العشرين أنّ وضع فلزات معينة في سائل الهيليوم عند درجة حرارة 4 كلفن يفقدها كلّ مقاومتها الكهربائيّة. إنّ الإلكترونات في هذه الموصلات تنتقل بمسارات بحيث تتجنب التصادمات الذرية، سامحة للإلكترونات بالانتقال إلى ما لا نهاية. وقد سميت هذه المواد **الموصلات الفائقة**، ومقاومتها الكهربائيّة "صفر" لانسياب الشّحنة. وفي هذه الموصلات الفائقة، لا يفقد تيار ولا تتولد حرارة. ولعدة عقود، كان التفكير على العموم أنّ مقاومة صفرية تحدث فقط في فلزات معينة بالقرب من درجة الحرارة المطلقة الصفرية. ولكن في عام 1986م، تمّ الحصول على موصلات فائقة عند درجة حرارة 30 كلفن، حيث أنعشت الآمال بإيجاد موصلات فائقة على درجة حرارة أعلى من 77 كلفن، وهي درجة الحرارة التي يصبح عندها النيتروجين سائلا. إنّ التعامل مع النيتروجين أسهل من التعامل مع الهيليوم، لأنه يلزم لتسييله ظروف باردة جدًّا. إنّ القفزة العملاقة حدثت في السنوات التالية، وذلك عند اكتشاف مركب فلزي فقد مقاومته عند درجة حرارة 90 كلفن.

لقد وجد العديد من الأكاسيد الخزفية التي تصبح موصلات فائقة عند درجة حرارة أعلى من 100 كلفن. تصبح المواد الخزفية موصلات فائقة عند "درجات حرارة عالية". وفي هذه الأيام تستخدم أسلاك من الموصلات الفائقة ذات درجات حرارة عالية (*HTS*)، وتحمل تيارًا أعلى بجهد أقلّ. وهذا يعني أنه يمكن وضع محولات الطّاقة الكبيرة بعيدًا عن المراكز الحضرية - سامحة بتطوير مناطق خضراء. انتظر توسعًا إضافيًا في استعمال كابلات HTS لإيصال الطّاقة الكهربائيّة.

■ 8.8 قانون أوم

تُلخّص العلاقة بين كلّ من الجهد، والتّيّار، والمقاومة بالعبارة التي تسمى **قانون أوم**. اكتشف أوم أنّ مقدار التّيّار في دائرة يتناسب مباشرة مع الجهد المسلط عبر الدائرة، ويتناسب عكسيًّا مع المقاومة:

التّيّار = الجهد / المقاومة

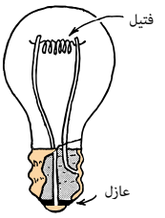
أو في صورة وحدات كما يلي:

الأمبير = الفولت / الأوم

لذا، لدائرة معينة لها مقاومة ثابتة، يتناسب التّيّار والجهد تناسبًا طرديًّا أحدهما مع الآخر* . وهذا يعني أنك تحصل على ضعف التّيّار إذا ضاعفت الجهد. وكلما زاد الجهد زاد التّيّار. ولكن إذا تضاعفت المقاومة لدائرة ما يُصبح التّيّار عندئذٍ نصف ما كان عليه. فكلما زادت المقاومة، نقص التّيّار. إذن فقانون أوم يعدّ منطقيًّا.

لمعلوماتك

■ يمكن أن تصنع بعض المواد من الجرمانيوم والسليكون بالتناوب لأنهما موصلات وعوازل. هذه أشباه موصلات. إنّ انتقال الإلكترون عبر وصلة بين أزواج منها يسبب انبعاث الضوء، كما هو الحال في الصمام الباعث للضوء (LED). وبالعكس، فإنّ امتصاص الضوء يؤدي إلى تيار كهربائي، كما في الخلية الشّمسيّة.



الشّكل 24.8
لا تتأثر إلكترونات التوصيل التي تندفع جيئة وذهابًا في فتيلة المصباح من مصدر الجهد. إنها موجودة أصلًا في الفتيلة. ببساطة، يزود مصدر الجهد الإلكترونات بطاقة الاندفاع. وعند إغلاق المفتاح، تسخن مقاومة فتيل التنجستن الرفيعة إلى درجة 3000°س وتتضاعف مقاومته تقريبًا.

التّيّار هو انسياب شحنة مدفوعة للحركة بتأثير الجهد، ومكبوحة بالمقاومة.

إنّ وحدة المقاومة الكهربائيّة هي الأوم، Ω.

* تستخدم العديد من المقررات *V* رمزًا للجهد، و *I* للتيار، و *R* للمقاومة، ويعبر عن قانون أوم بـ *V = IR*). لذا، فإنّ *I = V / R*، أو *R = V / I*، وعليه، فإنّ معرفة أيّ متغيّرين يساعد على معرفة الثالث. (غالبًا ما ترمز *V* للجهد، و *A* للتيار، و Ω للمقاومة (الحرف اليوناني الكبير أوميجا).

حساب العلوم الطّبيعيّة

■ حلّ المسألة

مسألة 1

ما مقدار التّيّار الذي يمر عبر مصباح مقاومته 60 أوم عندما يكون الجهد المسلّط عبر المصباح 12 فولت؟

الحلّ:

من قانون أوم:

التّيّار = الجهد / المقاومة

= 12 فولت / 60 Ω = 0.2 أمبير

مسألة 2

ما مقاومة محمصة تسحب تيارًا مقداره 12 أمبير عند وصلها في دائرة بمصدر جهد مقداره 120 – فولت؟

الحلّ:

بإعادة ترتيب قانون أوم:

المقاومة = الجهد / التّيّار

= 120 فولت / 12 أمبير = 10 أوم

مسألة 3

إذا كانت مقاومتك 100,000 أوم، فما مقدار التّيّار الذي يمر في جسدك إذا لمست قطبي بطارية – 12 فولت؟

الحلّ:

التّيّار = الجهد / المقاومة

= 12 فولت / 100,000 Ω =

0.00012 أمبير

مسألة 4

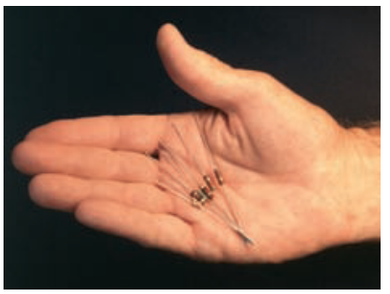
إذا كان جلدك رطبًا، بحيث أصبحت مقاومتك 1000 أوم فقط، ولمست قطبي بطارية بجهد 12 فولت، فما مقدار التّيّار الذي يسري فيك؟

الحلّ:

التّيّار = الجهد / المقاومة

= 12 فولت / 1000 Ω = 0.012 أمبير.

إنّ المقاومة النموذجية لسلك مصباح تبلغ أقلّ من أوم، ومصباح إضاءة نموذجي تكون مقاومته Ω100. ومكواة أو محمصة كهربائية لها مقاومة بين 15 و20 Ω. يُنظم التّيّار داخل هذه الأجهزة الكهربائيّة بعناصر دائرة تسمى المقاومات (الشّكل 25.8)، والتي تتراوح مقاومتها بين عدة وحدات من الأوم إلى 1 من المليون من الأوم. تسخن المقاومات عند انسياب التّيّار خلالها، ولكن إذا كان التّيّار قليلًا فستكون السّخونة قليلة أيضًا.



الشّكل 25.8
المقاومات. رمز المقاومة في الدائرة الكهربائيّة هو

لمعلوماتك

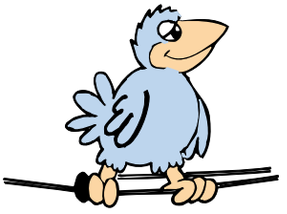
■ إنّ الهواءَ داخل مصباح الضوء التقليدي مزيجٌ من النيتروجين والأرجون. عند تسخين فتيلة التنجستن، تتبخر جسيمات متناهية في الصغر من التنجستن، كالبخار الذي ينبعث من الماء المغلي. ومع مرور الزمن، تترسب هذه الجسيمات على السطح الداخلي للزجاج، متسببة في اسوداد المصباح. وبفقدان التنجستن، تتحطم الفتيلة أخيرًا ويحترق المصباح. ولتفادي هذا، يمكن أن يحل غاز الهالوجين محل الهواء داخل المصباح، مثل اليود أو البروم. يتحد التنجستن المتبخر مع الهالوجين بدلًا من التّرسّب على الزّجاج، والذي يبقى صافيًا. والأكثر من ذلك، هو أنّ اتحاد الهالوجين مع التنجستن ينفصل عندما يلمس الفتيل السّاخن، فيعود الهالوجين غازًا. في حين تصلح الفتيلة بإعادة ترسيب التنجستن على نفسه. ولهذا السبب، تدوم مصابيح الهالوجين طويلا.

الصدمة الكهربائيّة

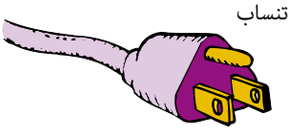
إن الآثار الضارة للصدمة هي نتيجة مرور التّيّار خلال الجسم البشري. ما الذي يسبب الصدمة الكهربائيّة في الجسم: التّيّار أم الجهد؟ من قانون أوم، نرى أنّ هذا التّيّار يعتمد على الجهد المسلّط. كما أنه يعتمد على المقاومة الكهربائيّة للجسم البشري. وتعتمد مقاومة جسم ما على ظروفه، حيث تتراوح بين نحو 100 Ω، إذا غمس الجسم في ماء مالح، إلى نحو 500,000 Ω، إذا كان الجسم جافًّا. وإذا لمسنا قطبي البطارية بأصابع جافة، مغلقين الدائرة من يد إلى اليد الأخرى، فنحن نقدم مقاومة تقدّر بنحو 100,000 Ω. في العادة لا نشعر بجهد 12 فولت، وحتى 24 فولت، وبالكاد نشعر بوخزة. ولكن إذا كان جلدنا رطبا، فمن الممكن أن تكون 24 فولت مؤذية. والجدول 1.8 يصف الآثار المختلفة من التّيّار في الجسم البشري.

الجدول 1.8 أثر التّيّارات الكهربائيّة في الجسم

التّيّار (بالأمبير)	الأثر
0.001	يمكن الإحساس به.
0.005	مؤلم.
0.010	يسبب الانقباض غير الإراديّ (التّشنّج).
0.015	يسبب فقدان السّيطرة على المفصل.
0.070	يذهب خلال القلب، ويؤدي إلى تمزق خطير قد يكون قاتلًا إذا استمر التّيّار أكثر من ثانية واحدة.



الشّكل 26.8
يمكن أن يقف الطير دون أذى على سلك واحد من الجهد العالي، ولكن من الأفضل عدم لمس السّلك المجاور. لماذا؟



الشّكل 27.8
الشعبة الثالثة موصولة بجسم الأداة مباشرة مع الأرض، أي أنّ الشّحنة التي تتراكم في الأداة تنساب إلى الأرض.

الشّكل 28.8
مصباح الطاولة لجسم عازل. لذا، فإنّه لا يحتاج إلى سلك ثالث (أرضي).

ولكي تتلقى صدمة؛ يجب أن يكون فرق في الجهد الكهربائيّ بين جزء من جسمك وجزء آخر منه. إنّ معظم التّيّار يمر عبر المسار الذي له مقاومة كهربائية أقلّ، والتي تصل بين هاتين النقطتين. افترض أنك سقطت عن جسر، وتمكنت من الإمساك بخط قوي للجهد - العالي، مانعًا سقوطك. ما دمت أنك لا تلمس أيّ شيء بجهد مخالف، فلن تتلقى أيّ صدمة على الإطلاق. وحتى لو كان السّلك بعدة آلاف من الفولت أكبر من جهد الأرض، وأنت تمسك به بيدك، فلا تنساب أيّ كمية شحنة ملموسة من يد إلى الأخرى، ويعزى هذا إلى عدم وجود فرق جهد كهربائيّ ملموس بين يديك. ولكن، إذا وصلت بإحدى يديك، وأمسكت السّلك الذي له جهد مختلف باليد الأخرى، عندئذ ستصعق! وقد رأينا جميعًا طيورًا تجثم على أسلاك الجهد العالي. كلّ جزء من أجسامها على الجهد العالي نفسه مثل جهد السّلك، ولهذا لا تحسّ بآثار ضارة.

من المثير أنّ مصدر الإلكترونات في التّيّار التي تصدمك مصدرها جسمك. كما هو الحال في الموصلات جميعها، فإنّ الإلكترونات موجودة فيها. وعليك الحذر من الطّاقة المعطاة للإلكترونات. إنها تزود بالطّاقة عند وجود فرق في الجهد عبر الأجزاء المختلفة من جسمك.

إنّ معظم القوابس والمقابس الكهربائيّة اليوم يكون لها ثلاث وصلات بدلا من وصلتين. الشعبتان المسطحتان الرئيستان في المقابس الكهربائيّة هما لحمل التّيّار بالسّلك الثنائي، جزء "حيّ" والآخر متعادل، أما الشعبة الثالثة فهي أرضية - متصلة مباشرة بالأرض (الشّكل 27.8). توصل الأدوات كالمكاوي، والأفران، والغسالات، والنشافات بهذه الأسلاك الثلاثة. إذا اتصل السّلك الحيّ صدفة بالسّطح الفلزيّ للأداة، ولمست الأداة، فمن الممكن أن تتلقى صدمة خطيرة. وهذا لا يحدث إذا كان غطاء الأداة موصولًا بالأرض عبر السّلك الأرضي، والذي يضمن أنّ غطاء الأداة على جهد أرضي مقداره صفر.

الضّرر النّاجم عن الصدمة الكهربائيّة

يموت العديد من الناس سنويًّا من تيارات الدوائر الكهربائيّة العادية ذات الـ 120 فولت. إذا لمست يدك بالخطأ مثبت مصباح 120 فولت، في حين كانت قدماك على الأرض، فعلى الأغلب سيكون هناك "ضغط كهربائي" بمقدار 120 فولت بين يديك والأرض. إنّ أكبر مقاومة للتيار تكون بين قدميك والأرض، لذا يكون التّيّار عادة غير كافٍ لإحداث أذى خطير. ولكن إذا كانت قدماك على أرض مبلولة، فسيكون هناك مسار مقاومة كهربائية صغيرة بينك وبين الأرض. ويتسبب جهد الـ 120 فولت عبر المقاومة الصغيرة بتيار مؤذٍ في جسمك.

يعدّ الماء النقي موصلًا غير جيّد. ولكن الأيونات الموجودة فيه تجعله موصلًا مقبولا. إنّ المواد الذائبة فيه، وخاصة الكميات القليلة من الملح، تقلل من المقاومة بشكل كبير. عادة، هناك طبقة من الملح تبقى على جلدك نتيجة التنفس، وعندما تكون مبلولة، تقلل من مقاومة الجلد حتى تصبح مقاومته عدة مئات من الأوم أو أقلّ من ذلك. ولهذا، يجب عدم استخدام الأجهزة الكهربائيّة عند الاستحمام؛ فهذا خطر جدًّا.

يحدث الأذى من الصدمة الكهربائيّة بثلاثة أشكال هي: 1- حرق الأنسجة بالحرارة. 2- التقلص العضلي. 3- عدم انتظام نبضات القلب. هذه الحالات تحدث بسبب التزود بطاقة فائضة لفترة طويلة في مناطق حساسة من الجسم.

ويمكن للصدمة الكهربائيّة أن تعمل على اضطراب العصب المركزي الذي يتحكم في التنفس. ولإنقاذ ضحايا الصدمة، فإنّ أول شيء يجب فعله هو إزالة مصدر الكهرباء. استخدم عصا خشبية جافة، أو أيّ شيء غير موصل حتى لا تؤذي نفسك بالكهرباء. ثم قم بعملية التنفس الصّناعيّ. ومن المهم الاستمرار في هذه العملية، لأنّ هناك حالات لضحايا البرق الذين لا يستطيعون التنفس دون مساعدة لعدة ساعات، ولكنهم استعادوا صحتهم وحيويتهم بالكامل أخيرًا.

■ **نقطة فحص**

ما الذي يسبب الصدمة الكهربائيّة: التّيّار أم الجهد؟

هل كانت هذه إجاباتك؟

تحدث الصدمة الكهربائيّة عند مرور التّيّار في الجسم. ولكن تسليط الجهد يسبب التّيّار.

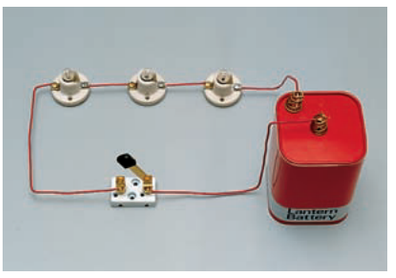
■ 9.8 الدوائر الكهربائيّة

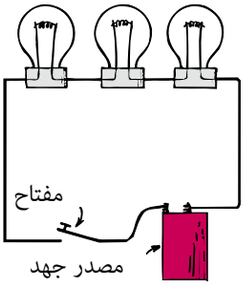
الدائرة هي أيّ مسار تنساب الإلكترونات خلاله. ولانسياب الإلكترونات المستمر يجب أن تكون هناك دائرة مغلقة دون فجوات. تعطى الفجوة عادة بمفتاح كهربائي. يمكن فتحه أو إغلاقه إما لقطع الطّاقة، أو السماح لها بالانسياب. ويكون لمعظم الدوائر أكثر من جهاز لاستقبال الطّاقة الكهربائيّة. وفي العادة، تكون الأجهزة موصولة في الدائرة بطريقتين هما: التوالي والتوازي. فعند التوصيل على التوالي، يكون هناك مسار أحادي لانسياب الإلكترونات بين طرفي البطارية أو المحول، أو مخرج الكهرباء (هو ببساطة امتداد لهذه الأطراف). أما عند التوصيل على التوازي، فهناك عدة فروع. ولكلّ منها مسار منفصل لسريان الإلكترونات. ولكلّ من التوصيلات على التوالي وعلى التوازي خصائص مميزة. سنناقش باختصار الدوائر التي تستخدم هذين النوعين من التوصيلات في البنود الآتية:

غالبًا ما نفكر في التّيّار المنساب خلال دائرة، ولكننا لا نقول هذا أمام شخص متمكن، فمصطلح "يسري التّيّار" لا لزوم له. والأنسب القول: الشّحنة تسري وهي التيار.

دوائر التوالي (Series Circuts)

دائرة **التوالي البسيطة** مبينة في الشّكل 29.8. ثلاثة مصابيح موصولة على التوالي مع بطارية. يوجد التّيّار نفسه في المصابيح الثلاثة فورًا لحظة إغلاق المفتاح. التّيّار لا "يتراكم" أو يتجمع في أيّ مصباح، ولكنه يسري خلال كلّ واحد منها. تغادر الإلكترونات التي تشكل التّيّار الطرف السّالب من البطارية، مارة من خلال كلّ عنصر مقاومة، ومن ثمَّ تعود إلى الطرف الموجب لها. (مقدار التّيّار نفسه الذي يمر خلال البطارية). إنّ هذا هو المسار الوحيد للإلكترونات خلال الدائرة. وأنّ أيّ قطع في المسار في أيّ مكان يجعل الدائرة مفتوحة، وبنقطع سريان الإلكترونات. مثل هذا القطع يحدث عند فتح المفتاح، أو عند قطع السّلك بحادث، أو عند حرق فتيلة أحد المصابيح. توضح الدائرة المبينة في الشّكل 29.8 الخصائص الآتية عن التوصيل على التوالي:





الشّكل 29.8
دائرة متتالية بسيطة. تزود البطارية ذات الـ 6 فولت كلّ مصباح بـ 2 فولت.

1. للتيار الكهربائيّ مسار واحد فقط خلال الدائرة. وهذا يعني أنّ التّيّار المار خلال مقاومة أيّ جهاز كهربائيّ عبر المسار هو نفسه.
2. يقاوم هذا التّيّار بمقاومة الجهاز الأول، وبمقاومة الثاني، وكذلك بمقاومة الثالث، وهكذا. فإنّ المقاومة الكلية للتيار في الدائرة هي مجموع المقاومات المفردة عبر مسار الدائرة.
3. يساوي التّيّار في الدائرة، عدديًّا، الجهد المزود من المصدر مقسومًا على المقاومة الكلية للدائرة. وفقًا لقانون أوم.
4. يُقسَم الجهد الكلي المسلط عبر دائرة التوالي بين الأجهزة الكهربائيّة المفردة في الدائرة، لذا يكون

لمعلوماتك

■ خرافة: مستحيل أن يضرب البرق المكان نفسه مرتين.
حقيقة: يفضل البرق بعض النقاط، بشكل رئيس المواقع المرتفعة. تتعرض بناية أمبيرستيت Empire state والولايات المتحدة إلى 25 ضربة برق في كلّ عام تقريبًا.

لمعلوماتك

■ تنفد البطاريات جميعها. تنفد خلايا أيون – الليثيوم المستخدمة بكثرة في الحواسيب الشخصية المحمولة، والكاميرات، وأجهزة الهاتف المحمولة بشكل أسرع عند زيادة شحنها أو تسخينها. لذا احتفظ بأجهزتك بنصف الشّحنة في محيط بارد لتطيل فترة صلاحيتها للعمل.

مجموع الجهد في الدائرة "نزول جهد" عبر كلّ مقاومة لكلّ جهاز يساوي مجموع الجهود التي يزودها المصدر. وتعود هذه الخاصية إلى حقيقة أنّ كمية الطّاقة التي تعطى للتيار الكلي تساوي مجموع الطاقات التي تعطى لكلّ جهاز.

5. يتناسب انخفاض الجهد عبر كلّ جهاز مع مقاومته. ويعود ذلك إلى حقيقة أنّ مزيدًا من الطّاقة يتبدد عند مرور تيار خلال مقاومة كبيرة أكثر من مرور التّيّار نفسه خلال مقاومة صغيرة.

■ نقطة فحص

1 . إذا احترق أحد المصابيح في دائرة توالٍ، فماذا يحدث للتيار في المصابيح الأخرى؟

2 . ماذا يحدث لسطوع كلّ مصباح في دائرة توالٍ عند إضافة مزيد من المصابيح للدائرة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1 . إذا احترقت فتيلة أحد المصابيح، فإن المسار الذي يصل أقطاب مصدر الجهد ينقطع وينعدم التّيّار. وتنطفئ المصابيح جميعها.

2 . إنّ إضافة مزيد من المصابيح في دائرة التوالي ينتج مقاومة أكبر للدائرة. وهذا ينقص التّيّار فيها، ومن ثم في كلّ مصباح، والذي يسبب سطوعًا أقلّ فيها. تقسم الطّاقة بين المصابيح. وعليه، يقلّ انخفاض الجهد عبر كلّ مصباح.

تنطبق القواعد أعلاه للدوائر المباشرة أو المتناوبة. ومن السهل رؤية سلبيات دوائر التّوالي: إذا تعطل جهاز، فسينعدم التّيّار في الدائرة جميعها. بعض إنارة شجر أعياد الميلاد الرخيصة موصولة على التّوالي. وعند احتراق أحد المصابيح تصبح عملية العثور على هذا المصباح أو تبديله لعبة مسلية (أو محبطة).

من الممكن تشغيل عدة أجهزة كهربائية في الوقت نفسه لمعظم الدوائر، وكلّ دائرة مستقلة عن الأخرى. ففي بيوتنا مثلًا، يمكن تشغيل مصباح أو إطفاؤه دون التأثير في عمل الأجهزة الأخرى. ويحدث هذا لأنّ توصيل هذه الأجهزة معًا على التّوازي لا على التّوالي.

دوائر التوازي (Parallel Circuits)

يبين الشّكل 30.8 **دائرة توازٍ** بسيطة. ثلاثة مصابيح موصولة إلى النقطتين *A* و*B*، نفسيهما في الدائرة. يقال للأجهزة الكهربائيّة الموصولة إلى النقطتين نفسيهما من الدائرة الكهربائيّة إنها موصولة على التوازي. تنتقل الإلكترونات المنبعثة للطرف السالب من البطارية عبر فتيلة مصباح واحد فقط قبل أن تعود إلى الطرف الموجب لها. في هذه الحالة، يتفرع التّيّار إلى ثلاثة مسارات من *A* إلى *B*. إنّ القطع في أيّ مسار لا يعطل انسياب الشّحنة في المسارات الأخرى. كما أنّ كلّ جهاز يعمل باستقلالية عن الأجهزة الأخرى (بغض النظر عن كون الدائرة *ac* أو *dc*).

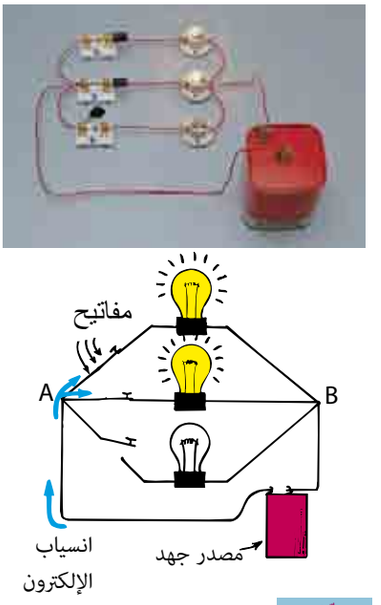
توضّح الدائرة المبينة في الشّكل 30.8 الخصائص الرئيسة لتوصيلات التوازي:

1. كلّ جهاز موصول بين النقطتين *A* و*B* نفسيهما في الدائرة. لذا يكون الجهد نفسه عبر أيّ جهاز.

2. ينقسم التّيّار الكليّ في الدائرة بين الأفرع المتوازية. وبسبب تساوي الجهد عبر أيّ مسار، فانّ مقدار التّيّار في كلّ فرع يتناسب عكسيًّا مع مقاومة الفرع.

لمعلوماتك

■ تعطي البطاريات طاقة للأجهزة المزروعة في جسم الإنسان. لقد تم اقتراح عدد من المقاربات الجاهزة للاستعمال في الطّاقة أو كمصادر للوقود في الجسم. انتظر تنفيذها في المستقبل القريب.



الشّكل 30.8
دائرة توازٍ بسيطة. تزود البطارية ذات الـ 6 فولت بـ 6 فولت لكلّ من المصباحين العلويّين.

لمعلوماتك

■ صرح توماس أديسون (Thomas Edison) بعد فشله أكثر من 6000 مرة قبل نجاحه في صنع أول مصباح كهربائيّ، أن تجاربه ليست فشلًا، لأنه نجح في اكتشاف 6000 طريقة غير صالحة للعمل.

3 . يساوي التّيّار الكلي في الدائرة مجموع التّيّارات في الفروع المتوازية.
4 . عند زيادة عدد الأفرع المتوازية، فانّ المقاومة المكافئة للدائرة تنقص. وتنقص هذه المقاومة المكافئة مع إضافة كلّ فرع بين نقطتين في الدائرة. وهذا يعني أنّ المقاومة المكافئة للدائرة هي أقلّ من مقاومة أيّ فرع مفرد.

■ نقطة فحص

1. ماذا يحدث للتيار في المصابيح الأخرى إذا احترق أحد المصابيح في الدائرة؟
2. ماذا يحدث لسطوع كلّ مصباح في الدائرة المتوازية عند إضافة مصباح آخر موازٍ في الدائرة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

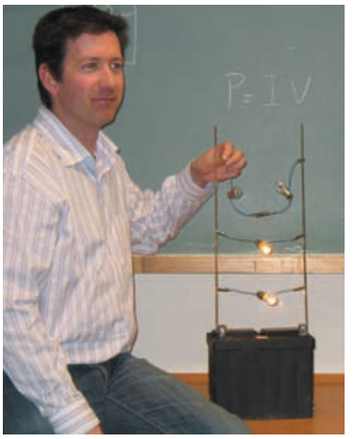
1 . إذا احترق أحد المصابيح فإنّ المصابيح الأخرى لا تتأثر. فالتّيّار في كلّ فرع يساوي الفولتية (فرق الجهد) مقسومةً على المقاومة وفق قانون أوم. وبسبب عدم تأثر الجهد أو المقاومة في الفروع الأخرى، فإنّ التّيّار في هذه الفروع لا يتأثر أيضًا. ويتناقص التّيّار الكليّ في الدائرة (التّيّار خلال البطارية)، بكمية تساوي التّيّار المسحوب من المصباح في السؤال قبل احتراقه. ولكن التّيّار في أيّ فرع مفرد لا يتغير.

2 . لا يتغير سطوع أيّ مصباح عند إضافة مصابيح أخرى (أو إزالتها). ولكن ما يتغير فقط هو المقاومة الكلية، والتّيّار الإجمالي في الدائرة الكلية، أي أنّ التّيّار في البطارية هو الذي يتغير. (البطارية لها مقاومة أيضًا، ونفترض أنها مهملة هنا.) عند إدخال مصباح، يتوافر مسار جديد بين طرفي البطارية، وهو يقلل فعليًّا المقاومة الكلية للدائرة. ويصاحب تناقص المقاومة هذا زيادة في التّيّار، وهي الزيادة نفسها التي تغذي طاقة المصابيح عند إدخالها. وعلى الرغم من أنّ التغيير في المقاومة والتّيّار يحدث للدائرة كلّها، فإنّه لا يحدث تغيير في أيّ فرع مفرد في الدائرة.

الحمل الزّائد ودوائر التوازي

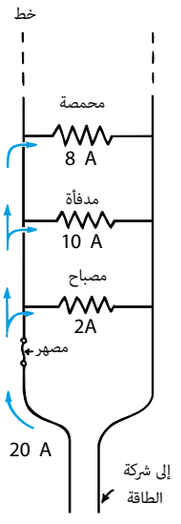
تزود المنازل بالكهرباء عادة عن طريق سلكين يسميان *الخطّين*. وتكون مقاومة هذين الخطين منخفضة، وتتصل مع المخارج في الجدران في كلّ غرفة، وأحيانًا من خلال دارتين أو أكثر من الدوائر المنفصلة. ويطبق عليهما جهد كهربائي نحو 110 إلى 120 فولت متناوبًا (ac) عبر هذه الخطوط من محول في الجوار. (المحول كما سنرى في الفصل القادم، هو جهاز يخفض الجهد العالي الذي يصلنا من محطة القوى). عند توصيل أجهزة أكثر إلى الدائرة، تنتج مسارات جديدة للتيار. وهذا يخفض المقاومة الكلية للدائرة. لذا يزيد التّيّار الساري فيها، والتي تسبب مشكلة أحيانًا. ويقال للدوائر التي يسري فيها تيار أعلى من الكمية الآمنة إنّها ذات *حمولة زائدة*.

يمكننا رؤية الحمولة الزائدة تحصل في الشّكل 32.8. خط التزويد موصول بمحمصة تسحب 8 أمبير، ومصباح يسحب 2 أمبير، ومدفأة تسحب 10 أمبير، ومصباح آخر يسحب 2 أمبير. عند تشغيل المحمصة فقط والتي تسحب 8 أمبير، فإنّ التّيّار الكلي للخط هو 8 أمبير. ولكن عند تشغيل المدفأة أيضًا، فسيكون التّيّار الكلي للخط 18 أمبير (8 أمبير للمحمصة و10 أمبير للمدفأة). إذا أنرت المصباح، ازداد تيار الخط ليصبح 20 أمبير. وعند إضافة جهاز آخر، فإنّ التّيّار يزيد أكثر. كما أنّ توصيل أجهزة أخرى للدائرة نفسها ينتج تسخينًا زائدًا في الأسلاك، مما قد يسبب حريقًا.



الشّكل 31.8
مدرس الفيزياء دافيد David من نيوزلندا، يدرس الدائرة المتوازية بربط المصابيح لأطراف ممتدة عبر البطارية المشتركة. طلب إلى تلاميذه التنبؤ بالسّطوع النسبيّ لمصباحين متماثلين في سلك واحد على وشك أن يوصلهما على التوازي.

ينتقل التّيّار في الدوائر الموازية في المسار الأقلّ مقاومة – ولكن ليس بالكامل. ينتقل جزء منه في كلّ مسار.



الشّكل 32.8
مخطط دائرة للأدوات المنزلية.

الطّاقة الكهربائيّة والتكنولوجيا

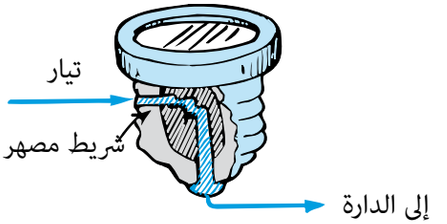
حاول أن تتخيل الحياة اليومية في منزل قبل اختراع الطّاقة الكهربائيّة. فكّر في منزل من دون إنارة كهربائية، وثلاجات، وتدفئة، وأنظمة تبريد، وهواتف، ومذياع، وجهاز تلفاز. وقد نكون أكثر رومانسية دون هذه الأشياء، ولكن إذا أغفلنا العديد من ساعات النهار الشاقة المخصصة للغسل، والطهو، وتدفئة المنازل. وعلينا أن نتغاضى أيضًا عن صعوبة الوصول إلى طبيب في أوقات الطوارئ قبل اختراع الهاتف، حينما كان كلّ ما في حقيبة الطبيب الأسبرين، وحبوب السكر، والمسهلات. وعندما كان معدل موت الأطفال مذهلا.

لقد ألفنا فوائد التكنولوجيا حتى أصبحنا غير منتبهين لاعتمادنا في وجودنا على السّدود، ومحطات الطّاقة، والمواصلات العامة، والكهرباء، والطب الحديث، والعلوم الزراعية الحديثة. وعندما نستمتع بوجبة جيدة، فإننا لا نفكر كثيرا في التكنولوجيا التي بذلت في نموها، وحصادها، وتجهيز الطعام على المائدة. كما أننا عندما نشغل الضّوء، فإننا لا نجهد تفكيرنا كثيرًا في السّيطرة المركزية لشبكة القوى التي توصل محطات القوى البعيدة بخطوط نقل طويلة. فهذه الخطوط تعمل كقوة إنتاج للصناعة، والنقل، وكهربة الحضارة. إنّ أيّ فرد يفكر في العلم والتكنولوجيا دون أخذ الأبعاد الإنسانية في الحسبان يكون قد فشل في التقاط الطرق التي جعلت حياتنا أكثر إنسانية.

منصهرات الأمان

لمنع حدوث حمولة زائدة في الدوائر؛ توصل المنصهرات على التوالي على امتداد خط التزويد. وبهذه الطريقة، فإنّ التّيّار الكلّيّ للخطّ يجب أن يمرّ من خلال المنصهر. يبنى المنصهر المبين في الشّكل 33.8 من سلك شريطيّ، يسخن وينصهر عند تيار معين. إذا صنّف المنصهر عند 20 أمبير، فإنه يمرر 20 أمبير فقط. ولكن إذا زاد التّيّار على ذلك، فإنه يذيب المنصهر "ويحرقه" ويقطع الدائرة. قبل تبديل المنصهر المحروق، يجب معرفة السّبب في الحمولة الزائدة ومعالجته. أحيانًا، تتلف العازلات التي تفصل الأسلاك في الدائرة وتسمح للأسلاك بالتماس. وتقلّل بشكل كبير من المقاومة في الدائرة، وهذا ما يسمى *قصر الدائرة*.

وفي المباني الحديثة، حلّت الآن كاسرات الدائرة التي تستخدم مغانط وأشرطة ثنائية الفلز لفتح الدائرة عندما يكون التّيّار أعلى مما يجب، بدلا من المنصهرات. وتستخدم شركات التزويد كاسرات الدائرة لحماية خطوطها حتى تصل إلى المولدات.



الشّكل 33.8
مصهر أمان.

يمكن أن تبرهن أنّ شيئا ما غير آمن، ولكن لا يمكنك أبدًا إثبات أنّ شيئًا ما آمن تمامًا.

10.8 القدرة الكهربائيّة

إنّ الشّحنات المتحركة في التّيّار الكهربائيّ تبذل شغلًا. قد يُسخّن دائرة، أو يُدير محركًا على سبيل المثال لا الحصر. إنّ معدّلَ بذل الشّغل – أي معدل تحويل الطّاقة الكهربائيّة إلى أشكال أخرى، مثل الطّاقة الميكانيكية، والحرارة، أو الضوء – يسمى القدرةَ الكهربائيّة. وهذه القدرة الكهربائيّة تساوي حاصل ضرب التّيّار في الجهد.*

القدرة = التّيّار × الجهد

إذا عُبِّر عن الجهد بالفولت والتّيّار بالأمبير، فإنه يُعبَّر عن القدرة بالواط. وهكذا، يعبّر على صورة وحدات كما يلي:

الواط = الأمبير × الفولت

إذا كان مصباح من فئة 120 واط يشتغل على خط 120 فولت، فيمكن حساب أنه يسحب تيارًا مقداره 1 أمبير (120 واط = 1 أمبير × 120 فولت). إنّ مصباح 60 واط يسحب 0.5 أمبير على خط 120 فولت.

الشّكل 34.8
الكهربائيّ ديف هيويت Dave Hewitt مع منصهر أمان وكاسر دائرة. إنه يفضل المنصهرات القديمة، والتي يجدها أكثر وثوقًا.

* تذكر من الفصل الرابع أنّ القدرة = الشغل / الزمن. 1 واط = 1 جول/ ثانية. لاحظ أنّ وحدات القدرة الميكانيكية تتطابق مع القدرة الكهربائيّة (يقاس الشغل والطّاقة بوحدات الجول):
القدرة = الشّحنة / الزمن × الطّاقة / الشّحنة = الطّاقة / الزمن

حساب العلوم الطّبيعيّة

■ حلّ المسألة

مسألة 1

إذا حدّد خط 120 فولت إلى مقبس بـ 15 أمبير لمنصهر أمان، فهل يمكن تشغيل مجفّف شعر بـ 1200 واط؟

الحلّ:

نعم. من التعبير: الواط = الأمبير × الفولت، يمكننا حساب التّيّار = (1200 واط / 120 فولت) = 10 أمبير. لذا يمكن أن يعمل مجفف الشعر عند وصله في الدائرة. ولكن إذا شُغّل مجففان للشعر فسوف يحترق المنصهر.

مسألة 2

بسعر 30 قرشًا / للكيلو واط – ساعة، ما تكلفة تشغيل مجفف شعر 1200 واط لمدة ساعة؟

الحلّ:

1200 واط = 1.2 كيلو واط. 1.2 كيلو واط × 1 ساعة × 30 قرشًا/ 1 كيلو واط ساعة = 36 قرشا.

ويمكن أن تصبح العلاقة عملية أكثر إذا رغبت في معرفة تكلفة الطّاقة الكهربائيّة، والتي غالبًا ما تكون جزءًا من الدولار لكلّ كيلو واط – ساعة، ويعتمد ذلك على الدولة. الكيلو واط هو 1000 واط. ويمثل الكيلو واط – ساعة مقدار الطّاقة المستهلكة في ساعة بمعدل 1 كيلو واط.* وهكذا، في بلد حيث تكون تكلفة الطّاقة الكهربائيّة 25 قرشًا/كيلو واط – ساعة، فإنّ مصباحا كهربائيًّا 100 واط يمكن تشغيله لمدة عشر ساعات بتكلفة 25 قرشًا.

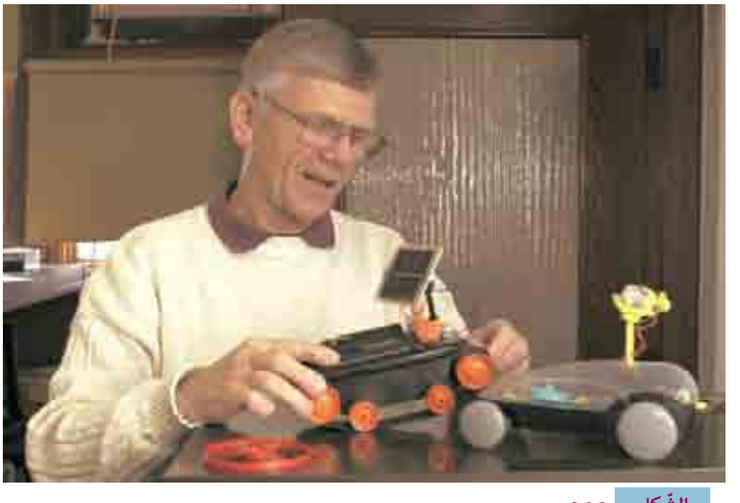
والمحمصة أو المكواة، التي تسحب تيارًا أكثر، ومن ثم طاقة أكثر، تكلّف 10 أضعاف لتشغيل أيّ منهما.

الشّكل 35.8

تقرأ القدرة والجهد على مصباح الإنارة "100 واط، 120 فولت". هل له 100 واط، أم هل يستخدم 100 واط عند إضاءته؟ كم عدد وحدات الأمبير التي تسري خلاله عند إضاءته؟

لمعلوماتك

■ يعتمد سطوع المصباح على مقدار الطّاقة التي يستخدمها، أي على كمية الكهرباء المتحولة إلى حرارة في الثانية. فمصباح التنجستن الذي يستهلك 100 واط هو أشدّ سطوعًا من ذلك الذي يستهلك 60 واط. ولهذا السبب، يعتقد الكثير من الناس خطأً أنّ الواط هو وحدة السطوع، ولكنه ليس كذلك. فـ 13-واط لمصباح فلوري هو لامع بمقدار المصباح التقليدي ذي 60- واط. هل هذا يعني أنّ المصباح التقليدي يفقد الكهرباء؟ نعم. تستخدم الطّاقة الكهربائيّة الإضافية المستخدمة في تسخين المصباح. ولهذا، فإنّ مصابيح التنجستن هي أسخن عند لمسها من المصابيح الفلورية التي تساويها في السّطوع.



الشّكل 36.8

يحصد روي Roy الطّاقة الشّمسيّة لإنتاج الكهرباء، والتي بدورها تشغل عربات تجريب.

لمعلوماتك

■ يستعمل قلبك أكثر من 1 واط بقليل لضخّ الدم خلال جسمك.

* لأنّ القدرة = الطّاقة / الزمن. وبترتيب بسيط، فإنّ الطّاقة = القدرة × الزمن. وهكذا يمكن التعبير عن الطّاقة بوحدات كيلو واط – ساعة.

العلاج المغناطيسيّ*

بالعودة إلى القرن الثّامن عشر، جلب المغنط الشهير فرانز مسمر (Franz Mesmer) مغانطه إلى باريس، وعين نفسه طبيبًا في المجتمع الباريسي. لقد كان يعالج المرضى بالتّلويح بالعصا المغناطيسية فوق رؤوسهم.

في تلك الفترة، كان بنيامين فرانكلين، المرجع الأول عالميًّا في الكهرباء، وكان يزور باريس بصفته سفيرًا للولايات المتحدة. لقد شك بنيامين أنّ مرضى مسمر استفادوا من طقوسه، ولكنه جنَّبهم العمليات الجراحية المميتة للأطباء الآخرين. وبإلحاح من المؤسسة الطبية، عين الملك لويس السّادس عشر لجنة ملكية لفحص مزاعم مسمر. وضمت اللجنة فرانكلين وأنتوني لافويسير (Lavoisier) مؤسس الكيمياء الحديثة. صمّم أعضاء اللجنة سلسلة من الاختبارات لدراسة استجابة بعض الأشخاص الذين يعتقدون أنهم يتلقون معالجة مسمر، وهم لا يتلقونها حقيقة، وآخرون يتلقون العلاج، ولكنهم أعطوا انطباعًا بأنهم لا يتلقونه. لقد أثبتت نتائج هذه التجارب الزائفة دون أدنى شك أنّ نجاح مسمر راجع إلى قوة الإيحاء فقط. وحتى اليوم، فإنّ هذا التقرير هو نموذج للوضوح والمنطق. لقد تلاشت سمعة مسمر وانتقصت، وتقاعد في النمسا.

والآن، وبعد مرور مئتي سنة، ومع تزايد المعرفة في المغناطيسية وعلم التشريح، فإنّ المدافعين عن المغناطيسية لديهم أتباع كثر، ولكن دون وجود لجنة حكومية من فرانكلين ولا فويسير تتحدى مزاعمهم.

إنّ العلاج المغناطيسي بديل غير مجرب، ولا ضوابط له. ولكن صرّح لهم رسميًّا بذلك من قبل الكونجرس في عام 1992.

وعلى الرغم من تعدّد الشهادات حول فوائد المغانط، فليس هناك أيّ دليل علميّ مهم كان يؤكد أنّ المغانط تعزز طاقة الجسم في مقاومة الأوجاع والآلام. ومع ذلك تباع ملايين المغانط العلاجية في المخازن أو بالكتالوجات (البيانات المصورة)، حيث يشتري الزبائن الأساور المغناطيسية، والضّبّانات، ومرابط الرسغ، وأحزمة الظهر، والرقبة والوسائد، والفرشات، وأحمر الشفاه، وحتى الماء، ويقال لهم إنّ للمغانط تأثيرًا قويًّا في الأجسام، وخصوصًا أنّها تزيد من تدفق الدم إلى مناطق الألم. إنّ فكرة انجذاب الدم للمغناطيس هي هراء؛ لأنّ نوع الحديد الموجود في الدم لا يستجيب للمجال المغناطيسي. والأكثر من ذلك أنّ معظم المغانط العلاجية هي من نوع مغانط الثلاجة، ذات المدى المحدود جدًّا. لتأخذ فكرة عن سرعة انحلال مجال هذه المغانط، انظر إلى عدد الأوراق التي يستطيع أحد هذه المغانط تثبيتها على الثلاجة أو على سطح حديدي. يسقط المغناطيس بعد وضع عدة صفحات من الورق تفصله عن السطح الحديدي؛ لأنّ المجال لا يمتد إلى أكثر من مسافة ملمتر واحد. ولا يستطيع اختراق الجلد، دعك عن العضلات. وحتى لو استطاع ذلك، فليس هناك دليل علمي أنّ للمغناطيس أيّ آثار مفيدة في الجسم. ومرة أخرى، فإنّ الشهادات العلمية هي موضوع آخر.

بعض الادعاء الخيالي يحمل أحيانًا بعض الحقيقة فيه. فمثلًا، عملية الفصد في القرون الماضية كان لها بعض الفوائد بنسبة مئوية بسيطة للرجال. حيث إنّ هؤلاء الرجال يعانون من مرض وراثي (hemochromatosis)، وهو الزّيادة في حديد الدم. أما النساء، فهنّ أقلّ عرضة لهذا المرض بسبب الطّمث. وعلى الرّغم من أنّ عدد الرجال الذين استفادوا من عملية الفصد قليل، إلا أنّ الشهادات بنجاحها أدت إلى انتشار ممارستها، ولكنها أودت بحياة الكثير منهم.

لا يوجد هناك ادعاء مهمّ مهما كان خياليًّا لا يوجد إثباتات لدعمه. فالادعاءات بأنّ الأرض مسطحة، والادعاءات بوجود الصّحون الطائرة هي غير ضارة، ويمكن أن تدهشنا. وبالمثل، فإنّ العلاج المغناطيسي لا يضر بالعديد من المعتلين جسديًّا، ولكنه ليس لعلاج التشوهات الخطيرة، كما أنّه ليس بديلا للطب الحديث. يمكن أن يشجع العلم الزائف بقصد الخداع، أو نتيجة نقص ما، أو مجرد أمانيّ. ومع ذلك، فإنّ العلم الزائف يشكل تجارة رائجة؛ فسوق المعالجة المغناطيسية وغيرها من الأشياء غير المنطقية واسع الانتشار.

وعلى العلماء أن يبقوا منفتحي العقل، وأن يكونوا مستعدين لتقبل الاكتشافات الجديدة، مع استعدادهم للتحدي بالأدلة الجديدة. ولكن على العلماء أيضًا مسؤولية لإعلام المجتمع عندما يخدع، وفي الواقع، حين يسلبون من قبل الدّجالين الذين يدعون دون إثبات.

---

* بتصرف من: علم الودونية: "الطريق من الحماقة إلى الاحتيال" لروبرت بارك، مطبوعات جامعة أكسفورد 2000
Voodoo Science: the Road From Foolishness To Fraud, by Robert L. Park, Oxford University Press, 2000.

ملخّص المصطلحات

قانون كولوم Coulomb's law: العلاقة بين كلّ من القوة الكهربائيّة والشّحنة والمسافة: إذا كانت الشّحنات متشابهة في النوع، فالقوة تنافر، أما إذا كانت الشّحنات مختلفة فتكون القوة جاذبًا.

كولوم Coulomb: الوحدة العالمية (SI) للشحنة الكهربائيّة. كولوم واحد (الرمز C) يساوي في القيمة مجموع شحنات 6.25×10^{18} إلكترون.

مستقطب كهربائيًا Electrically polarized: يطلق على الذرة (أو الجزيء) التي تترتب الشّحنات فيها بحيث يكون أحد الجوانب مشحونًا بشحنة فائضة موجبة، في حين يكون الجانب الآخر ذا شحنة إضافية سالبة.

المجال الكهربائيّ Electric field: هو القوة لوحدة الشّحنة، ويمكن اعتباره هالة نشطة محيطة بالأجسام المشحونة. يتناقص المجال مع المسافة حول نقطة مشحونة بحسب قانون التربيع العكسيّ، مثل المجال الجذبي. يكون المجال الكهربائيّ منتظمًا بين الصفائح المتوازية المشحونة بشحنتين متعاكستين.

طاقة الوضع الكهربائيّة Electric potential energy: الطّاقة التي تمتلكها الشّحنة نتيجة موقعها في المجال الكهربائيّ.

الجهد الكهربائيّ Electric potential: طاقة الوضع الكهربائيّة لكلّ كمية الشّحنة، وتقاس بالفولت، وتسمّى، غالبًا، الجهدَ.

الموصل Conductor: أيّ مادة لها جسيمات حرّة مشحونة تنساب من خلالها بسهولة عندما تؤثر فيها قوة كهربائيّة.

فرق الجهد Potential difference: الفرق في الجهد بين نقطتين. يقاس بالفولت ويسمّى، عادة، فرقَ الجهد.

التّيّار الكهربائيّ Electric current: انسياب الشّحنة الكهربائيّة التي تنقل الطّاقة من موقع إلى آخر.

الأمبير Ampere: وحدة التّيّار الكهربائيّ، معدل سريان شحنة كهربائية بمقدار 1 كولوم في الثّانية.

التّيّار المستمر Direct current (dc): التّيّار الكهربائيّ الذي يسري في اتجاه واحد فقط.

التّيّار المتناوب Alternating current (ac): التّيّار الكهربائيّ الذي يعيد تغيير اتجاهه، تهتز الشّحنات الكهربائيّة حول نقاط ثابتة. معدل الاهتزاز في الولايات المتحدة هو 60 هرتز.

المقاومة الكهربائيّة Electrical resistance: صفة المادة التي تقاوم سريان التّيّار الكهربائيّ من خلالها. وتقاس بالأوم (Ω).

الموصل الفائق Superconductor: أيّ مادة تنعدم فيها المقاومة الكهربائيّة، حيث تسري الإلكترونات فيها دون فقدان طاقة، ودون توليد حرارة.

قانون أوم Ohm's law: يتغير التّيّار في الدائرة الكهربائيّة بتناسب مباشر مع فرق الجهد وعكسيًّا مع المقاومة:

التّيّار = الجهد / المقاومة

ينتج تيار مقداره 1 أمبير عندما يؤثّر فرق جهد مقداره 1 فولت عبر مقاومة مقدارها 1 أوم.

دائرة التّوالي Series circuit: دائرة كهربائيّة بأجهزة موصلة بطريقة يسري فيها التّيّار الكهربائيّ نفسه خلال كلّ جهاز.

دائرة التّوازي Parallel circuit: دائرة كهربائيّة تتكوّن من جهازين أو أكثر، موصولين بطريقة يتساوى فيها فرق الجهد المؤثر في أيّ منهما، أو على أيّ جهاز يكمل الدائرة باستقلالية.

القدرة الكهربائيّة Electric power: معدل انتقال الطّاقة، أو معدل بذل الشّغل، كمية الطّاقة لوحدة الزمن، والتي يمكن قياسها بحاصل ضرب التّيّار × الجهد:

القدرة = التّيّار × الجهد

وتقاس بالواط (أو الكيلو واط)، حيث 1 أمبير × 1 فولت = 1 واط.

أسئلة مراجعة

1.8 الشّحنة الكهربائيّة

1. أي أجزاء الذّرة موجب الشّحنة، وأيها سالب الشّحنة؟
2. كيف تقارن شحنة إلكترون بشحنة إلكترون آخر؟
3. كيف تقارن كتل الإلكترونات بكتل البروتونات؟
4. عادة، كيف تقارن عدد البروتونات في النواة الذرية بعدد الإلكترونات التي تدور حول النواة؟
5. ما نوع الشّحنة التي يمتلكها جسم عندما تنزع إلكترونات منه؟
6. ما المقصود بقولنا: إنّ الشّحنة محفوظة؟

2.8 قانون كولوم

7. ما أوجه الشبه والاختلاف بين قانوني كولوم ونيوتن في الجاذبية؟
8. كيف تقارن شحنة مقدارها 1 كولوم بشحنة إلكترون مفرد؟
9. كيف تتغير مقدار القوة الكهربائيّة بين زوج من الجسيمات المشحونة عندما تبتعد الجسيمات بعضها عن بعضها بمقدار الضعف، وبمقدار ثلاثة أضعاف المسافة التي كانت بينهما؟
10. كيف يختلف جسم مستقطب كهربائيًّا عن جسم مشحون كهربائيًّا؟

3.8 المجال الكهربائيّ

11. أعط مثالين على مجالات القوى المألوفة.
12. كيف تعرف اتجاه المجال الكهربائيّ؟

4.8 الجهد الكهربائيّ

13. ميز بين طاقة الوضع الكهربائيّ وفرق الجهد من خلال الوحدات التي تقاس بها كلّ منهما.

14. يمكن شحن بالون بسهولة بعدة آلاف من وحدات الفولت. هل هذا يعني أنه يحتوي على طاقة بعدة آلاف من وحدات الجول؟ فسِّر.

5.8 مصادر الجهد

15. ما الشّرط اللازم لإدامة انسياب الشّحنة الكهربائيّة خلال وسط موصل؟
16. ما كمية الطّاقة التي تعطى لكلّ شحنة مقدارها كولوم عند مرورها خلال بطارية فرق الجهد بين طرفيها -6 فولت؟

6.8 التّيار الكهربائيّ

17. هل تنساب الشّحنة الكهربائيّة عبر الدائرة أم من خلالها؟ هل ينساب الجهد عبر الدائرة أم يؤثر (يُسلط) عبر الدائرة؟ فسِّر.
18. ميِّز بين الـ dc والـ ac: المستمر والمتناوب.
19. ما الذي تنتجه البطارية: dc أم ac؟ وما الذي ينتجه المولد في محطة القوى: dc أم ac؟

7.8 المقاومة الكهربائيّة

20. أيّ السّلكين له مقاومة أكبر: السميك أم الرفيع. علمًا بأنّ لهما الطول نفسه؟
21. ما وحدة المقاومة الكهربائيّة؟

8.8 قانون أوم

22. ما الأثر في التّيار خلال دائرة لها مقاومة ثابتة عند مضاعفة الجهد؟ ماذا لو تضاعف الجهد والمقاومة معًا؟
23. أيهما له مقاومة أكبر: الجليد المبلول أم الجاف؟
24. ما دور الشّعبة الثّالثة في القابس لجهاز كهربائيّ؟
25. ما مصدر الإلكترونات التي تعمل صدمة عندما تلمس موصلا مشحونًا؟

9.8 الدوائر الكهربائيّة

26. في دائرة مكونة من مصباحين موصلين على التّوالي. إذا كان التّيار في أحدهما 1 أمبير. فما التّيار في المصباح الآخر؟
27. إذا أثرت 6 فولت عبر دائرة في المسألة 26. وكان فرق الجهد عبر المصباح الأول هو 2 فولت. فما فرق الجهد عبر المصباح الثّاني؟
28. كيف تقارن التّيار الكلّيّ عبر الفروع في الدائرة المتوازية مع التّيار عبر مصدر الجهد؟
29. تفتح خطوط خدمة أخرى في مطاعم الوجبات السّريعة. وتقل المقاومة لحركة الناس الذين يحاولون شراء الوجبات. كيف تقارن هذا بما يحدث عندما تزيد الفروع المتوازية في الدائرة؟

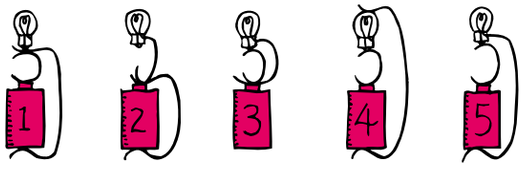
10.8 القدرة الكهربائيّة

30. ما العلاقة بين كلّ من القدرة الكهربائيّة، والتّيار، والجهد؟

مسائل

□ مبتدئ ■ متوسط المعرفة □ خبير

1. □ عندما تمشط شعرك، فإنّ الإلكترونات تنبعث منه وتذهب إلى المشط. هل يصبح شعرك موجبًا أم سالب الشّحنة؟ وماذا عن المشط؟
2. □ عند دلك مادة بأخرى، تقفز الإلكترونات بسهولة من الأولى إلى الثانية، ولكن لا تقفز البروتونات. ما السبب في ذلك؟ (فكّر في المصطلحات الذرية.)
3. □ لو كانت الإلكترونات موجبة والبروتونات سالبة، فهل يكتب قانون كولوم بالطريقة نفسها، أم بطريقة أخرى؟
4. □ تتنافر خمسة آلاف بليون بليون إلكترون الحرة في قطعة النقد، بعضها مع بعض. لماذا لا تنبعث هذه الإلكترونات مغادرة قطعة النقد؟
5. □ تؤثر شحنتان متساويتان بقوة إحداهما في الأخرى. كيف تقارن القوتين اللتين تؤثران بها كل واحدة في الأخرى؟
6. □ كيف تقارن مقدار القوة الكهربائيّة بالشّحنة الكهربائيّة بين زوج من الجسيمات المشحونة عندما تقترب إحداهما من الأخرى لتصبح المسافة بينهما نصف المسافة الأصلية؟ وإلى $\frac{1}{4}$ المسافة الأصلية؟ وإلى أربعة أضعاف المسافة الأصلية؟ (ما القانون الذي يرشدك إلى الإجابة؟).
7. □ افترض أنّ شدة المجال الكهربائيّ حول شحنة نقطية معزولة لها قيمة معينة على بعد 1م. كيف تقارن شدة المجال الكهربائيّ على بعد 2م من الشّحنة النقطية؟ ما القانون الذي تسترشد به؟
8. □ لماذا يكون الموصل الجيد للكهرباء موصلًا جيدًا للحرارة أيضًا؟
9. □ إذا بذلت شغلا بمقدار 10 جول لدفع 1 كولوم من الشّحنة مقابل مجال كهربائي، فما الجهد بالنسبة إلى موقع البدء؟ وعند إطلاقها، ما طاقتها الحركية إذا تخطت موقع البدء؟
10. □ ما الجهد عند موقع شحنة مقدارها 0.0001 كولوم، والتي لها طاقة وضع كهربائية تساوي 0.5 جول (كلّ من الجهد والوضع نسبيّ بالنسبة إلى النقطة المرجعية)؟
11. □ ماذا يحدث لسطوع ضوء ينبعث من مصباح عند زيادة التّيار فيه؟
12. □ يقول معلمك: إنّ الأمبير والفولت في الحقيقة قياس للشيء نفسه، ولكن المصطلحات المختلفة تؤدي إلى لبس في المفهوم الواحد. لِمَ عليك البحث عن معلم آخر؟
13. □ في أيّ الدوائر أدناه يوجد تيار لإنارة المصباح؟



14. □ هل ينساب تيار خارج من البطارية أكثر من الداخل إليها؟ هل ينساب تيار إلى المصباح أكثر من التّيار الخارج عنه؟ فسِّر.
15. □ أحيانًا تسمع أحدهم يقول إنّ أداة معينة "تستهلك" كهرباء. ما الذي تستهلكه الأداة في الحقيقة ؟ وماذا ينتج عنه؟
16. □ يتكون جهاز كشف الكذب البسيط من دائرة كهربائية، أحد أجزائها جزء من جسمك، مثل الدائرة التي توصل أحد أصابعك بإصبع

أخرى. يبين جهاز حساس التّيّار الذي يسري عند تطبيق جهد صغير. كيف تدل هذه الآلة على أنّ الشخص يكذب؟ (وكيف تدل على أنّ الشّخص صادق؟)

17. تتحول نسبة مئوية قليلة فقط من الطّاقة الكهربائيّة التي تغذي المصباح العادي إلى ضوء. ولكن، ماذا يحدث لما بقي منها؟

18. أيّ المصباحين يسحب تيارًا أكثر: المصباح ذي الفتيلة السميكة أم المصباح ذي الفتيلة الرفيعة؟

19. هل التّيّار في المصباح الموصول بمصدر 220 فولت أكبر من التّيّار في المصباح الموصول بمصدر 110 فولت أم أقلّ ؟ فسّر.

20. أيهما يحدث ضررًا أقلّ: وصل أداة 110 فولت بدائرة لها مصدر 220 فولت، أم أداة 220 فولت بدائرة لها مصدر 110 فولت؟ فسّر.

21. إذا سرى تيار شدته 0.1 أو 0.2 أمبير في إحدى يديك إلى الأخرى، فإنّه سيقضي عليك على الأغلب. ولكن إذا سرى التّيّار نفسه في يديك وخرج إلى مرفق اليد نفسها، فإنّك ستنجو على الأغلب. ومع ذلك يمكن أن يكون التّيّار عاليًا بما يكفي لحرق أنسجتك. فسّر.

22. ما التّيّار الذي تتوقع إيجاده في فتيلة مصباح منزلك: dc أم ac؟ ماذا عن المصباح الأمامي للسيارة؟

23. هل المصابيح الأمامية في السيارة موصولة على التّوازي أم على التّوالي؟ ما دليلك؟

24. ما الوحدة المماثلة لـ: أ- جول لكلّ كولوم؟ ب- كولوم لكلّ ثانية؟ ج- واط – ثانية؟

25. لوصل زوج من المقاومات بحيث تكون مقاومتهما المكافئة أكبر من أيّ منهما، هل يجب وصلهما على التّوالي أم على التّوازي؟

26. لوصل زوج من المقاومات بحيث تكون مقاومتهما المكافئة أقلّ من أيّ منهما، هل يجب وصلهما على التّوالي أم على التّوازي؟

27. يقول صديق: إنّ البطارية ليست مصدرًا للتيار الثابت، ولكنها مصدر لجهد ثابت. هل تتفق معه أم تختلف؟ لماذا؟

28. يقول صديق: إنّ إضافة مصباح على التّوالي في دائرة يضع عقبات أكثر لانسياب الشّحنة، لذا يكون هناك تيار أقلّ مع مصابيح أكثر. ولكن إضافة مصابيح على التوازي يزيد من عدد المسارات، وعليه، يمكن انسياب تيار أكبر. هل تتفق معه أم تختلف؟ لماذا؟

29. قدِّر عدد الإلكترونات التي تزود بها شركة الكهرباء المنازل سنويًّا في مدينة عادية يقطنها 50,000 نسمة.

30. إذا انسابت الإلكترونات ببطء شديد في الدائرة، فلِمَ لا يمرّ وقت ملحوظ قبل أن يتوهّج المصباح عندما تشغل مفتاحًا بعيدًا؟

31. افترض زوجًا من المصابيح موصولة ببطارية. أيّ التّوصيلين يعطي توهّج سطوع أكثر: التّوالي أم التّوازي؟ أيّ التوصيلين يسرّع في نفاد البطارية: التّوالي أم التّوازي؟

32. ■ كاشف الشّحنة جهاز بسيط يتكوّن من كرة فلزّيّة متصلة مع موصل برقاقتين فلزّيّتيْن ومحمية من الهواء داخل قارورة، كما هو في الشّكل. عند لمس الكرة بجسم مشحون تنفرج الأوراق التي تكون معلقة بشكل مستقيم. لماذا؟ (كاشف الشّحنة مفيد ليس ككاشف للشحنة فقط، ولكن أيضًا لقياس مقدارها: كلما زاد مقدار الشّحنة المنتقلة إلى الكرة، زاد انفراج الورقتين).

33. ■ تنطبق ورقتا المكشاف الكهربائيّ المشحون في الوقت نفسه. وتنطبق بسرعة أكبر عند ارتفاعات عالية. لِمَ يعدّ هذا صحيحًا؟ (مساعدة: لقد استدل على وجود الإشعاعات الكونية بهذه الملاحظة.)

34. ■ بدقة، أيّ الكتلتين لقطعتي نقد أكبر: المشحونة بشحنة سالبة، أم المشحونة بشحنة موجبة؟ فسّر.

35. ■ عند حَرك سيارة إلى حجرة الدهان، ينتثر رذاذ من الدّهان حولها. وعند تعريض جسم السيارة لشحنة كهربائية فجأة، ينجذب رذاذ الدهان للجسم بسرعة. تدهن السّيارة بسرعة وبانتظام. ما علاقة ظاهرة الاستقطاب بهذا؟

36. ■ إذا وضعت إلكترونًا وبروتونًا حرّين في المجال الكهربائيّ نفسه، فكيف تقارن: 1- القوى المؤثرة فيهما؟ 2- تسارعهما؟ 3- اتجاه انتقالهما؟

37. ■ أحد أنظمة الماء هو خرطوم ريّ الحديقة الذي يُسقى به. وهناك نظام آخر هو نظام تبريد السيارة. أيهما يقابل سلوكُه سلوكَ الدائرة الكهربائيّة؟ ولماذا؟

38. ■ هل صحيح القول إنّ طاقة بطارية السّيارة تأتي في النهاية من خزان غاز الوقود؟ دافع عن إجابتك.

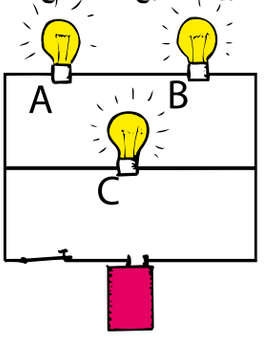
39. ■ لسلك نحاس طوله ميل واحد مقاومة مقدارها Ω 10. ما مقاومة السّلك الجديدة عند: (أ) تقصيره إلى النصف؟ (ب) ثنيه واستخدامه كسلك واحد بنصف الطول وضعف مساحة المقطع العرضي؟

40. ■ تبدد الأضواء الأمامية في سيارة 40 واط على الضوء المنخفض، و50 واط على الضوء العالي. هل هناك مقاومة أكثر أم أقلّ في فتيلة الضّوء العالي؟

41. ■ لماذا يمكن أخذ مدى الجناحين للطيور في الحسبان في تحديد الفراغ بين الأسلاك المتوازية في أقطاب خطوط القوى؟

42. ■ إذا وصلت مصابيح على التّوالي لبطارية، فقد تشعر بسخونة عند لمسهما حتى لو لم يكن التوهج مرئيًا. ما تفسيرك؟

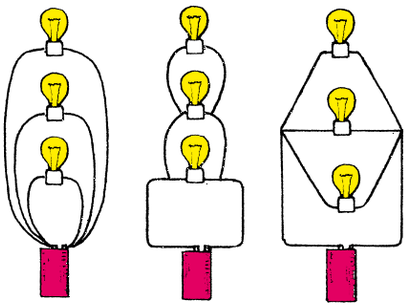
43. ■ في الدائرة المبينة، كيف تقارن سطوع المصابيح المتماثلة؟ أيّ المصابيح يسحب تيارًا أكثر؟



44. ■ عند وصل مزيد من المصابيح على التّوالي إلى بطارية مصباح، فماذا يحدث لسطوع كلّ مصباح؟ افترض أنّ الحرارة داخل البطارية

مهملة. فماذا يحدث لسطوع كلّ مصباح عند توصيل مزيد من المصابيح على التّوازي؟

45. ■ هل هذه الدوائر متكافئة؟ اذكر السّبب إذا كان الجواب بالنفي أو بالإيجاب.



46. ■ للبطارية مقاومة داخلية. فإذا ازداد التّيّار الذي تزودنا به فإنّ الجهد الذي تزودنا به ينخفض. فإذا كان العديد من المصابيح موصولة على التوازي عبر بطارية فهل يضعف سطوعها؟ فسِّر.

47. ■ يقول صديقك: إنّ التّيّار الكهربائيّ يسلك المسار الأقلّ مقاومة. لماذا يكون أكثر دقة في حالة الدائرة المتوازية القول: إنّ معظم التّيّار ينتقل عبر المسار الأقلّ مقاومة؟

48. □ إذا وُصل مصباحان 60 واط و100 واط في دائرة على التّوالي. فعبر أيّ مصباح يكون انخفاض الجهد أكبر؟ وماذا لو كانا موصولين على التّوازي؟

مسائل

□ مبتدئ ■ متوسط المعرفة □ خبير

1. □ كريتان، شحنة كلّ منهما 1 ميكروكولوم (كولوم)، والمسافة بينهما 3 سم (0.03 م). بيّن أنّ القوة الكهربائيّة بينهما هي 10 نيوتن.

2. □ شحنتان نقطيتان تفصلهما مسافة 6 سم. فإذا علمت أنّ قوة التجاذب بينهما 20 نيوتن. فبيّن أنه إذا أصبح البعد بينهما 12 سم، فستصبح القوة بينهما 5 نيوتن. (لماذا يمكن أن تحلّ هذه المسألة دون معرفة مقدار الشّحنات؟).

3. □ إذا كانت الشّحنات المتجاذبة في السّؤال السّابق متساوية في القيمة، فبين أنّ قيمة كلّ شحنة هي 2.8 ميكروكولوم.

4. □ تحمل قطرة صغيرة جدًا حبر في طابعة تحمل شحنة مقدارها 1.6×10^{-10} C كولوم، وتنفث على الورقة بقوة مقدارها 3.2×10^{-4} N. نيوتن. بيّن أنّ شدة المجال الكهربائيّ اللازم للحصول على هذه القوة $2x10^{6}$ هو نيوتن/كولوم.

5. □ عندما يَبذُل مجالٌ كهربائيّ شغلًا بمقدار 12 جول على شحنة مقدارها 0.0001 كولوم، (أ) بيّن أنّ مقدار فرق الجهد هو 120,000 فولت. (ب) عندما يؤثر المجال نفسه بشغل مقداره 24 جول في شحنة مقدارها 0.0002 كولوم، فبين أنّ فرق الجهد هو نفسه.

6. ■ يعطى التّيّار الناتج في دائرة كهربائية بجهد V فولت ومقاومته R، بقانون أوم، $I = V/R$. بيّن أنّ المقاومة في دائرة كهربائية يسري فيها تيار مقداره I أمبير، وتحت تأثير فرق جهد V يعطى بالمعادلة $R = V/I$.

7. ■ يؤثر الجهد نفسه في كلّ فرع في الدائرة المتوازية. يزود مصدر الجهد تيارًا إجماليًّا I_{total} إلى الدائرة، ويرى مقاومة كهربائية مكافئة R_{eq} في الدائرة. أي أنّ، $V = I_{total} R_{eq}$. والتّيّار الكلي يساوي مجموع التّيّارات داخل كلّ فرع في الدائرة الموازية. في الدائرة حيث يكون عدد الفروع، $I_{total} = I_1+I_2+I_3+\ldots+I_n$.
استخدم قانون أوم ($I = V / R$). وبيّن أنّ المقاومة المكافئة لدائرة كهربائية لها عدد n من الفروع يعطى بالعلاقة:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

8. □ إنّ القدرة المسجَّلة على مصباح الإنارة ليست صفة ذاتية للمصباح، ولكنها تعتمد على الجهد الذي توصل به، عادة 110 أو 120 فولت. بيّن أنّ التّيّار في مصباح 60 واط موصول في دائرة بجهد 120 فولت، يساوي 0.5 أمبير.

9. □ أعد ترتيب المعادلة التّيّار= الجهد/ المقاومة، للتعبير عن المقاومة بدلالة التّيّار والجهد. ثم ادرس التالي: جهاز معين بـ 120 فولت كمدخل في دائرة، يمر فيه تيار 20 أمبير. بيّن أنّ مقاومة الجهاز 6 Ω.

10. □ استخدم الصيغة: القدرة= التّيّار× الجهد. وبيّن أنّ التّيّار المسحوب من 1200 واط، مجفف شعر موصول بـ 120 فولت و10 أمبير. ثم استخدم الطريقة نفسها لحلّ المسألة السابقة. وبين كذلك أنّ مقاومة مجفف الشعر 12 Ω.

11. ■ تعطى قدرة دائرة كهربائية بالمعادلة $P = IV$. استخدم قانون أوم للتعويض عن V، وبيّن أنه يمكن التعبير عن القدرة بالمعادلة $P=I^2R$.

12. ■ تعطى الشّحنة الكلية التي يمكن أن تزودها بطارية سيارة دون إعادة شحن بدلالة أمبير× ساعة. بطارية عادية بـ 12 فولت لها معدل سحب 60 أمبير ساعة (60 أمبير لمدة ساعة، 30 أمبير لمدة ساعتين وهكذا). افترض أنك نسيت إطفاء الأضواء الأمامية في سيارتك المتوقفة. إذا كان الضّوء الأماميّ يسحب 3 أمبير، فبيّن أنّ البطارية تنفد بعد 15 ساعة.

13. ■ افترض أنك شغّلت مصباحًا 100 واط باستمرار لمدة أسبوع عندما كان السّعر 20 قرشًا/كيلو واط – ساعة. بيّن أنّ هذا يكلّف 3.36 دولارات.

14. ■ مكواة كهربائية موصولة بمصدر جهد 110 فولت يسحب تيارًا مقداره 9 أمبير. بيّن أنّ الحرارة المتولدة في دقيقة واحدة هي 60 كيلو جول تقريبًا.

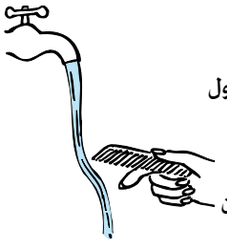
15. ■ للمكواة الكهربائيّة في السّؤال السّابق، بيّن أنّ عدد الإلكترونات التي تسري خلالها في دقيقة هي 540 كولوم.

16. □ مصباح ضوئيّ معيّن مقاومته 95 أوم، مسجل عليه "150 واط". هل يعمل هذا المصباح في دائرة كهربائية بـ 120 فولت، أم في دائرة بـ 220 فولت؟

17. في قدرة التشغيل القصوى تقوم شركات القوى بخفض الجهد؛ لأنّ هذا يوفر عليها طاقة (ويوفر عليك مالا)! ولكي ترى هذا الأثر: ادرس محمصة 1200 واط تسحب تيارًا 10 أمبير عند وصلها بـ 120 فولت. افترض أنه تم خفض الجهد 10% ليصبح 108 فولت. كم ينقص التّيّار؟ كم تنقص القدرة؟ (**تحذير:** إنّ الـ 1200 واط المسجلة صالحة فقط عند تطبيق جهد 120 فولت. وعند تخفيض الجهد، تبقى مقاومة المحمصة هي الثابتة، وليس قدرتها.)

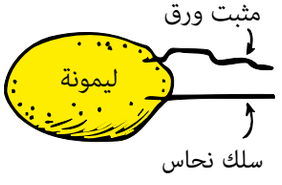
أنشطة استكشافية

1. اكتب رسالة إلى عمك العزيز، وأخبره عن مدى التقدم الذي أحرزته في الفيزياء. تناول معظم المصطلحات في هذا الفصل، وكيف تدرس لتزيد من فهمك. اختر أربعة مصطلحات للمناقشة. اربط هذه المصطلحات بأمثلة عملية.
2. وضّح الشحن بالاحتكاك والتفريغ من مواقع مع صديق يقف في الطرف البعيد على سجادة في الغرفة. سر بحذاء جلديّ على البساط حتى تتقارب أنفاسكما. يمكن أن تشعر بوخزة مريحة. ويعتمد ذلك على كلّ من مدى جفاف الهواء، ومدى تقابل أنفيكما.
3. ادلك المشط بخفة بشعرك أو بثوب من الصّوف، وضعه قريبًا من تيار مائيّ خفيف. هل يصبح التّيّار المائيّ مشحونًا؟ (قبل أن تقول نعم، لاحظ سلوك التّيّار المائيّ عند تقريب شحنة معاكسة منه.)



4. تُصنع الخليّة الكهربائيّة بوضع صفيحتين لهما انجذابات مختلفة للإلكترونات في محلول موصل. يمكنك صنع خلية بسيطة 1.5 فولت بوضع شريط من النّحاس وشريط آخر من الخارصين في كأس ماء مالح. يعتمد جهد الخليّة على كلّ من المواد المستخدمة والمحلول الذي توضع فيه هذه المواد، وليس على حجم الصفيحتين؛ إنّ البطارية سلسلة من الخلايا.

يمكن بناء خلية بسهولة، هي خلية الحامض. ضع مشبك ورق، وقطعة من سلك نحاسيّ في ليمونة. قرب نهايتي السّلكين إحداهما من الأخرى ولكن دون أن يتلامسا، وضع الاثنين على لسانك. إنّ الوخزة الخفيفة التي تشعر بها، وكذلك الطعم الفلزي الذي تتذوقه ينتج عن التّيّار الكهربائيّ المدفوع من خلية الليمون خلال الأسلاك عندما يغلق اللعاب الدائرة على لسانك.



اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيّدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة على الأقل من 10 في هذا الامتحان. وإن لم تستطع ذلك فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى فصل آخر.

اختر الإجابة الأفضل فيما يلي:

1. عندما تمشط شعرك، وتنزع إلكترونات من الشّعر، فإنّ شحنة شعرك تصبح:

أ. موجبة.
ب. سالبة.
ج. كليهما.
د. لا شيء مما ذكر.

2. حسب قانون كولوم، إذا وضع زوج من الجسيمات المشحونة على مسافة تبلغ ضعف المسافة بينهما فإنهما يتأثران:

أ. بقوى أقوى مرتين.
ب. بقوى أقوى أربع مرات.
ج. بنصف القوة.
د. بربع القوة.

3. يحيط المجال الكهربائيّ بـ:

أ. الشّحنة الكهربائيّة جميعها.
ب. الإلكترونات جميعها.
ج. البروتونات جميعها.
د. جميع ما ذكر.

4. عندما تزيد طاقة الوضع لجسيم مشحون فأنت تزيد قدرته على:

أ. عمل شغل.
ب. شحن جسيمات أخرى.
ج. التوصيل.
د. التحوُّل إلى حرارة.

5. مقاومة Ω 10 تحمل تيارًا شدته 10 أمبير. إنّ الجهد عبر المقاومة هو:

أ. صفر.
ب. أكبر من صفر وأقلّ من 10.
ج. 10 فولت.
د. أكثر من 10 فولت.

6. يمكنك لمس مولد فان دي غراف بجهد 10,000 فولت وتفريغه بأذى قليل؛ وذلك لأنه على الرغم من أنّ الجهد عال فإنّ هناك القليل (نسبيًّا) من:

أ المقاومة.
ب. الطّاقة.
ج. جميع ما ذكر.
د. لا شيء مما ذكر.

7. بالمقارنة بالتّيّار في فتيلة مصباح، فإنّ شدة التّيّار في أسلاك التوصيل هي:
أ. بالتأكيد أقلّ.
ب. غالبًا أقلّ.
ج. أكثر.
د. الشيء نفسه.
هـ. بشكل لا يصدّق، جميع ما ذكر.
8. عند وصل مزيد من المصابيح في دارة توالٍ فإنّ التّيّار الإجمالي في مصدر الطّاقة
أ. يزداد.
ب. يتناقص.
ج. يبقى كما هو.
د. لا شيء مما ذكر.
9. عند وصل مزيد من المصابيح في دارة توازٍ، فإنّ التّيّار الإجمالي في مصدر الطّاقة
أ. يزداد.
ب. يتناقص.
ج. يبقى كما هو.
10. معدل استهلاك القدرة في مصباح موصول بمصدر 12 فولت عندما يحمل تيار 1.5 أمبير بالواط هو:
أ. 8.
ب. 12.
ج. 18.
د. لا شيء مما ذكر.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

١ج، ٢ب، ٣ج، ٤ب، ٥ج، ٦ب، ٧د، ٨ب، ٩ب، ١٠ج

الفصل 8 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 8.2، 8.3، 8.9، 8.10، 8.29، 8.30

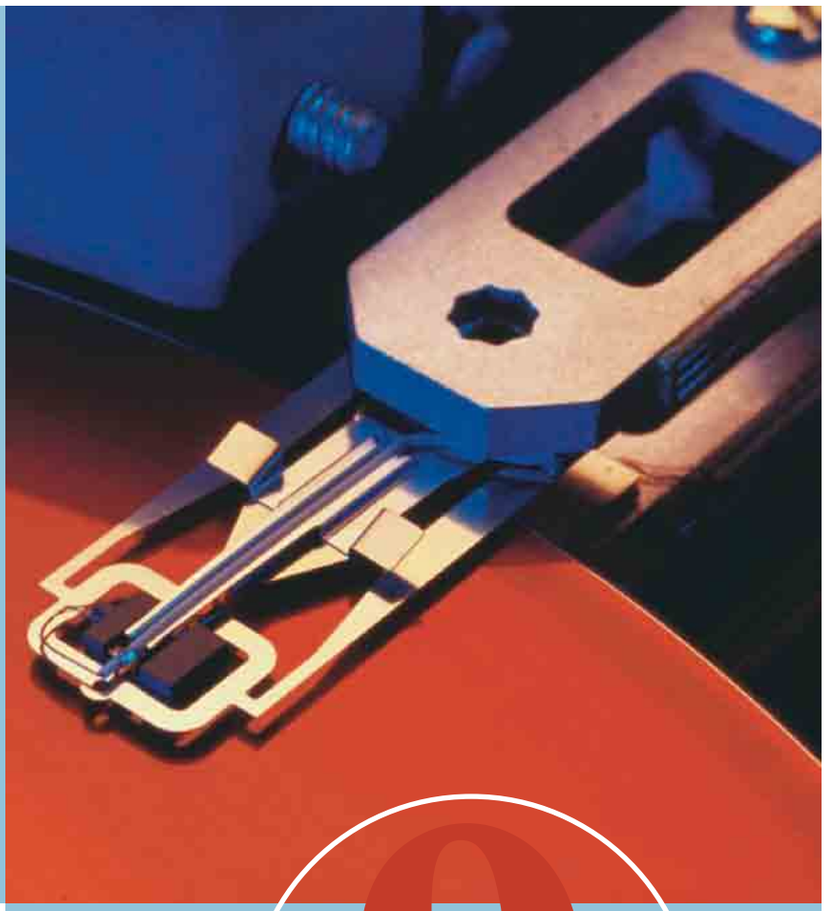
دروس تعليمية

- الكهرباء الساكن (إلكتروستاتيك)
- الكهرباء والدوائر الكهربائية

أشرطة فيديو

- الجهد الكهربائي
- مولد فاند جراف
- الحذر عند التعامل مع الأسلاك الكهربائية
- الطيور وخطوط الضغط العالي
- التيار المتردد
- قانون أوم
- الدوائر الكهربائية

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط



المغناطيسيّة والحثّ الكهرومغناطيسيّ

9

1.9 الأقطاب المغناطيسيّة

2.9 المجالات المغناطيسيّة

3.9 المناطق المغناطيسيّة

4.9 التّيّارات الكهربائيّة والمجالات المغناطيسيّة

5.9 القوى المغناطيسيّة المؤثّرة في الشّحنات المتحرّكة

6.9 الحثّ الكهرومغناطيسيّ

7.9 المولِّدات والتّيّار المتناوب

8.9 إنتاج الطّاقة

9.9 المحوّل؛ رافع أو خافض الجهد

10.9 حثّ المجال

■ اشتق مصطلح *المغناطيسيّة* من كلمة ماغنيسيا، وهو اسم لمدينة قديمة في آسيا الصغرى، حيث وجد اليونان أحجارًا غير عادية قبل نحو 2000 عام تقريبًا. سميت هذه الأحجار بأحجار المغناطيس، ولها خصائص غير عادية في جذب قطع الحديد. لقد كان أول تطبيق لهذه المغانط في صناعة البوصلات التي استخدمت من قبل الملاحين الصّينيين في القرن الثاني عشر بعد الميلاد.

تمكن وليم جلبرت William Gilbert، طبيب الملكة إليزابيث في القرن السّادس عشر، من عمل مغانط صناعية بدلك قطع من الحديد بأحجار مغناطيسيّة، واستنتج أنّ البوصلة تشير دائمًا نحو الشّمال والجنوب؛ لأنّ الأرض نفسها لها خصائص مغناطيسيّة. ولاحقًا في عام 1750م، وجد جون ميتشل John Michell في إنجلترا أنّ الأقطاب المغناطيسيّة تخضع لقانون التّربيع العكسيّ. وقد أكد شارلز كولومْ Charles Coulomb هذه النتيجة.

تطوّر موضوعا المغناطيسيّة والكهرباء باستقلالية أحدهما عن الآخر حتى عام 1820م، عندما اكتشف الفيزيائيّ الدنماركيّ كريستيان أوريستد Christian Oersted، بشرح توضيحي في غرفة الصّف، أنّ البوصلة المغناطيسيّة تتأثر بالتّيّار الكهربائيّ*. لقد بيّن في أثناء شرحه أنّ المغناطيسيّة ترتبط بالكهرباء. وبعدها بفترة بسيطة، اقترح الفيزيائيّ الفرنسي أندريه أمبير Andre Ampere أنّ التّيّارات الكهربائيّة هي مصدر الظواهر المغناطيسيّة جميعها.

في كتاب "الأيام السّالفة" لـ ديك تراسي "Days Gone, Dick Tracy"، وإضافة لتنبئه باختراع الهاتف النّقال، فإنه وصف المستقبل بقوله "من يستطع تطويع المغناطيسيّة يتحكم في العالم".

1.9 الأقطاب المغناطيسيّة

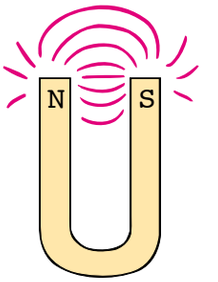
يعرف أيّ شخص يتعامل مع المغانط أنّ بعضها يؤثر في بعض بقوة في بعضها. تشبه **القوّةُ المغناطيسيّة (Magnetic Force)** القوّةَ الكهربائيّة من حيث إنه قدرة المغناطيس على الجذب والتنافر دون لمس (يعتمد على أي طرف مغناطيس يتم تقريبه من الآخر). وتعتمد شدة تفاعله على المسافة بين المغناطيسين. وفي حين تنتج الشّحنات الكهربائيّة قوى كهربائيّة، فإنّ مناطق تسمى الأقطاب المغناطيسيّة تؤدي إلى قوى مغناطيسيّة.

إذا علّقت قضيبًا مغناطيسيًّا من وسطه بخيط، فستحصل على بوصلة. إحدى النهايتين تسمى القطب الباحث عن الشّمال؛ ويشير إلى الشّمال. أمّا النهاية المعاكسة فتسمى القطبَ الباحث عن الجنوب؛ يشير إلى الجنوب. وببساطة أكثر، يسمى هذان القطبان قطبي الشّمال والجنوب. إنّ المغانط جميعها لها قطبان: قطب شماليّ والآخر جنوبيّ (بعضها له أكثر من قطب). لمغانط الثلاجة شرائط رقيقة من الأقطاب الشّماليّة والجنوبيّة المتناوبة. هذه المغانط قوية وقادرة على تثبيت صفحة من الورق على باب الثلاجة. ولكن مداها قصير جدًّا؛ لأنّ القطبين الشّماليّ والجنوبيّ يلغي أحدهما الآخر على مسافة قصيرة من المغناطيس. وفي القضيب المغناطيسيّ البسيط، يكون القطبان عند النهايتين. إنّ المغناطيس المألوف الذي على شكل حذاء فرس هو قضيب مغناطيس مثنيّ على شكل حرف U. ويكون قطباه عند نهايتيه أيضًا.

إذا وضع القطب الشّماليّ لمغناطيس على مقربة من القطب الشّماليّ لمغناطيس آخر، فإنهما يتنافران. والشيء نفسه يحدث عند وضع قطب جنوبيّ بالقرب من قطب جنوبيّ آخر. ولكن إذا قرّبت الأقطاب المختلفة بعضها مع بعض، فسيحدث عندئذٍ تجاذب.**

الأقطاب المتشابهة تتنافر، والمختلفة تتجاذب.

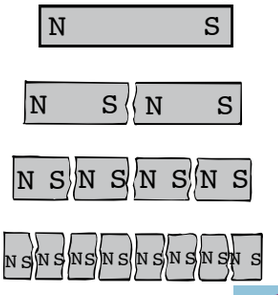
تشبه هذه القاعدة ما للقوى بين الشّحنات الكهربائيّة، والتي فيها تتنافر الشّحنات المتشابهة وتتجاذب الشّحنات المختلفة. إلا أنّ هناك فرقًا مهمًّا جدًّا بين الأقطاب المغناطيسيّة والشّحنات الكهربائيّة. ففي حين توجد شحنات مفردة، لا يوجد أقطاب مغناطيسيّة مفردة في المقابل. إنّ الإلكترونات والبروتونات هي كيانات بذاتها. فلا يلزم مصاحبة مجموعة من البروتونات لمجموعة من الإلكترونات والعكس صحيح. ولكن لا يوجد قطب شماليّ دون قطب جنوبيّ، والعكس صحيح. ويشبه القطبان الشّماليّ والجنوبيّ الصورة والكتابة في قطعة العملة نفسها.



الشّكل 1.9
مغناطيس على شكل حذاء فرس.

لمعلوماتك

من المدهش أن يشير القطب الشّماليّ لمغناطيس نحو الشمال، بسبب انجذابه إلى لقطب المغناطيسيّ الجنوبيّ للأرض! فالقطب المغناطيسيّ الشّماليّ للأرض هو القارة القطبية الجنوبيّة (إنتارتيكا). إنّ الأقطاب الجغرافيـــة والمغناطيســـيّة للأرض لا تتطابق.



الشّكل 2.9
إذا كسرت مغناطيسًا من المنتصف فستحصل على مغناطيسين، لكلّ منهما قطب شماليّ وآخر جنوبيّ. استمر في التكسير إلى المزيد والمزيد من الأجزاء لتستنتج أنّك ستحصل على النتائج نفسها؛ توجد الأقطاب المغناطيسيّة كأزواج.

* يمكننا التكهن فقط حول كم مرة كانت هذه العلاقات واضحة حين "لا يفترض أنها كذلك ورُفضت "كأن خللًا هنا قد حدث في الأدوات". ولكن أوريستد كان ذكيًا بما يكفي لإدراك أن الطبيعة تكشف عن أحد أسرارها.

** تعطى قوة التجاذب بين قطبين مغناطيسيين بـــ $F : \frac{P_1 P_2}{d^2}$. حيث تمثل P_1, P_2 شدة القطبين المغناطيسيّين ويمثل d البعد بينهما. لاحظ التشابه بين هذه العلاقة وقانوني كولوم ونيوتن في الجذب العام.

إذا كسرت قضيبًا مغناطيسيًا إلى قطعتين فانّ كل قطعة تستمر في السّلوك كبوصلة مغناطيسيّة. وإذا كسرت كلّ قطعة إلى نصفين مرة أخرى، فسيصبح عندك أربع بوصلات مغناطيسيّة. يمكنك الاستمرار في تكسير القطع إلى النصف، ولكنك لن تحصل على قطب مفرد، حتى لو أصبحت القطع بسمك الذرة فسيبقى عندك قطبان في كلّ قطعة، وهذا يثبت أنّ الذرات نفسها مغانط.

■ **نقطة فحص**

هل من الضروري أن يكون لكلّ مغناطيس قطبان: شماليّ وجنوبيّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

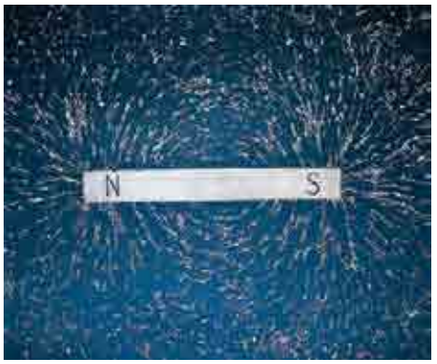
نعم، كما أنّ لكلّ قطعة نقد وجهين: «صورة» و«كتابة» (بعض المغانط لها أكثر من قطبين، ولكن لا يوجد مغناطيس له قطب واحد فقط.)

■ 2.9 المجالات المغناطيسيّة

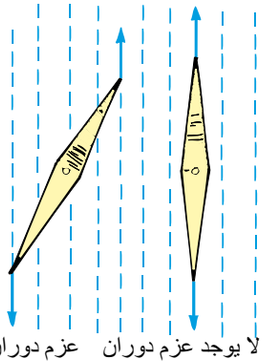
إذا نشرت برادة حديد على صفحة من الورق موضوعة فوق مغناطيس، فسترى آثار البرادة بنمط خطوط حول المغناطيس. يمتلئ الفضاء حول المغناطيس **بالمجال المغناطيسيّ (Magnetic Field)**. تبيّن خطوط المجال المغناطيسيّ المنتشرة من أحد الأقطاب ورجوعها إلى القطب الآخر شكلَ المجال. ومن المفيد مقارنة أنماط المجال في الشّكلين 3.9 و5.9 بأنماط المجال الكهربائيّ في الشّكلين 10.8 و11.8 في الفصل السّابق.

يكون اتجاه المجال خارج المغناطيس، (اصطلاحًا)، من القطب الشّماليّ إلى القطب الجنوبيّ. وحيثما كانت الخطوط متقاربة بعضها من بعض، يكون المجال أقوى. ويمكننا رؤية أنّ شدة المجالات المغناطيسيّة أكبر ما يمكن عند القطبين. إذا وضعنا مغناطيسًا آخر أو بوصلة صغيرة في أيّ مكان في المجال، فإنّ قطبيها يميلان إلى الاصطفاف مع المجال المغناطيسيّ.

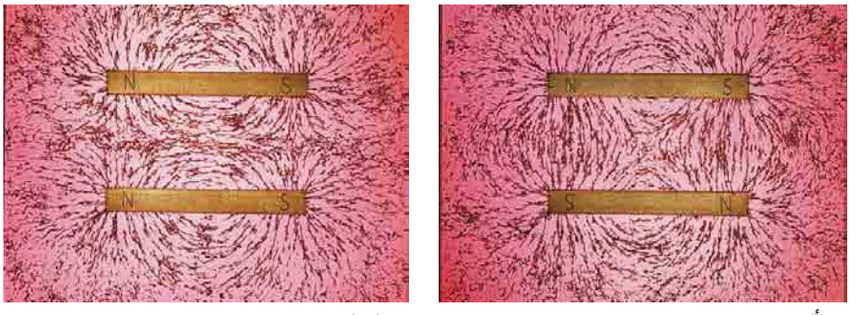
ينتج المجال المغناطيسيّ عن حركة الشّحنة الكهربائيّة*. السؤال إذن: أين هذه الحركة في قضيب مغناطيس عاديّ؟ الجواب: في إلكترونات الذرات المكونة للمغناطيس. تبقى هذه الإلكترونات في حركة دائمة. وهناك نوعان من حركة الإلكترون تنتج مغناطيسيّة هما: 1- برم الإلكترون. 2- دوران الإلكترون.. يصور نموذج علمي مألوف الإلكترونات تبرم حول محورها كالبلبل، حيث تدور حول أنوية ذراتها مثل دوران الكواكب حول الشّمس. وفي معظم المغانط المألوفة، يعدّ برمُ الإلكترون المساهمَ الرئيس في المغناطيسيّة.



الشّكل 3.9
منظر علويّ لبرادة الحديد متناثرة على ورقة فوق مغناطيس. يبين نمط آثار البرادة خطوط المجال المغناطيسيّ في الفضاء المحيط.



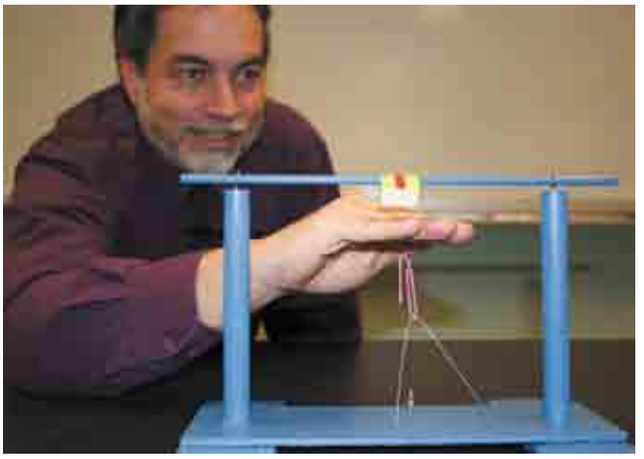
الشّكل 4.9
عندما لا تصطف إبرة البوصلة مع المجال المغناطيسيّ، فإنّ القوى المتعاكسة في الاتجاه تنتج عزم ازدواج يؤدي إلى إدارة البوصلة مع المجال المغناطيسيّ.



(ب) (أ)

الشّكل 5.9
أنماط المجال المغناطيسيّ لزوج من المغانط.
(أ) الأقطاب المختلفة قريبة بعضها من بعض.
(ب) الأقطاب المتشابهة قريبة بعضها من بعض.

* من المدهش، أنه بسبب نسبية الحركة، فإنّ المجال المغناطيسيّ يكون نسبيًّا أيضًا. مثلًا، عندما يتحرك الإلكترون بجانبك، فإنّ هناك مجالًا مغناطيسيًّا محددًا يصاحب حركته. ولكن إذا تحركت بالسرعة نفسها التي للإلكترون، بحيث تنعدم الحركة بالنسبة إليك، فستجد انعدام المجال المغناطيسيّ المصاحب للإلكترون. إنّ المغناطيسيّة نسبية. كما فسرها ابتداء أينشتاين عندما نشر أول بحث عن النظرية الخاصة، "حول الديناميكا الكهربائيّة للأجسام المتحرّكة".



الشّكل 6.9
يبين فريد Fred أنّ المجال المغناطيسيّ لمغناطيس خزفي يخترق النسيج والغلاف البلاستيكيّ فوق ماسك الورق.

لمعلوماتك

تنتج كلّ من الحركتين المغزلية(البرم) والمدارية لكلّ إلكترون في الذرة مجالات مغناطيسيّة. تتحد هذه المجالات بطريقةٍ بنّاءةٍ أو هدّامة لإنتاج المجال المغناطيسيّ للذرة. ويكون هذا المجال أعظم ما يمكن لذرات الحديد. (في الواقع لا تبرم الإلكترونات مثل دوران الكواكب. ولكنها تتصرف كما لو أنها كذلك؛ إنّ مفهوم البرم هو أثر كمّيّ.)

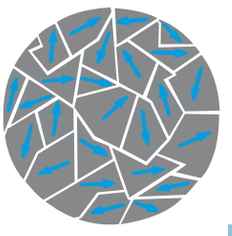
عندما يبرم الإلكترون فإنه يشكل مغناطيسًا ضئيلا. ولكن إذا برم زوج من الإلكترونات في الاتجاه نفسه فسيصنع مغناطيسًا أقوى. أما إذا كان الزّوج من الإلكترونات في اتجاهين متعاكسين. فسيعمل أحدهما ضد الآخر؛ أي يلغيان المجال المغناطيسيّ. ولهذا. تكون معظم المواد غير مغناطيسيّة. في معظم الذرات. تلغي المجالات المتعددة بعضها بعضًا بسبب برم الإلكترونات في اتجاهات متعاكسة. ولكن المواد مثل الحديد. والنيكل. والكوبالت. لا تلغي المجالات بعضها بعضًا بالكامل؛ ففي كلّ ذرة حديد. هناك أربعة إلكترونات لا تلغى مغناطيسيتها الناتجة من البرم. وهكذا. فإنّ معظم المغانط المألوفة. مكونة من سبائك تحتوي على الحديد والنيكل. والكوبالت. والألومنيوم بنسب مختلفة.

إنّ الأجسام الحديدية من حولك ممغنطة بدرجة ما؛ فخزانة الملفات. والثلاجة. وحتى علب الغذاء. جميعها لها قطبان شماليّ وجنوبيّ مستحثان بالمجال المغناطيسيّ الأرضيّ. إذا قربت بوصلة من أسفلها إلى أعلاها. يمكنك بسهولة تحديد أقطابها. (انظر النشاط الاستكشافي 2 في نهاية هذا الفصل. حيث يطلب إليك قلب العلب وملاحظة عدد الأيام التي تمضي حتى تعكس الأقطاب اتجاهاتها.)

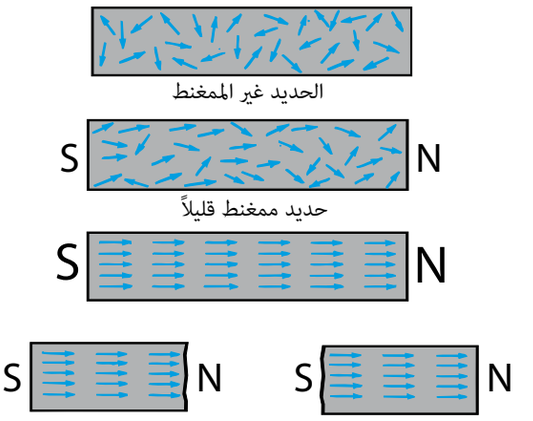
■ 3.9 المناطق المغناطيسيّة

يكون المجال المغناطيسيّ لذرة الحديد المفردة قويًّا جدًّا بحيث تُكوّن التفاعلات بين الذرات المتجاورة عناقيد كبيرة من هذه الذرات تصطف معًا. تسمى عناقيدُ هذه الذرات المصطفة **المناطقَ المغناطيسيّة**. وتكون كلّ منطقة ممغنطة بالكامل. وتتكوّن من بلايين الذرات المصطفة. إنّ هذه المناطق مجهرية (الشّكل 7.9). ويوجد العديد منها في بلورة الحديد.

ليست كلّ قطعة حديد مغناطيسًا؛ لأنّ هذه المناطق في الحديد العادي غير مصطفة. فمثلًا. في مسمار حديد عاديّ. تكون هذه المناطق مبعثرة. ولكن عند تقريب مغناطيس إلى جانبها. فإنّها تستحثّ على الاصطفاف. (من الممتع أن تستمع. بسماعة مكبّر. إلى تك تاك (طقطقة) واصطفاف المناطق في قطعة الحديد عند تقريب مجال مغناطيسي منها.) ترتب المناطق المغناطيسيّة نفسها مثلما تترتب الشّحنات الكهربائيّة في قطعة ورق (تصبح مستقطبة) في وجود قضيب مشحون. عند إبعاد المسمار عن المغناطيس. تتسبب الحركة الحرارية العادية في بعثرة معظم المناطق أو كلّها. والعودة إلى الترتيب العشوائيّ.



الشّكل 7.9
منظر مجهري للمناطق المغناطيسيّة في بلورة حديد. تتكون كلّ منطقة من بلايين ذرات الحديد المصطفة. في هذا المظهر، تبدو اتجاهات المجالات عشوائيّة.



الشّكل 8.9
قطع من الحديد بمراحل متتابعة من المغناطيسيّة، تمثل الأسهم مناطق مغناطيسية، يمثل الرأس القطب الشّماليّ في حين يمثل الذيل القطب الجنوبيّ. الأقطاب المتجاورة يعادل (أو يحيِّد) بعضها آثار بعض ما عدا عند الأطراف.

يمكن صنع مغناطيس دائم بوضع قطع من الحديد أو مواد مغناطيسيّة مشابهة في مجال مغناطيسيّ قويّ. تختلف سبائك الحديد في سهولة مغنطتها؛ فمغنطة الحديد المطاوع مثلًا أسهل من مغنطة الفولاذ. يساعد المجال المغناطيسيّ القويّ في ترتيب الحقول القاسية وجعلها قابلة للاصطفاف. وهناك طريقة أخرى لصنع المغناطيس، وهي دلك المادة بمغناطيس ما، حيث ترتّب حركة الدلك المناطق. إذا سقط المغناطيس الدائم، أو سخن خارج نطاق المجال المغناطيسيّ الذي صُنِع منه، فإنّ بعض المناطق تهتز خارج الاصطفاف، ويصبح المغناطيس أضعف.

لمعلوماتك

يحتوي الشّريط المغناطيسيّ في بطاقة الاعتماد على ملايين المغانط الصغيرة متماسكة معًا بلاصق. وتشفّر البيانات بالنظام الثّنائيّ. كما تميّز الأصفار والآحاد من تردد عكس المناطق.

الشّكل 9.9
يبين واي لي Wai Lee مسامير حديد تصبح مغانط مستحثة.

اختبر معلوماتك

1. لماذا لا يجذب المغناطيس القرش أو قطعة خشبية؟
2. كيف يجذب المغناطيس قطعة حديد غير ممغنطة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

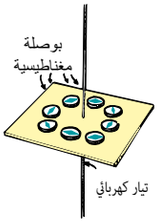
1. لا يحتوي القرش أو قطعة الخشب على أيّ مناطق مغناطيسيّة يمكن صفّها.
2. مثل إبرة البوصلة في الشّكل 4.9. تستحث الحقول في قطعة الحديد غير الممغنطة بالمجال المغناطيسيّ للمغناطيس. ينجذب قطب أحد الحقول إلى المغناطيس، في حين تتنافر أقطاب حقول أخرى. هل هذا يعني أنّ محصلة القوّة هي صفر؟ لا؛ لأنّ القوّة أكبر قليلًا على قطب الحقل الأقرب للمغناطيس من تلك القوى التي للقطب الأبعد. ولهذا تكون المحصلة جذبًا. وبهذه الطريقة يجذب المغناطيس قطع الحديد غير الممغنطة. (الشّكل 9.9).

4.9 التّيّارات الكهربائيّة والمجالات المغناطيسيّة

تنتج الشّحنات الكهربائيّة المتحرّكة مجالًا مغناطيسيًّا، كما ينتجه تيار من الشّحنات . يمكن توضيح المجال المغناطيسيّ المحيط بسلك يحمل تيارًا كهربائيًّا بترتيب العديد من البوصلات حول السّلك (الشّكل 10.9). ويُكوّن المجالُ المغناطيسيّ حول سلك يحمل تيارًا

كهربائيًا نمطًا من الدوائر المتحدة بالمركز. وعند عكس اتجاه التّيّار الكهربائيّ، فإنّ إبر البوصلات تدور إلى الخلف. وهذا دليل على أنّ اتجاه المجال المغناطيسيّ قد تغيّر هو أيضًا*.

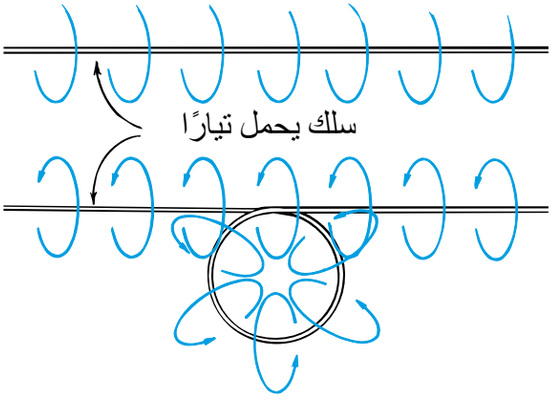
إذا ثني السّلك على شكل حلقة، فإنّ حُزم خطوط المجال المغناطيسيّ تخترق الحلقة كما في الشّكل 11.9. وإذا ثني السّلك ليشكل حلقة أخرى تتطابق مع الأولى، فسيتضاعف تركيز خطوط المجال المغناطيسيّ داخلها. ويتبع ذلك زيادة شدة المجال المغناطيسيّ في المنطقة بزيادة عدد اللفات. إنّ شدة المجال المغناطيسيّ تكون ملموسة لملف يحمل تيارًا كهربائيًّا مكونًا من العديد من الحلقات.



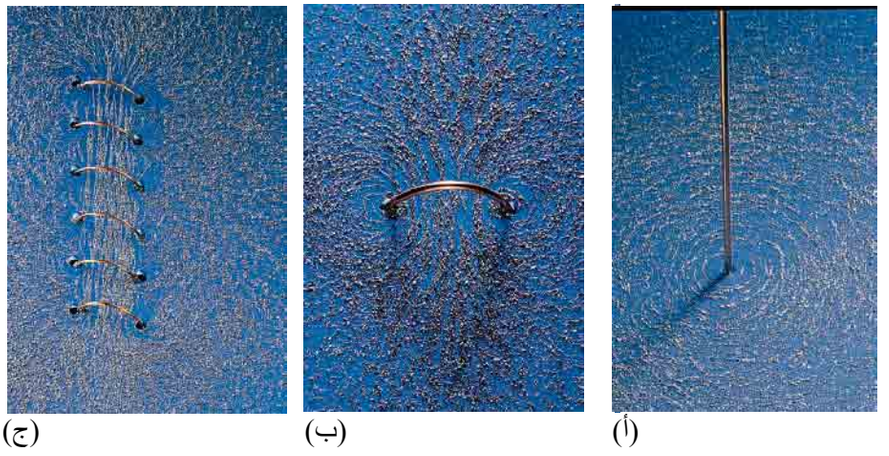
الشّكل 10.9
تظهر البوصلات الشّكل الدائريّ للمجال المغناطيسيّ المحيط بالسّلك الذي يحمل تيارًا.

المغانط الكهربائيّة (Electro Magnets)

إذا وضعت قطعة حديد في ملف سلك يحمل تيّارًا كهربائيًّا، فإنّ اصطفاف المناطق المغناطيسيّة في الحديد ينتج مجالًا مغناطيسيًّا قويًّا خاصًّا يعرف **بالمغناطيس الكهربائيّ**. يمكن زيادة شدة المغناطيس الكهربائيّ، ببساطة، بزيادة التّيّار في الملف. وتستخدم المغانط الكهربائيّة في السيطرة على حزم الجسيمات المشحونة في مسارعات الطّاقات العليا. كما أنها ترفع وتسيّر نماذج معينة من القطارات السّريعة (الشّكل 13.9).



الشّكل 11.9
خطوط المجال المغناطيسيّ حول سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا يصبح معقدًا عندما يثنى السّلك إلى حلقة.



الشّكل 12.9
تكشف برادة الحديد على الورقة هيئة المجال المغناطيسيّ حول: (أ) سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا. (ب) حلقة تحمل تيارًا كهربائيًّا. (ج) ملف حلقات.

* بصورة عامة، تفهم مغناطيسيّة الأرض على أنها نتيجة التّيّارات الكهربائيّة التي تصاحب تيارات الحمل في الأجزاء المنصهرة من باطن الأرض. لقد وجد علماء الأرض دلائل على عكس الأرض لمواقع أقطابها دوريا- حدث أكثر من عشرين انعكاسًا خلال خمسة ملايين سنة مضت. وقد يعود هذا إلى تغيير اتجاه التّيّارات الكهربائيّة داخل الأرض.

تعدّ المغانط الكهربائيّة القوية، والتي تستخدم في رفع السيارات، منظرًا مألوفًا في ساحات الخردة. تعود محدودية هذه المغانط بشكل رئيس إلى الحرارة الزائدة المتولدة في الملفات التي تحمل تيارًا كهربائيًّا. إنّ المغانط الكهربائيّة القوية جدًّا تَستَبدل القلب الحديدي مستخدمة ملفات فائقة الموصليّة وتيارات كهربائيّة عالية تسري في هذه الملفات بسهولة ودون حرارة ملموسة.

المغانط الكهربائيّة فائقة الموصليّة

هناك صفة مدهشة لفائقة الموصليّة الخزفية (الفصل الثّامن). وهي أنها تبعد المجالات المغناطيسيّة إلى خارجها. وبسبب عدم قدرة المجال المغناطيسيّ على اختراق السّطح الفائق التوصيل، فإنّ المغانط ترفع ما فوقها. إنه أحد أكثر التطبيقات إثارة. إنّ المغانط الفائقة الموصليّة لها خاصية رفع القطارات العالية السرعة المستخدمة في المواصلات. لقد تم تجريب نماذج من هذه القطارات في كلّ من الولايات المتحدة، واليابان، وألمانيا. راقب تطوّر هذه التكنولوجيا الجديدة نسبيًا.

الشّكل 13.9

قطار مرفوع مغناطيسيًّا – الطائرة المغناطيس. في حين تهتز القطارات التقليدية عندما تتحرك على السكك عند السّرعات العالية، فإنّ الطائرة المغناطيس تنتقل دون اهتزاز عند هذه السرعات العالية بسبب عدم التماس الفيزيائيّ مع الطريق التي تسير فوقها.

■ 5.9 القوى المغناطيسيّة المؤثّرة في الشّحنات المتحرّكة

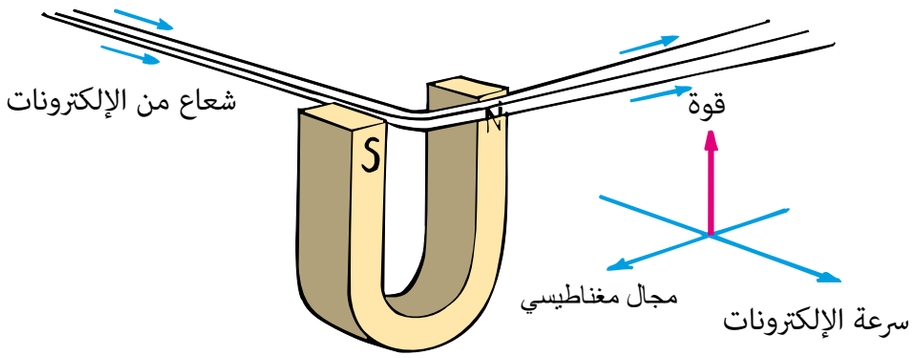
إنّ الجسيمات المشحونة الساكنة لا تتأثر بالمجال المغناطيسيّ السّاكن. ولكن، إذا تحرك الجسيم المشحون في المجال المغناطيسيّ، فإنّ الخاصية المغناطيسيّة للشحنة المتحرّكة تظهر: يتأثر الجسيم المشحون بقوة انحراف كبيرة جدًّا*. وتكون القوّة أعظم عندما يتحرك الجسيم في اتجاه عموديّ على خطوط المجال المغناطيسيّ. أمّا القوّة للزوايا الأخرى فتكون أقل، وتصبح صفرًا عندما يتحرك الجسيم بالتوازي مع خطوط المجال. وفي الأحوال جميعها، يكون اتجاه القوّة عموديًّا دائمًا على خطوط المجال المغناطيسيّ، وعلى سرعة الجسيم المشحون أيضًا (الشّكل 15.9). وهكذا تنحرف الشّحنة المتحرّكة عندما تقطع خطوط المجال المغناطيسيّ، ولكن عندما تنتقل موازية للمجال فعندئذٍ لا يحدث انحراف.

تكون قوة الانحراف هذه مختلفة تمامًا عن القوى الأخرى التي تحدث في التفاعلات الأخرى، مثل قوى الجاذبية بين الكتل، والقوى الكهربائيّة بين الشّحنات، والقوى المغناطيسيّة بين الأقطاب المغناطيسيّة. إنّ القوّة التي تؤثر في جسيم مشحون، كإلكترون في حزمة إلكترونية، لا تعمل مع الخط الواصل مع مصادر التفاعل، بل تؤثّر عموديًا في كلّ من المجال المغناطيسيّ وحزمة الإلكترونات.

إنّنا محظوظون لأنّ الجسيمات المشحونة تنحرف بالمجالات المغناطيسيّة. لقد استخدمت هذه الحقيقة لتوجيه الإلكترونات إلى السّطح الداخلي لأنبوب التّلفاز الابتدائي لإنتاج الصور. وأيضًا تنحرف الجسيمات المشحونة القادمة من الفضاء الخارجي بالمجال المغناطيسيّ الأرضي. ولولاها، لكانت الأشعة الكونية الضارة التي تقصف سطح الأرض أكثر غزارة.

الشّكل 14.9

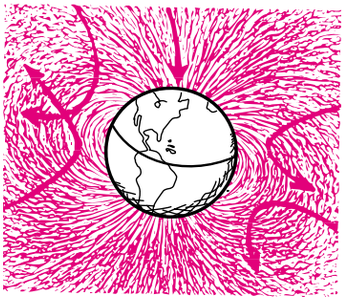
يطفو المغناطيس الدائم فوق فائق الموصليّة بسبب عدم قدرة المجال المغناطيسيّ على اختراق المادة الفائقة الموصليّة.



الشّكل 15.9

ينحرف شعاع من الإلكترونات في المجال المغناطيسيّ.

* عندما تتحرك جسيمات تحمل شحنة كهربائيّة (q) بسرعة (V) عموديًا على مجال مغناطيسيّ شدته B، فإنّ القوّة F على كلّ جسيم هي، ببساطة، حاصل ضرب المتغيّرات الثلاثة: $F = qVB$. وإذا كانت الزوايا غير قائمة، فستكون السّرعة في هذه العلاقة هي مركبة السّرعة العمودية على B.



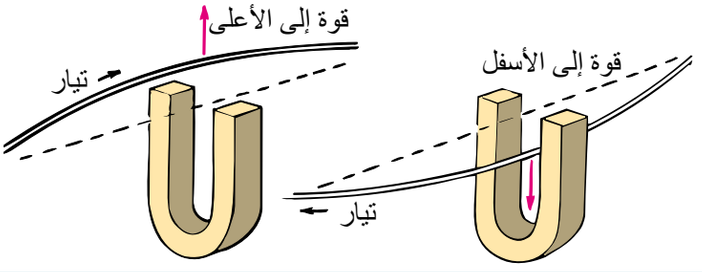
الشّكل 16.9
يحرف المجال المغناطيسيّ للأرض العديد من الجسيمات المشحونة، والتي تشكّل الإشعاع الكونيّ.

القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في أسلاك تحمل تيارًا كهربائيًّا

يشير المنطق البسيط إلى أنه: بما أنّ الجسيم المتحرك المشحون يتعرض لقوة انحراف عند حركته في مجال مغناطيسي، فإنّ السّلك الذي يحمل داخله تيارًا من الجسيمات المشحونة المتحرّكة ينحرف أيضًا (الشّكل 17.9).

وإذا عكسنا اتجاه التّيار فإنّ قوّة الانحراف تؤثر في الاتجاه المعاكس. وتكون القوّة أكبر ما يمكن عندما يكون التّيار متعامدًا على خطوط المجال المغناطيسيّ. لا يكون اتجاه القوّة على امتداد خطوط المجال المغناطيسيّ، ولا على امتداد اتجاه التّيار الكهربائيّ. وتكون القوّة عمودية على كلّ من خطوط المجال والتّيار. إنها قوة جانبية - عمودية على السّلك.

لقد رأينا أنّ السّلك الذي يحمل تيارًا كهربائيًّا يحرف المغناطيس مثل إبرة البوصلة (كما تم اكتشاف ذلك من قبل أورستد في أثناء تدريسه عام 1820). المغناطيس يحرف السّلك الذي يحمل تيارًا كهربائيًّا. لقد كانت هذه الروابط المتنامة بين الكهرباء والمغناطيسيّة عند اكتشافها مثيرة جدًّا. وعلى الفور، بدأ الناس استثمار القوّة الكهرومغناطيسيّة لأغراض مفيدة - بحساسية عالية في مقاييس التّيّارات. وفي المحركات الكهربائيّة كذلك.



الشّكل 17.9
يتأثر السّلك الحامل للتيار بقوة المجال المغناطيسيّ. (هل يمكن رؤية أنّ هذا امتداد بسيط للشكل 15.9؟).

■ نقطة فحص

ما قانون الفيزياء الذي يخبرك أنه إذا أثّر سلك كهربائيّ بقوة في مغناطيس، وجب أن يؤثر المغناطيس بقوة في السّلك الذي يحمل تيارًا كهربائيًّا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

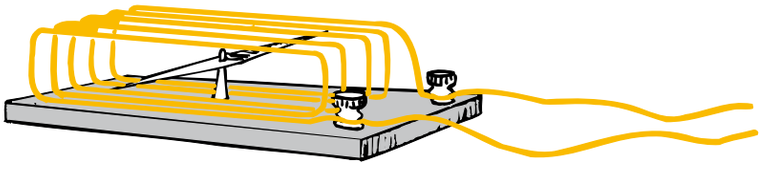
إنّه قانون نيوتن الثالث الذي ينطبق على قوى الطبيعة جميعها.

لمعلوماتك

في المساق المتقدم، سوف تتعلم قاعدة اليد اليمنى «البسيطة».

عدّادات الكهرباء

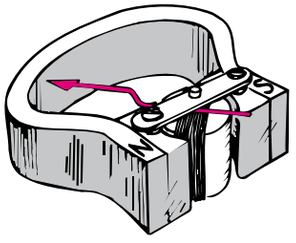
تعدّ البوصلة المغناطيسيّة أبسط عدّاد للكشف عن التّيّار الكهربائيّ. والعدّاد الذي يليه في البساطة هو بوصلة في ملف أسلاك (الشّكل 18.9). عند مرور تيار كهربائيّ عبر الملف، تنتج كلّ حلقة أثرها الخاص في الإبرة. لذا، فإنه يمكن الكشف عن التّيّارات الصّغيرة جدًّا. تسمى مثل هذه الأجهزة الدالة على التّيّار *الجلفانومتر*.



الشّكل 18.9
جلفانومتر بسيط.

الشّكل 19.9
كلّ من الأميتر والفولتمتر في الأصل جلفانومترات. (تصمم المقاومة الكهربائيّة لتكون صغيرة جدًّا في الأميتر وكبيرة جدّا للفولتمتر.)

يبين الشّكل 20.9 تصميمًا مألوفًا: إنه يستعمل حلقات أكثر من الأسلاك. لذا يكون أكثر حساسية. يُثبت الملف على حامل قابل للحركة. أمّا المغناطيس فيكون مستقرًّا. يدور الملف ضد زنبرك. وهكذا، فكلما زاد التّيّار في لفاته، يكون الانحراف أعظم. يمكن معايرة الجلفانومتر لقياس التّيّار (الأمبيرات)، ويسمى في هذه الحالة الأميتر. ويمكن معايرته لقياس الجهد الكهربائيّ (فولتات)، ويسمى في هذه الحالة الفولتمتر*.



الشّكل 20.9
تصميم جلفانومتر عادي.

المحركات الكهربائيّة

إذا عدّلنا تصميم الجلفانومتر قليلًا بحيث يعمل الانحراف دورة كاملة بدلًا من دورة جزئية فسنحصل على *محرك كهربائيّ*. إنّ الفرق الرئيس هو أن يغير تيار المحرك اتجاهه كلما أكمل الملف نصف دورة. ويحدث هذا بطريقة دورية لإنتاج دورة كاملة. وهذه الطريقة تستخدم لتشغيل السّاعات، والأدوات الإلكترونية الصغيرة، ورفع الأحمال الثقيلة.

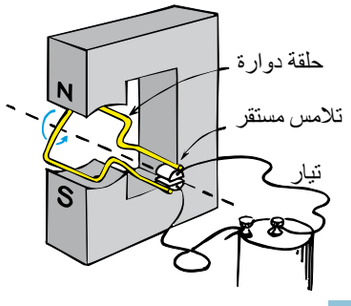
نرى في الشّكل 21.9 إيجازًا بسيطًا لمبدأ المحرك الكهربائيّ. ينتج مغناطيس دائم مجالًا مغناطيسيًّا في المنطقة التي تكون حلقة السّلك على شكل مستطيل، ومثبتة، وتدور حول المحور المبين بخط متقطع. وعند مرور تيار خلال الحلقة، فإنه ينساب في اتجاهين متعاكسين في الجانبين العلوي والسّفليّ للحلقة. (بحيث تنساب خارجة من الطرف الآخر.) إذا أجبر الجزء العلويّ على الدوران إلى اليسار، فإنّ الجزء السّفليّ يجبر على الدوران إلى اليمين، كما لو أنه جلفانومتر. ولكن، بخلاف الجلفانومتر فإنّ التّيّار يعكس اتجاهه كلّ نصف دورة بواسطة نقاط اتصال ثابتة على أسطوانة العمود. وتسمى أجزاء السّلك التي تلامس الوصلات *بالفراشي*. وبهذه الطريقة يتناوب التّيّار في الحلقة، بحيث إنّ القوى في المناطق العليا والسّفلى لا تغيّر اتجاهها عند دوران الحلقة. ويستمر الدوران ما استمر تزويده بالتّيّار.

لقد وصفنا هنا أبسط محرك تيار ثابت. تصنع المحركات الكبيرة سواء كانت ثابتة أو متناوبة عادة بتبديل مغناطيس كهربائيّ بدلًا من المغناطيس الدائم، حيث يزود المغناطيس الكهربائيّ بالطّاقة من مصدر طاقة خارجيّ. وبالطبع، يستخدم أكثر من حلقة. يلّف العديد من حلقات السّلك حول أسطوانة حديدية، تسمى *المحثّ*، والذي يدور عند مرور تيار كهربائيّ في السّلك.

لقد أدى اختراع المحركات الكهربائيّة إلى نهاية معاناة الإنسان والحيوان في العديد من أنحاء العالم؛ لقد غيرت المحركات الكهربائيّة طريقة عيش الإنسان.

لمعلوماتك

لقد سمّي الجلفانومتر بهذا الاسم تكريمًا لـ جلفاني Galvani (1137-1798)، الذي اكتشف في أثناء تشريحه ساق ضفدعة، أنه عند لمس ساقها بفلزات مختلفة فإنها ترتعش. وقد أدى هذا الاكتشاف إلى اختراع الخلية الكيميائية والبطارية. وتذكّر في المرة القادمة حينما تستخدم وعاءً مجلفنًا، جلفاني في مختبره للتشريح.



الشّكل 21.9
محرك بسيط

* تؤثر أجهزة القياس إلى درجة ما في الكمية المراد قياسها- وهذا يتضمن الأميترات والجلفانومترات بسبب وصل الأميتر على التوالي في الدارة التي يقيسها. تصنع مقاومته بحيث تصبح قليلة جدّا. وبهذه الطريقة، لا تنقص قيمة التّيّار الذي يقيسه بقدر كبير. وبسبب توصيل الفولتمتر على التوازي، يُعمل بحيث تكون مقاومته عالية. وبذلك لا يسحب تيارًا كبيرًا لتشغيله. في المختبر، جزء من المقرر الذي ستدرسه، سيكون عن كيفية توصيل هذه الأجهزة بدارات بسيطة على الأرجح.

التّصوير بالرّنين المغناطيسيّ

تزودنا ماسحات التصوير بالرنين المغناطيسيّ الأنسجة داخل الجسم بصور عالية الدقة. تنتج ملفات فائقة الموصليّة مجالا مغناطيسيًّا كبيرًا (يصل إلى 60,000 مرة قدر شدة المجال المغناطيسيّ للأرض) والذي يستخدم لاصطفاف بروتونات ذرات الهيدروجين داخل الجسم المراد تشخيصه.

إنّ للبروتونات خاصية "البرم" كالإلكترونات، بحيث يمكن أن تصطف بالمجال المغناطيسيّ. وعلى النقيض من البوصلة التي تصطف بالمجال المغناطيسيّ للأرض، يتمايل محور البروتون حول المجال المغناطيسيّ المُسلَّط. تضرب البروتونات المتمايلة تموجات راديو مضبوطة حول محور لفّ البروتون إلى الجوانب متعامدة مع المجال المغناطيسيّ المسلط. وعندما تنتهي موجات الراديو، تعود البروتونات بسرعة إلى نمط التمايل، مع إطلاق إشارات كهرومغناطيسيّة ضعيفة، وتعتمد تردداتها قليلًا على البيئة الكيميائية التي توجد فيها البروتونات. تحلل الإشارات الملتقطة بالمجسات بالحاسوب لتكشف كثافات مختلفة من ذرات الهيدروجين في الجسم، وعن تفاعلاتها مع الأنسجة المحيطة. تُميز الصور هذه بوضوح بين المائع، والعظام مثلا.

لقد عُرفت (MRI) ابتداءًا بـ NMRI (التصوير بالرنين المغناطيسيّ النووي)؛ لأنّ أنوية الهيدروجين ترنّ بالمجالات المغناطيسيّة المسلطة. وبسبب خوف الناس من أيّ شيء له اسم نووي، فقد سُميت آلية التشخيص هذه بـ MRI. (قل لأصدقائك إنّ كل ذرة في جسمك تحتوي على نواة!).

لمعلوماتك

يجب عزل حلقات السّلك المتعددة؛ لأنّ حلقات السّلك المعرى حينما تلمس بعضها تقطع الدائرة. لقد ضحت زوجة جوزيف هنري Joseph Henry بفستان الزفاف وهي حزينة من أجل عزل أسلاك المغناطيس الكهربائيّ الأول لهنري.

نقطة فحص

ما الشبه الرئيس بين الجلفانومتر والمحرك الكهربائيّ البسيط؟ وما الاختلاف الرئيس بينهما؟

هل كانت هذه إجابتك؟

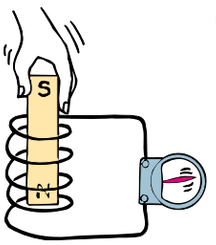
يتشابه الجلفانومتر والمحرك في أنّ كليهما يستخدمان ملفًّا موضوعًا في مجال مغناطيسي. وعندما يمرّ تيار خلال هذه الملفات، فإنّ القوى المؤثّرة في الأسلاك تعمل فتديرها. أمّا الفارق الرّئيس فهو أنّ أقصى دوران للملف نصف دورة، في حين يدور الملف في المحرك (والذي يلفّ حول حامل) عدة دورات كاملة. وينجز هذا بتناوب اتجاه التّيّار في كلّ نصف دورة على الحامل.

6.9 الحثّ الكهرومغناطيسيّ

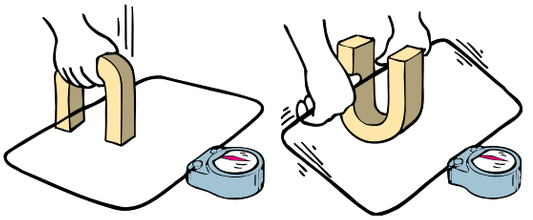
لاحظ أنّ المجال المغناطيسيّ لا ينتج جهد حثّ، بل إنّ التغير في المجال بالنسبة إلى الزمن هو الذي ينتج جهد الحثّ. إذا تغير المجال في حلقة مغلقة، وكانت الحلقة موصلًا كهربائيًّا ما فإنّ كلًّا من الجهد والتّيّار يستحثان.

في بداية القرن التاسع عشر، كانت الأجهزة الوحيدة التي تنتج التّيّار هي الخلايا الفولتية، والتي تنتج تيارات صغيرة بإذابة الفلزات في الأحماض، وقد كانت هذه هي النماذج الأولى للبطاريات الحديثة. ومن ثمَّ برز السّؤال ما إذا كان يمكن إنتاج الكهرباء من المغناطيسيّة. لقد تمت الإجابة عن هذا السؤال من قبل الفيزيائيّيْن، مايكل فارادي في إنجلترا وجوزيف هنري في الولايات المتحدة، حيث عمل كلّ منهما بمعزل عن الآخر. لقد غير اكتشافهما العالم عندما جعلوا الكهرباء مألوفة؛ في تزويد الصناعات بالطّاقة في النهار، وإنارة المدن في الليل.

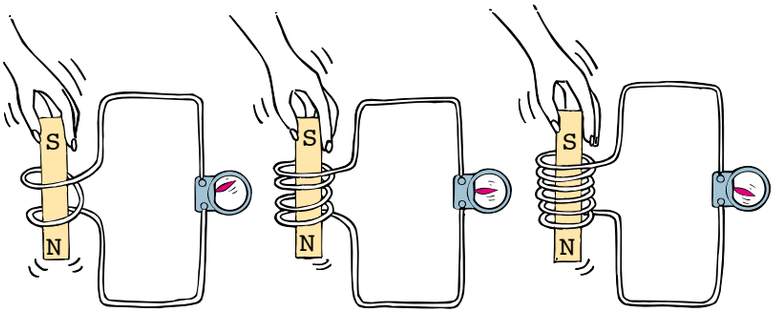
لقد اكتشف كلّ من فارادي وهنري **الحثّ الكهرومغناطيسيّ** – يمكن إنتاج التّيّار الكهربائيّ في سلك ببساطة بتحريك مغناطيس داخل ملف سلك أو خارجه (الشّكل 22.9). وهنا لا يلزم إلى بطارية أو أيّ مصدر جهد؛ فقط حركة مغناطيس في حلقة السّلك. لقد اكتشفا أنّ الجهد مُسْتَحَثّ بالحركة النسبية بين السّلك والمجال المغناطيسيّ. وسواء كان تحرك المجال المغناطيسيّ بالقرب من موصل ساكن أو بالعكس فإنّ جهدًا يستحثّ في كلّ حالة (الشّكل 23.9).



الشّكل 22.9
عند غمس المغناطيس في الملف، فإنّ الشّحنات فيه تبدأ بالحركة، ويُستحثُّ جهدٌ في الملف.



الشّكل 23.9
يستحث جهد في حلقة سلك بغض النظر عن أنّ المجال المغناطيسيّ يتحرك ضمن السّلك، أو أنّ يتحرك السّلك ضمن المجال المغناطيسيّ.



الشّكل 24.9
عند غمس المغناطيس في الملف بضعف عدد اللفات التي في الملف الآخر، يستحث ضعف مقدار الجهد. إذا غمس المغناطيس في ملف له ثلاثة أضعاف عدد اللفات فإنّه يستحث ثلاثة أمثال الجهد.

كلما زاد عدد حلقات السّلك في المجال المغناطيسيّ يكبر المجال المستحث (الشّكل 24.9). إنّ دفع مغناطيس داخل ملف له ضعف عدد الحلقات يستحث ضعف الجهد. كما أنّ دفع المغناطيس لملف له 10 أضعاف الحلقات، يستحث 10 أضعاف الجهد. وهكذا. ويبدو كأننا نحصل على شيء ما (الطّاقة) مقابل لا شيء بزيادة عدد الحلقات في ملف السّلك. ولكننا في الحقيقة لا نحصل على أيّ شيء. كما سنجد أنّ دفع المغناطيس أصعب داخل الملف المصنوع من حلقات أكثر؛ لأنّ الجهد المستحث ينتج تيارًا يصنع بدوره مغناطيسًا كهربائيًا يتنافر مع المغناطيس في يدنا. وهكذا، فنحن نبذل شغلًا ضد "القوّة الراجعة" لحثّ مجال أكبر (الشّكل 25.9).

تعتمد قيمة الجهد المستحث على سرعة دخول خطوط المجال المغناطيسيّ للملف أو خروجها. إنّ الحركة البطيئة جدًّا تنتج مجالًا ضعيفًا جدًّا، أمّا الحركة السريعة فتستحثّ جهدًا كبيرًا.

لمعلوماتك

يُسمّى الملفُّ الحلزونيُّ من السّلك المعزول الطويل اللولبيّ.

قانون فارادي (Faraday's Law)

يُلَخَّص الحثّ الكهرومغناطيسيّ **بقانون فارادي الذي نصّه:**
يتناسب الجهد المستحث في ملف مع عدد لفات الحلقات، مضروبًا في معدل تغيّر المجال المغناطيسيّ ضمن هذه الحلقات.

تعتمد كمية *التّيار* المنتج من الحثّ الكهرومغناطيسيّ على مقاومة الملف ومقاومة الدارة المتصلة به، وكذلك على الجهد المستحث*. فمثلًا، يمكننا إدخال المغناطيس إلى حلقة مطاطية وإخراجه منها وإلى حلقة نحاسية وإخراجه منها أيضًا. ويكون الجهد في كلّ منهما متساويًا بشرط أن يكون للحلقة الحجم نفسه، وأن تكون سرعة حركة المغناطيس هي نفسها كذلك. ولكن يكون التّيّار في كل منهما مختلفًا. وتتأثر الإلكترونات في المطاط بالجهد نفسه، كما في إلكترونات النحاس، ولكن ارتباطها بالذرات الثابتة تمنع حركة الشحنة والتي تكون حرة في النحاس.

الشّكل 25.9
من الصعب دفع المغناطيس في ملف له حلقات كثيرة بسبب مقاومة المجال المغناطيسيّ في حلقة تيار لحركة المغناطيس.

* يعتمد التّيّار أيضًا على حثّ الملف. تقيس المحاثة ميل الملف لمقاومة التغير في التّيّار بسبب أنّ المغناطيسيّة المنتجة جزء من الملف يعاكس التغير في التّيّار في الأجزاء الأخرى من الملف: في دارات التّيّار المتناوب (ac) يقابل المقاومة في دارات التّيّار الثابت. لتقليل عبء "زخم المعلومات". لن نناقش المحاثة في هذا الكتاب.

الشّكل 26.9

لواقط القيثارة هي ملفات صغيرة في وجود مغناطيس داخلها. تمغنط المغانط أوتارَ الفولاذ. عند اهتزازها ، يستحث جهد في الملفات ثم تكبر بالمضخم، ثم ينتج الصوت من المتكلم.

■ **نقطة فحص**

إذا دفعت مغناطيسًا داخل ملف، كما في الشّكل 25.9، فستشعر بمقاومة لدفعك. لماذا تكون المقاومة لهذا الدفع أكبر في ملفّ عدد حلقاته أكبر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ببساطة، يتطلب بذل جهد أكبر للحصول على طاقة أكبر. ويمكنك النظر إليها بالطريقة التالية: عندما تدفع المغناطيس داخل ملف، فأنت تستحث تيارًا كهربائيًّا، وتتسبب في جعل الملف مغناطيسًا كهربائيًّا. فكلما زاد عدد الحلقات، ازدادت شدة المغناطيس الكهربائيّ، وكذلك ستزداد شدة الدفع المقابل لدفعك - (إذا جذب ملف المغناطيس الكهربائيّ مغناطيسك بدلًا من تنافره معه، فإنّ طاقة تتولّد من العدم، ويُنقض قانون حفظ الطّاقة في هذه الحالة. وهكذا فإنه يجب أن يتنافر المغناطيس مع الملف).

لقد ذكرنا طريقتين يستحثّ بهما الجهد في حلقة سلك، هما: 1- تحريك الحلقة بالقرب من مغناطيس. 2- تحريك المغناطيس بالقرب من حلقة. وهناك طريقة ثالثة هي تغيير التّيّار في ملف مجاور. ولهذه الحالات جميعها الخاصية الأساسية نفسها: مجال مغناطيسي متغير في حلقة.

نحن نرى الحثّ الكهرومغناطيسيّ من حولنا: فعلى الطريق، نراه يعمل عندما تتحرك سيارة فوق ملفات سلك مطمورة لتنشيط الإشارة الضَّوئيّة المجاورة: فعندما يمر حديد السيارة فوق الملفات المطمورة، يتغير لون إشارة السير الضَّوئيّة. وبالمثل، حينما تمشي تحت الملفات الموجودة في أعلى نظام أمني في المطارات، فإنّ أيّ فلزّ تحمله يحدث تغيرًا بسيطًا في المجال المغناطيسيّ في هذه الملفات. يستحث هذا التّغيّر جهدًا، يستدعي إطلاق صوت المنبه. كما أنّه عندما يمسح الشّريط المغناطيسيّ الموجود خلف بطاقة الاعتماد، تستحث نبضات جهد تحدد هوية البطاقة. وهذا ما يحدث تقريبًا لرأس التسجيل في الشّريط. حيث تحسّ الحقول المغناطيسيّة في هذا الشّريط عندما يتحرك متخطيًّا ملفًا يحمل تيارًا كهربائيًّا. يسري الحثّ المغناطيسيّ عامًا في المشغلات الصلبة في الحاسوب. وفي العديد من الأجهزة. كما سنرى قريبًا، إنها أساس الأمواج الكهرومغناطيسيّة التي تُسمّى ضَوءًا.

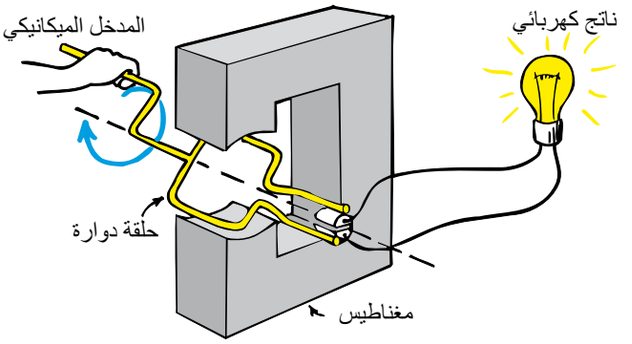
الشّكل 27.9

عندما تزود جين Jean الملف الكبير بطاقة (ac)، يتولد مجال مغناطيسي متناوب في قضيب الحديد، ومن ثم خلال الحلقة الفلزية التي تنتج بدورها مجالها المغناطيسيّ، والتي تؤثر دائمًا في اتجاه يعاكس المجال الذي ينتجها. وتكون النتيجة تنافرًا متبادلًا؛ ارتفاعًا في الهواء.

■ 7.9 المولّدات والتّيّار المتناوب

عند غمس مغناطيس بتكرار داخل ملف سلك وخارجه، يتناوب اتجاه الجهد المستحث. وعند ازدياد شدة المجال المغناطيسيّ داخل ملف (عند إدخال المغناطيس)، فإنّ المجال المستحث يكون في اتجاه معين. أمّا عندما تتلاشى شدة المجال المغناطيسيّ (عند إخراج المغناطيس)، فإنّ اتجاه المجال المستحث يكون في الاتجاه المعاكس. ويكون تردد الجهد المتناوب المستحث مساويًا لتردد المجال المغناطيسيّ المتغير ضمن الحلقة.

إنّ تحريك الملف أسهل من تحريك المغناطيس. وينجز هذا بشكل أفضل بإدارة الملف في مجال مغناطيسي مستقر (الشّكل 28.9). ومثل هذا الترتيب يُسمّى **المولّدَ *(Generator)***؛ إنّه يحول الطّاقة الميكانيكيّة إلى طاقة كهربائيّة.

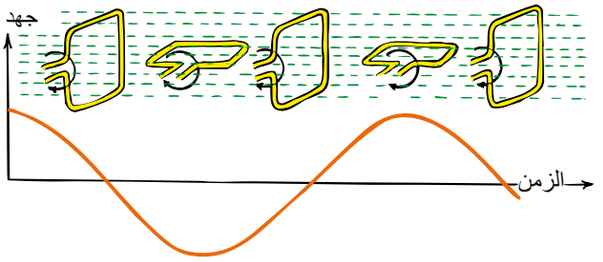


الشّكل 28.9
مولّد بسيط يستحث جهدًا في الحلقة عندما يدار في المجال المغناطيسيّ.

لمعلوماتك

إنّ المحرك والمولّد، في الواقع، هما الجهاز نفسه، مع عكس كلّ من المدخل والمخرج.

وبما أنّ الجهد المستحثّ في المولّد يكون متناوبًا فإنّ التّيار المتولّد يكون متناوبًا أيضًا (a.c). ينتج التّيار المتناوب في المنازل (الولايات المتحدة) بمولدات معايرة بحيث يعمل التّيار 60 دورة كاملة من التغير في المقدار والاتجاه كلّ ثانية (60 هرتز).



الشّكل 29.9
عند إدارة الحلقة، (يتغير مقدار الجهد المستحث واتجاهه (وكذلك التّيار). تنتج دورة كاملة للحلقة دورة كاملة من الجهد (والتّيار).

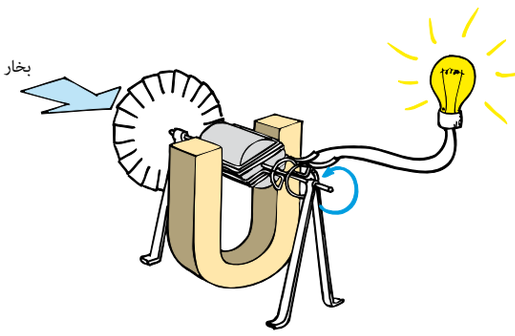
■ 8.9 إنتاج الطّاقة

بعد خمسين سنة من توصّل فارادي وهنري إلى الحث الكهرومغناطيسيّ، وضع نيكولا تسلا Niko-la Tesla وجورج ويستنج هاوس George Westinghouse هذه الاكتشافات في الاستخدام العملي، وأثبتا أنه يمكن توليد الكهرباء بأمان وبكميات كافية لإنارة مدن كاملة.

بنى تسلا مولدات تشبه تلك التي لا تزال تستخدم إلى اليوم، ولكنها أعقد من النماذج البسيطة التي ناقشناها. لمولدات تسلا هياكل مكونة من حزم من أسلاك نحاسية تدور في مجالات مغناطيسيّة قوية بواسطة توربين يعمل بطاقة البخار أو الماء الساقط. تقطع حلقات السّلك الدوّارة المجال المغناطيسيّ للمغانط الكهربائية المحيطة، وبذلك يُستحثّ مجال مغناطيسيًا وتيار متناوبان (ac).

يمكننا النظر إلى هذه العملية من وجهة نظر ذرية. عندما يقطع التّيار السّلك المحثّ الذي يدور خلال المجال المغناطيسيّ، تؤثر قوى كهرومغناطيسيّة متعاكسة في الشّحنات السالبة والموجبة. تُستحث الإلكترونات لهذه القوّة لحظيًّا، وتندفع بسهولة نسبية في اتجاه واحد في شبكيّة بلورة النحاس. تدفع ذرات النحاس، والتي هي في الواقع أيونات موجبة في الاتجاه المعاكس، ولكن الأيونات مثبتة في الشبكيّة، وحركتها محدودة.

قبل 200 عام كان الناس يحصلون على الإنارة من زيت الحوت. يجب أن تكون الحيتان سعيدة لأنّ البشر اكتشفوا الكهرباء!

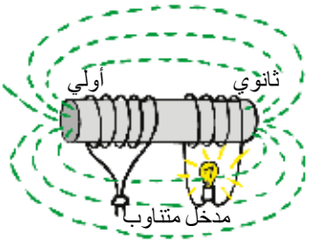


الشّكل 30.9
يشغل البخار التوربين، وهو موصل مع محثّ المولّد.

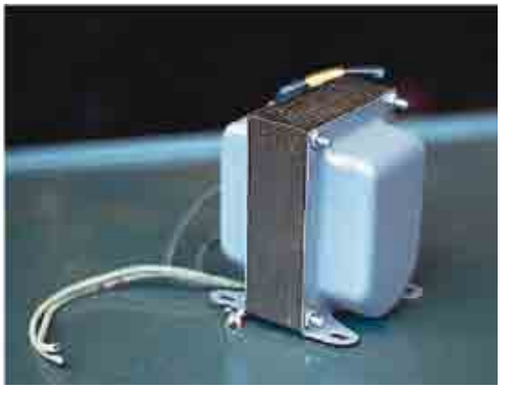
* بوساطة *الفراشي* المصممة بشكل مناسب. يمكن تحويل التّيار المتناوب في الحلقة إلى تيار مستمر. لعمل مولد تيار مستمر (فرك الوصلات مقابل محثّ دوار).

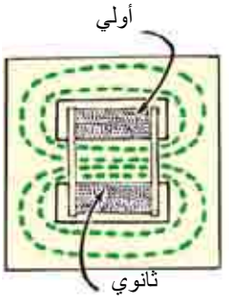
أمّا الإلكترونات فتتحرك بشكل ملموس بعنف ذهابًا وإيابًا بطريقة متناوبة مع كلّ دورة للمحثّ. وتفرغ الطّاقة الناتجة عن هذه الحركة الإلكترونية عند نهاية قطبي المولّد.

ومن المهم أن تعرف أن المولّدات لا تنتج طاقة، بل تحولها من شكل ما إلى طاقة كهربائيّة. كما ناقشنا في الفصل 3، تحول الطّاقة من مصدر ما، سواء كان أحفوريًّا، أو وقودًا نوويًّا، أو رياحًا، أو مياهًا إلى طاقة ميكانيكية لتشغيل التوربين. إنّ المولّد المتصل يحول معظم هذه الطّاقة الميكانيكيّة إلى طاقة كهربائيّة. يعتقد بعض الناس أنّ الكهرباء هي المصدر الأول للطاقة، وهذا ليس صحيحًا، بل إنها ناقلة للطاقة، وتحتاج إلى مصدر كذلك.



الشّكل 31.9
محول بسيط.





الشّكل 32.9
محوّل عملي. كلّ من الملفين الأوليّ والثانويّ ملفوفان على قلب حديد داخلي (الأصفر)، والذي يوجه خطوط المجال المغناطيسيّ المتناوب (أخضر) والمنتجة من الـ ac في الأوليّ. لذا يستحث المجال المتناوب جهدًا في الثانوي. وهكذا تنتقل القدرة من جهد واحد إلى الثانويّ بجهد مختلف.

■ 9.9 المحوّل؛ رافع أو خافض للجهد

عندما يتعرض التغير في المجال المغناطيسيّ لملف سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا من قبل ملف ثانٍ لسلك، فإنه يستحثّ جهدًا في الملف الثّاني. وهذا هو مبدأ **المحوّل *(Transformer)***؛ يتكون جهاز الحثّ الكهرومغناطيسيّ البسيط من ملفّ داخل السّلك (الأوليّ) وملفّ سلك خارجيّ (الثّانويّ). ليس من الضروري أن يتلامس الملفان، وعادة ما يكونان ملفوفين حول قلب حديديّ حتى يمرّر المجال المغناطيسيّ خلال الملفّ الثّانويّ. ويتصل الأوليّ بمصدر جهد متناوب، في حين يتّصل الثانويّ بدارة خارجيّة. تمتد هذه المتغيّرات إلى الثانويّ، ويحدث التغيّر في التّيار الأوليّ تغيرًّا في المجال المغناطيسيّ. وتنتج التغيّرات في التيّار الأوليّ تغيّرات في التّيّار الثانويّ، وبالحثّ الكهرومغناطيسيّ، يستحث جهد في الثانويّ. إذا كان عدد لفات السّلك متساوية في كلا الملفين فإنّ الجهدين الداخل والناتج يتساويان؛ ولا فائدة في ذلك. أما إذا كان عدد لفات الثانويّ أكثر من عدد لفات الابتدائيّ، فإنّ جهدًا أكبر في الثانوي يستحثّ. وهذا هو *محول الرفع*. إذا كان عدد لفات الثانويّ أقلّ من عدد لفات الابتدائيّ فإنّ الجهد المستحث المتناوب في الثانويّ يكون أقلّ من الابتدائيّ. وهذا هو *محول الخفض*.

تكون العلاقة بين الجهدين الابتدائيّ والثانويّ بالنسبة إلى عدد اللفات كما يلي:

جهد الابتدائيّ / عدد لفاتّ الابتدائيّ = جهد الثّانويّ / عدد لفات الثّانويّ

الشّكل 33.9
يُخفض المحوّل العادي 120 فولت إلى 6 فولت أو 9 فولت. كما يحوّل الـ ac إلى dc بواسطة صمام ثنائيّ داخليّ؛ جهاز إلكترونيّ صغير جدًّا يعمل كصمام في اتجاه واحد.

يبدو كأننا حصلنا على شيء دون مقابل مع المحوّل الرافع للجهد. ولكننا في الحقيقة لم نحصل على شيء. عندما يرفع الجهد يكون التّيّار في الثّانويّ أقلّ من التّيّار في الابتدائيّ. وفي الواقع، فإنّ المحوّل ينقل الطّاقة من ملفّ إلى آخر وفقًا لقانون حفظ الطّاقة. إنّ القدرة هي معدل نقل الطّاقة. يزود الملفّ الابتدائيّ الملفّ الثّانويّ بالقدرة المستعملة. إنّ الأوليّ لا يعطي أكثر مما يستخدمه الثّانويّ. إذا أهملنا القدرة الضئيلة الضائعة كحرارة في القلب، فإنّ:

القدرة في الابتدائيّ = القدرة في الثّانويّ

تساوي القدرة الكهربائيّة حاصل ضرب الجهد في التّيّار. ويمكننا القول إنّ

(الجهد × التّيّار) في الابتدائيّ = (الجهد × التّيّار) في الثّانويّ

إنّ سهولة رفع الجهد في المحوّل أو خفضه هي السّبب الرّئيس في كون معظم القدرة الكهربائيّة متناوبة بدلًا من كونها ثابتة.

الشّكل 34.9

يقوم محول مألوف في الجوار عادة بخفض 2400 فولت إلى 240 فولت للمنازل والمحال التجارية الصغيرة. إنّ تقسيم الـ 240 فولت داخل المنازل والمحال إلى 120 فولت يكون أكثر أمانًا.

■ 10.9 حثّ المجال

يُفسر الحثّ الكهرومغناطيسيّ جهود وتيارات الحثّ. في الحقيقة، إنّ جذور المفهوم الأساسي للحقول تكمن في كلّ من الجهود والتّيّارات. تحدّد النظرة الحديثة للحثّ الكهرومغناطيسيّ أنّ المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة هي مستحثة. وهي بدورها تنتج الجهود التي درسناها. وهكذا يحدث الحثّ في وجود سلك موصل، أو أيّ وسط ماديّ آخر، أو في عدم وجودهما. وبتعبير أكثر تعميمًا، ينص قانون فارادي على ما يلي:

يستحثّ مجال كهربائيّ في أيّ منطقة من الفضاء يتغير فيها المجال المغناطيسيّ مع الزمن.

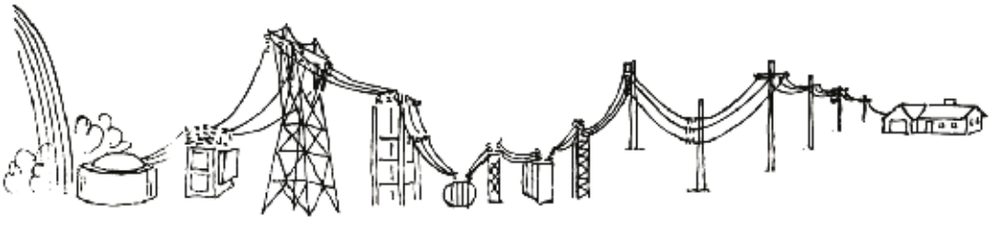
وهناك أثر آخر يعدّ امتدادًا لقانون فارادي؛ إنه هو نفسه ما عدا تبادل أدوار المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة. إنه واحد من العديد من تماثلات الطبيعة. لقد طوّر الفيزيائي البريطاني جيمس كلارك ماكسويل James Maxwell هذا الأثر عام 1860م تقريبًا. ويدعى هذا التطوّر **نسخة ماكسويل لقانون فارادي:**

يُستحثّ مجال مغناطيسيّ في أيّ منطقة من الفضاء يتغير فيه المجال الكهربائيّ مع الزمن.

في الحالات جميعها، تتناسب شدة مجال الحثّ مع معدل التغير في المجال المُحثّ. تكون مجالات الحثّ الكهربائيّ والمغناطيسيّ متعامدة بعضها على بعض.

لمعلوماتك

لقد تم حديثًا اكتشاف مجالات مغناطيسيّة عملاقة تمتد أبعد من المجرات. تشكل هذه المجالات المغناطيسيّة العملاقة جزءًا مهمًّا من مخزن الطّاقة الكونيّة وتقوم بدور كبير في تشكيل المجرات وتطورها. وكذلك مجموعة المجرات ذات القياس الكبير.



الشّكل 35.9

يرفع الجهد المتولد في محطات القوى بالمحوّلات قبل نقله عبر الدولة بأسلاك مرفوعة. ثم تقوم محولات أخرى بخفضه قبل استخدامه في المنازل والمكاتب والمصانع.

التكنولوجيا النانوية (تقنية المنمنمات)

لقد بدأ عصر التكنولوجيا الميكروية قبل 60 عامًا منذ اختراع الترانزستور - الحالة الصلبة. التقط المهندسون بسرعة هذا الاكتشاف في وضع العديد من الترانزستورات لصناعة ألواح منطقية حاسوبية يمكنها تأدية حسابات وتنفيذ برامج. وكلما زاد عدد الترانزستورات التي يمكن ضغطها معًا في دارة زادت قوة اللوح المنطقي. وهكذا بدأ السباق في ضغط المزيد من الترانزستورات في دارات صغيرة جدًّا. لقد كانت المقاييس التي توصل إليها هي حدود الميكرو (10^{-9}) متر. وهكذا ظهر مصطلح التكنولوجيا الميكروية. لقد أدرك القليل من مخترعي الترانزستور في ذلك الزمان أهمية التكنولوجيا الميكروية وأثرها في المجتمع؛ من الحواسيب الشّخصيّة، إلى الهواتف المحمولة، إلى الشّبكة العنكبوتيّة.

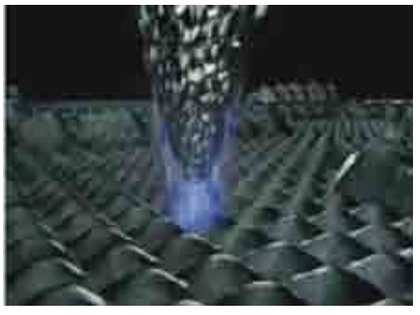
نحن اليوم على أعتاب ثورة مشابهة. إنّ التقدم التّقنيّ الذي حدث حديثًا جعلنا نتخطى حدود الميكروية إلى حدود النّانوية (10^{-9}) متر. والذي هو في حدود الذرات المفردة والجزيئات- الحدود التي أوصلتنا إلى اللبنات الأساسية في بناء المادة. تسمى التكنولوجيا التي تعمل على هذا المقياس التكنولوجيا النّانويّة. لا أحد يستطيع معرفة آثار هذه التكنولوجيا في المجتمعات على وجه الدقة. ولكن الناس أدركوا إمكاناتها الهائلة، والتي على الأغلب أكبر كثيرًا من التكنولوجيا الميكروية.

تهتم التكنولوجيا النانوية بمعالجة الأجسام من مقياس 100-1 نانومتر. لتقريب الصورة. إنّ جزيء الـ د.ن.أ (DNA) هو 2.0 نانومتر تقريبًا. أمّا جزيء الماء فنحو 0.2 نانومتر فقط. وكالتكنولوجيا الميكروية، فإنّ التكنولوجيا النانوية هي علوم بينية تتطلب اتحاد جهود الكيميائيين والمهندسين والفيزيائيين وعلماء البيولوجيا الجزيئية، وآخرين عديدين. ومن المدهش وجود العديد من المكونات التي طورت من خلال التكنولوجيا النانوية في الأسواق. ومن ذلك: واقيات الشّمس، والمرايا التي لا يستقر عليها الضباب، ومواد لطبّ الأسنان، ومحولات أوتوماتيكية محفزة، وملابس خالية من التلوث، وأنظمة تنقية المياه، وقطع أجهزة حاسوب. والكثير الكثير غير هذا. ولكن التكنولوجيا النانوية لا تزال في مرحلة البداية، وعلى الأغلب سنحتاج إلى عقود قبل أن تتحقق إمكاناتها بالكامل. تذكر على سبيل المثال، أنّ الحواسيب الشّخصية لم تنتشر حتى بداية التّسعينيّات من القرن الماضي، أي 40 عامًا بعد أول ترانزستور من الحالة الصلبة. ويتفق معظم الخبراء على أنّ أول المستفيدين هما عِلْما الحاسوب والطب.

تصنع حاليا دارات الحاسوب بإسقاط صورة تصميم الدارة على مادة حساسة ضَوئيًّا تلتقط صورة الدارة، بالضبط كما تلتقط ورق التصوير الصورة الضَّوئيّة. وبالمعالجة الكيميائية، تطورت الصورة الملتقطة للدارة إلى دارة حقيقية. ويمكن تقليص تراكيب الدارات إلى نحو 500 نانومتر عبر عدسات مُصغّرة. وتكون التراكيب الأصغر غير عملية؛ لأنّ المقاييس الصغيرة تصبح أقلّ من طول موجة الضَّوء نفسه؛ طول موجة الضَّوء كبير جدًا!

إنّ تكنولوجيا النّانوي بديل مفيد، حيث يتم بناء الدارت ذرة ذرة. ويعدّ المجهر الماسح الذي نوقش في الفصل 12، من أوائل الأدوات التي سمحت بحدوث هذا، والذي تم استخدامه ليس فقط لإنتاج صورة للذرات المفردة، ولكن سمح أيضا للمُشغل بأن يحرك الذرات المفردة إلى المواقع المطلوبة.

تتضمن المقاربة الجديدة تصميم ألواح منطقية بالكامل، حيث تقوم الجزيئات (وليس الدارات الكهربائيّة) بالقراءة، والمعالجة، وكتابة المعلومات. إنّ أكثر جزيء واعد لمثل هذا العمل هو جزيء (DNA)، نفسه الذي يحمل شفرتنا الوراثية. يمكن للحاسوب الجزيئيّ أن ينفذ عددًا هائلًا من الحسابات في الوقت نفسه. وقد يتفوّق يومًا ما على أسرع دارة متكاملة. وفي المقابل، فإنّ الحاسوب الجزيئيّ ربما يتراجع قريبًا أمام اختراعات أخرى، مثل الحاسوب الكميّ أو الفوتونيّ، والتي جعلتها التكنولوجيا النانوية محتملة.



إنّ الطبيعة هي الخبير الأول في تكنولوجيا النانوي. الكائنات الحية مثلًا أنظمة معقدة من الجزيئات الحيوية المتفاعلة معًا ضمن الجسم في حدود النانومترية. وبهذا التّصوّر، فإنّ الكائنات الحية هي آلات نانوية. لا نحتاج إلى النظر أبعد من أجسامنا حتى نجد الدلائل على إمكانية تكنولوجيا النانوي وقوتها. هناك الكثير في الطبيعة لنتعلمه منها. وبهذه المعرفة، نستطيع فهم أسباب الأمراض والتشوهات جميعها تقريبًا (بما فيها الشيخوخة). ومن ثمَّ القدرة على إيجاد علاجات ناجعة.

راقب استعمالات بعض فوائد تكنولوجيا النانوي: طلاء الجدران التي تغير اللون، أو التي تستخدم لعرض الأفلام والخلايا الشّمسيّة التي تلتقط ضَوء الشّمس بكفاءة عالية. بحيث ينتهي الوقود الأحفوريّ. إنسان آلي عنده طاقة هائلة بحيث لا تستطيع تمييزه من أشكال الحياة العاقلة. كما أنّ آلات التصوير تستطيع تصوير أجسام ثلاثية الأبعاد، بما فيها الكائنات الحية. إلى جانب قدرة الطبّ على عمل أكثر من مضاعفة معدّل الحياة، تكنولوجيا النانوي تفتح آفاقًا جديدة حقًّا.

الشّكل 36.9
في إدارة ذراع المولّد، تبذل شيرون Sheron شغلًا، يتحول إلى جهد وتيار، ثم يتحولان إلى ضَوء.

لقد رأى ماكسويل الربط بين الأمواج الكهرومغناطيسيّة والضَّوء. إذا ضُبطت الشّحنات الكهربائيّة لتهتز في مدى ترددات تماثل تلك التي للضوء فإنّ الموجات المنتجة هي ضوء! اكتشف ماكسويل أنّ الضَّوء موجات كهرومغناطيسيّة في مدى الترددات التي تكون العين حساسة لها.

وفي الليلة السابقة لاكتشافه هذا، كان ماكسويل على موعد مع فتاة تزوجها لاحقًا. ووفقًا لهذه القصة، فبينما كانا يتمشيان في الحديقة، أبدت الشابة إعجابًا شديدًا حول جمال وروعة النجوم. فسألها ماكسويل عن شعورها إذا علمت أنها تتنزه مع الشخص الوحيد في العالم الذي يعرف ماهية ضَوء النّجوم. في الحقيقة، لقد كان ماكسويل هو الوحيد في العالم الذي يعرف أنّ الضَّوء من أي نوع هو طاقة محمولة في موجات المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة التي يولّد بعضها بعضًا باستمرار.

لقد اكُتشفت قوانين الحثّ الكهرومغناطيسيّ في الفترة الزمنية نفسها، التي دارت فيها الحرب الأهلية الأمركية. على المدى الطويل لتاريخ الإنسان، لا يوجد شك في أنّ أهمية أحداث الحرب الأهلية الأمركية لا تقارن بالأحداث المهمة في القرن التاسع عشر؛ إنه قرن اكتشاف قوانين الكهرومغناطيسيّة.

يحتاج كل منا إلى مصفاة معرفية لتخبرنا الفرق بين ما هو حقيقة وما يبدو أنه حقيقة. إنّ أفضل مصفاة للمعرفة اخترعت حتى الآن هو العلم.

ملخّص المصطلحات

القوّة المغناطيسيّة Magnetic force: (1) بين المغانط: تجاذب بين الأقطاب المختلفة وتنافر بين الأقطاب المتشابهة.(2) بين المجال المغناطيسيّ والشحنة المتحرّكة، قوة جارفة بسبب حركة الشحنة: تكون القوّة الجارفة عمودية على كلّ من سرعة الشحنة وخطوط المجال المغناطيسيّ. وتكون هذه القوّة أعظم ما يمكن عندما تتحرك الشحنة عموديًا على خطوط المجال، وأقل ما يمكن (صفر) عندما تتحرك موازية لخطوط المجال.

المجال المغناطيسيّ Magnetic field: منطقة تأثير المغناطيس حول القطب المغناطيسيّ أو الجسيم المتحرك المشحون.

المناطق المغناطيسيّة Magnetic domains: مناطق تجمُّع ذرات مصطفّة. عندما تصطفّ هذه المناطق معًا ، تصبح المواد التي تحتوي على هذه المناطق مغناطيسًا.

مغناطيس كهربائيّ Electromagnet: المغناطيس الذي ينتج مجاله بالتّيّار الكهربائيّ، وعادة ما يكون على شكل ملف سلك حول قطعة حديد.

الحثّ الكهرومغناطيسيّ Electromagnetic induction: الجهد المستحث عندما يتغير المجال المغناطيسيّ مع الزمن. إذا تغير المجال المغناطيسيّ ضمن حلقة مغلقة بأي طريقة، فإنّ جهدًا يستحثّ في هذه الحلقة:

يتناسب الجهد المستحث مع عدد الحلقات × التغير في المجال المغناطيسيّ / الزمن

قانون فارادي Faraday's law: قانون الحثّ الكهرومغناطيسيّ، الذي يتناسب فيه جهد الحثّ في ملفّ مع عدد الحلقات مضروبًا في معدل تغير المجال المغناطيسيّ ضمن هذه الحلقات. (إنّ جهدَ الحثّ هو في الحقيقة نتاج الظاهرة الأكثر أساسية: حثّ المجال الكهربائيّ).

المولِّد Generator: جهاز حثّ كهرومغناطيسيّ ينتج تيارًا كهربائيًّا بدوران ملف ضمن مجال مغناطيسيّ ثابت.

المحوّل Transformer: جهاز لتحويل القدرة الكهربائيّة من ملفّ سلك إلى ملفّ سلك آخر بطريقة الحثّ الكهرومغناطيسيّ.

قانون ماكسويل مقابل قانون فارادي Maxwell's counter-part to Faraday's law: يتولّد مجال حثّ مغناطيسيّ في أيّ منطقة من الفضاء حيث يتغير المجال الكهربائيّ مع الزّمن. وبالتناظر، يتولّد مجال حثّ كهربائيّ في أيّ منطقة من الفضاء حيث يتغير المجال المغناطيسيّ مع الزمن.

أسئلة مراجعة

1. من الذي اكتشف العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسيّة؟ وفي أيّ إطار اكتشفت؟

1.9 الأقطاب المغناطيسيّة

2. بأيّ طريقة تتشابه قاعدة التفاعل بين الأقطاب المغناطيسيّة مع قاعدة التفاعل بين الشّحنات الكهربائيّة؟
3. بأيّ طريقة يكون الاختلاف تامًّا بين الأقطاب المغناطيسيّة والشّحنات الكهربائيّة؟

2.9 المجالات المغناطيسيّة

4. ما الذي ينتج المجال المغناطيسيّ؟
5. ما نوعا الحركة التي تبديها إلكترونات الذرات؟

3.9 المناطق المغناطيسيّة

6. ما المنطقة المغناطيسيّة؟
7. لماذا يكون الحديد مغناطيسيًّا، في حين لا يكون الخشب كذلك؟

4.9 التّيّارات الكهربائيّة والمجالات المغناطيسيّة

8. ما شكل المجال المغناطيسيّ حول سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا؟
9. ماذا يحدث لاتجاه المجال المغناطيسيّ حول التّيّار الكهربائيّ إذا عُكس اتجاه هذا التّيّار؟
10. لماذا تكون شدةُ المجال المغناطيسيّ داخل حلقة سلك يحمل تيارًا أكبرَ من شدة المجال المغناطيسيّ حول مقطع مستقيم من السّلك؟
11. كيف تتأثر شدة المجال المغناطيسيّ لملف عند وضع قطعة حديد داخله؟ دافع عن إجابتك.

5.9 القوى المغناطيسيّة المؤثرة في الشّحنات الكهربائيّة

12. في أيّ اتجاه يتحرك الجسيم المشحون بالنسبة إليلمجال المغناطيسيّ المؤثّر فيه حتى يتعرض لأكبر قوة جارفة، ولأصغر قوة جارفة؟
13. ما تأثير المجال المغناطيسيّ الأرضي في شدة الإشعاعات الكونية التي تقصف سطح الأرض؟
14. ما الاتجاه النسبي بين المجال المغناطيسيّ وسلك يحمل تيارًا كهربائيًّا حتى ينتج أكبر قوة وأقلها على السّلك؟
15. ماذا يحدث لاتجاه القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في سلك في مجال مغناطيسي عندما يُعكس التّيّار في هذا السّلك؟
16. ماذا يسمى الجلفانومتر عندما يعاير لقراءة كلّ من التّيّار والجهد؟
17. هل صحيح القول إنّ المحرك الكهربائيّ هو ببساطة امتداد للفيزياء التي بني على أساسها الجلفانومتر؟

6.9 الحثّ الكهرومغناطيسيّ

18. ما الاكتشاف المهم المنسوب للفيزيائيّيْن مايكل فارادي وجوزيف هنري؟
19. اذكر نصّ قانون فارادي.
20. ما الطرائق الثلاث التي يمكن بها حثّ الجهد في سلك؟

7.9 المولِّدات والتّيّار المتناوب

21. كيف نقارن تردد جهد الحثّ بعدد المرات التي يغمس المغناطيس داخل ملف سلك وخارجه؟
22. ما أوجه الشبه والاختلاف الأساسية بين المولِّد والمحرك الكهربائيّ؟
23. لماذا يتناوب جهد الحثّ في المولِّد؟

8.9 إنتاج الطّاقة

24. ما مصدر الطّاقة للتوربين عادة؟
25. هل صحيح القول إنّ المولِّد ينتج الطّاقة الكهربائيّة؟ دافع عن إجابتك.

9.9 المحوّل - رافع وخافض الجهد

26. هل صحيح القول إنّ المحوّل يرفع الطّاقة الكهربائيّة؟ دافع عن إجابتك.
27. أيّ مما يأتي يغيره المحوّل: الجهد، التّيّار، الطّاقة، القدرة؟

10.9 حثّ المجال

28. ما الذي يستحثّ من سرعة تناوب المجال المغناطيسيّ؟
29. ما الذي يستحثّ من سرعة تناوب المجال الكهربائيّ؟
30. ما الرابط المهم بين المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة الذي اكتشفه ماكسويل؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● إذا كانت كلّ ذرة حديد مغناطيسًا صغيرًا، فلماذا لا تكون كلّ المواد الحديدية نفسها مغانط؟
2. ● إذا وضعت قطعة حديد بالقرب من قطب شماليّ لمغناطيس، فسيحدث تجاذب. لماذا يحدث تجاذب أيضًا إذا وضعت قطعة الحديد بالقرب من القطب الجنوبيّ لمغناطيس؟
3. ● ما الفرق بين المغناطيس الذي يُستخدم لتعليق الأوراق على باب

الثلاجة مقارنة بالأقطاب المغناطيسيّة للمغناطيس العاديّ؟

4. ● ما الذي يحيط بالشحنة الكهربائيّة الساكنة، وبالشحنة الكهربائيّة المتحرّكة؟

5. ■ "يتأثر الإلكترون دائمًا بقوة في المجال الكهربائيّ، ولكن لا يتأثر دائمًا بقوة في المجال المغناطيسيّ". دافع عن صحة هذه العبارة.

6. ● لماذا يجذب المغناطيس مسمارًا عاديًّا أو لاقط ورق، ولكنه لا يجذب قلم رصاص؟

7. ● إذا أخبرك صديق أنّ باب الثلاجة مصنوع من الألومنيوم، تحت الغطاء البلاستيكي الأبيض، فكيف يمكنك فحص ما إذا كان ذلك صحيحًا (دون كشط الباب)؟

8. ■ إحدى الطرق لصناعة بوصلة، هي تثبيت إبرة مغناطيسية في قطعة فلين وجعلها تطفو في وعاء مليء بالماء، كما هو مبين في الشّكل.

تصطف الإبرة مع المركبة الأفقية للمجال المغناطيسيّ الأرضي. عند جذب القطب الشّماليّ في اتجاه الشّمال، هل تطفو الإبرة في اتجاه شمال الوعاء؟ دافع عن إجابتك.

9. ● ما القوّة المحصلة على إبرة بوصلة؟ وبأيّ آلية تصطف إبرة البوصلة مع المجال المغناطيسيّ!

10. ● على الأغلب، تكون علب الطعام في رفوف المطبخ مغنطة. لماذا؟

11. ● نعلم أنّ البوصلة تشير في اتجاه الشّمال لأنّ الأرض مغناطيس عملاق. هل الإبرة التي تشير إلى الشّمال ستستمر في الإشارة إلى هذه الجهة عند وضع البوصلة في نصف الكرة الجنوبيّ؟

12. ● عند وضع سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا في مجال مغناطيسيّ قويّ، ولم يتأثر بأيّ قوة، ما اتجاه السّلك في هذه الحالة؟

13. ● للمغناطيس (أ) ضعف شدة المجال للمغناطيس (ب). وعند مسافة معينة سحب المغناطيس ب بقوة 50 نيوتن. ما مقدار القوّة التي يسحب بها المغناطيس (ب) المغناطيس (أ)؟

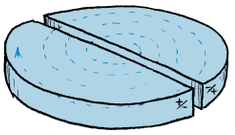
14. ● في الشّكل 17.9، نرى مغناطيسًا يؤثّر بقوة في سلك يحمل تيارًا كهربائيًّا. هل يؤثر السّلك الذي يحمل تيارًا بقوة في المغناطيس؟ اذكر السبب في حال كان جوابك بالنفي أو الإيجاب.

15. ● يجذب مغناطيس قويّ ماسك الورق إليه بقوة معينة. هل يؤثر ماسك الورق بقوة في المغناطيس القوي؟ إنْ لم يؤثر، فلماذا؟ وإنْ كان كذلك، فهل يؤثر بقوة مساوية للقوة التي يؤثر بها المغناطيس فيه؟ دافع عن إجابتك.

16. ■ عند بناء سفينة بحرية فولاذية، يسجّل موقع السّفينة واتجاهها على لوحة نحاسية مثبتة بشكل دائم عليها. لماذا؟

17. ● هل يمكن لإلكترون ساكن أن يبدأ الحركة بواسطة مجال مغناطيسي؟ ماذا لو كان ساكنا في مجال كهربائيّ؟

18. ● السيكلترون جهاز لمسارعة الجسيمات المشحونة إلى سرعات عالية عند اتباعها مسارًا لولبيًّا متمددًا. تتعرض الجسيمات المشحونة إلى المجالين الكهربائيّ والمغناطيسيّ. أحد هذين المجالين تزيد سرعة الجسيمات المشحونة، أمّا المجال الآخر فيتسبب في جعلها تتبع مسارًا منحنيًا. ما عمل كلّ مجال منهما؟



19. ● تنفد حزم من البروتونات ذات الطّاقة العالية من السيكلترون. هل تفترض أنّ المجال المغناطيسيّ يرتبط بهذه الجسيمات؟ اذكر السبب في حال كان الجواب بالنفي أو الإيجاب

20. ■ لماذا يمكن للمجال المغناطيسيّ أن يحرف حزمة إلكترونات، ولكنه لا يبذل شغلًا عليها ليغير سرعتها؟

21. ■ إذا قذف جسيمان مشحونان في مجال مغناطيسي متعامد مع سرعتيهما، و انحرفا في اتجاهين متعاكسين، فماذا يخبرك هذا عن شحنتيهما؟

22. ● لماذا يُقصف سكان شمال كندا بإشعاعات كونية أكثر شدة من سكان المكسيك؟

23. ● ما التغيّرات في شدة الأشعة الكونية التي نتوقع حدوثها عند سطح الأرض خلال الفترات التي يقوم فيها المجال المغناطيسيّ الأرضي بعكس قطبيه وبطور صفريّ؟

24. ■ توجه الأيونات في مطياف الكتلة إلى مجال مغناطيسي، حيث تنحني بواسطة المجال وتضرب بالكاشف. إذا انتقلت ذرات متنوعة مؤينة فرديًّا بالسرعة نفسها خلال المجال المغناطيسيّ، فهل تتوقع انحراف هذه الأيونات بالكمية نفسها، أم بكميات مختلفة؟

25. ● تاريخيًّا، قلّل استبدال الطرق المعبدة - بدلًا من الطرق غير المعبدة - من الاحتكاك بين العربات وسطح الطريق. كما أنّ حلول سكة الحديد محل الطرق المعبدة قلّل من الاحتكاك أكثر. ما الخطوات التالية في إنقاص الاحتكاك بين العربات والسطوح التي تتحرك عليها؟ ما الاحتكاك المتبقي بعد إزالة احتكاك السطوح؟

26. ■ هل يؤثر زوج من الأسلاك المتوازية التي تحمل تيارًا كهربائيًّا في بعضها في بعض بقوة؟

27. ● عندما يدفع أحمد السّلك بين قطبي المغناطيس، يسجل الجلفانومتر نبضة. وعندما يسحب السّلك تسجل نبضة أخرى. كيف تختلف النبضات؟

28. ■ لماذا يصعب إدارة محثّ المولِّد عندما يوصل في دارة تزوده بالتّيّار الكهربائيّ؟

29. ■ هل تقطع الدراجة الهوائية مسافة أبعد إذا أطفئ المصباح المتصل بالمولِّد المنشط بالعجلة؟ فسّر.

30. ■ إذا تحركت سيارتك الفلزية فوق حلقة عريضة مغلقة من السّلك المطمور تحت سطح الأرض، فهل يتغير المجال المغناطيسيّ الأرضي ضمن الحلقة؟ هل ينتج هذا نبضة تيار؟ هل يمكنك التفكير في تطبيق عملي على تقاطع الإشارات الضّوئيّة؟

31. ● في المنطقة الأمنية في المطار، أنت تمشي خلال مجال مغناطيسي متناوب ضعيف داخل ملف كبير من السّلك. ما النتيجة التي تحدثها قطعة فلزية صغيرة في جسمك، والتي تغير قليلًا من المجال المغناطيسيّ داخل الملف؟

32. ● يكون شريط البلاستيك المغلف بأكسيد الحديد ممغنطًا في جزء أكثر من الجزء الأخر. ماذا يحدث للملف إذا مرّر الشريط في ملف صغير من السّلك؟ ما التطبيق العملي لذلك؟

33. ● كيف تقارن أجزاء المدخلات والمخرجات في المولِّد والمحرك؟

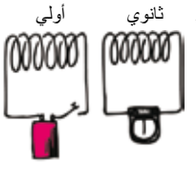
34. ■ يقول صديقك: إذا أدرت ذراع عمود المولِّد الثابت (DC) يدويًّا، فسيصبح المحرك مولدًا ثابتًا. هل تتفق معه أم تختلف؟ دافع عن إجابتك.

35. ■ إذا وضعت حلقة فلزية في منطقة بحيث يتغير المجال المغناطيسيّ بسرعة، فمن الممكن أن تصبح الحلقة ساخنة في يدك. لماذا؟

36. ■ وضع ساحر حلقة من الألومنيوم على طاولة، وخبأ تحتها مغناطيسًا كهربائيًّا. عندما يقول الساحر "تعويذة" (ثم يغلق مفتاح الدارة والذي يسمح بسريان التّيّار في الملف تحت الطاولة). تقفز الحلقة في الهواء. فسّر هذه "الحيلة".

37. ■ كيف يُضاء مصباح كهربائيّ بالقرب من مغناطيس كهربائيّ دون أن يلامسه؟ هل يحتاج إلى تيار مباشر أم متناوب؟ دافع عن إجابتك.

38. ● ثُبّت ملفان من الأسلاك متشابهان ولكنهما منفصلان كما في الشّكل أدناه. الملف الأول موصول ببطارية، ويمر فيه تيار ثابت. أما الملف الثاني فموصول بجلفانومتر. كيف يستجيب عند إغلاق الدارة في الملف الأول؟ بعد إغلاق الدارة، متى يصبح التّيّار منتظمًا، عند فتح المفتاح؟



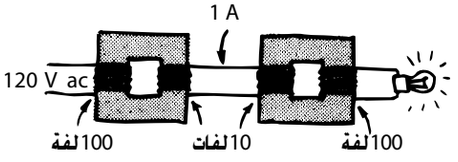
39. ● لماذا يتولّد جهد حثّ أكبر في الجهاز المبيّن في السّؤال السّابق إذا أدخل حديد في قلب الملفات؟

40. ● لماذا يحتاج المحوّل إلى جهد متناوب؟

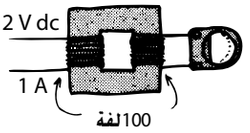
41. ● كيف تقارن التّيّار في ثانوي المحوّل بالتّيّار الأولي عندما يكون جهد الثانوي ضعف جهد الأولي؟

42. ■ بأيّ معنى يمكن التفكير في المحوّل على أنه رافعة كهربائيّة؟ ما الذي تضاعفه؟ ما الذي لا تضاعفه؟

43. ■ في الدارة المبينة، ما فرق الجهد بين طرفي المصباح؟ وما عدد الأمبيرات التي تسري خلاله؟



44. ■ في الدارة المبينة، ما فرق الجهد بين طرفي المقياس؟ وما شدة التّيّار المار فيه؟



45. ■ كيف تجيب عن السّؤال السّابق إذا كان الجهد الداخل يساوي 12 فولت متناوبًا (ac)؟

46. ● هل يمكن لمحول ذي كفاءة عالية أن يزيد الطّاقة؟ دافع عن إجابتك.

47. ● يقول صديق: المجالات الكهربائيّة والمغناطيسيّة المتغيرة يمكن أن يولد بعضها بعضًا، وهذا يؤدي إلى إنتاج ضوء مرئيّ عندما يتساوى تردد التغيير مع تردد الضّوء. هل هذا صحيح؟ فسّر.

48. ■ هل يمكن أن تتوافر الأمواج الكهرومغناطيسيّة إذا كانت المجالات المغناطيسيّة المتغيرة تنتج مجالات كهربائيّة، ولكن لا يمكن للمجالات الكهربائيّة المتغيرة أن تنتج بدورها مجالات مغناطيسيّة؟ فسّر.

49. ♦ إذا سقط قضيب مغناطيسي في أنبوب نحاسيّ موضوع بشكل عموديّ، فإنه يسقط ببطء ملحوظ أكثر مما لو سقط خلال أنبوب بلاستيكي له طول الأنبوب النحاسي نفسه. فإذا كان أنبوب النحاس طويلًا بما فيه الكفاية، فإنّ القضيب المغناطيسيّ السّاقط يصل إلى سرعة السّقوط الحدية. اقترح تفسيرًا.

50. ♦ لتوليد كهرباء دون وقود، رتّب محركًا لتشغيل مولد ينتج كهرباء، والذي يمكن زيادتها باستخدامه على أنه محول رافع يعمل على تشغيل المحرك، وفي الوقت نفسه يزودنا بالكهرباء للاستخدامات الأخرى. ما الخطأ في هذا المشروع؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● يحتاج مسجل الأقراص المكثفة المحمول 12 فولت لتشغيله بصورة سليمة. يستطيع محول هذا الجهاز الحصول على هذا الجهد من مصدر 120 فولت. إذا كان عدد لفات الأوليّ 500 لفة، فبين أنّ لفات الثانويّ 50 لفة.

2. ● يحتاج قطار كهربائيّ (لعبة) إلى 6 فولت لتشغيله. وعند وصله بدارة كهربائيّة منزلية تعمل على 120 فولت، سنحتاج إلى محوّل. إذا كان عدد لفات الملف الأوليّ 240 لفة، فأثبت أنّ عدد لفات الثانويّ 12 لفة.

3. ● يحول محول حاسوب 120 فولت المدخلة إلى 24 فولت كمخرج. بين أنّ عدد لفات الأوليّ هو خمسة أضعاف عدد لفات الملف الثانويّ.

4. ● إذا كان التّيّار الخارج من المحوّل في المسالة السّابقة 1.8 أمبير، فبين أنّ مقدار التّيّار الداخل هو 0.36 أمبير.

5. ● إذا كان الجهد المدخل إلى محول 9 فولت، فإنّ الجهد الخارج

سيكون 36 فولت. إذا أدخل جهد 12 فولت، فبين أنّ الجهد الخارج يكون 48 فولت.

6. ● عدد لفات الملف الأوليّ لمحول مثاليّ 50 لفة، والثانويّ 250 لفة. فإذا وصل جهد 12 فولت (*ac*) إلى الأوليّ، فبين أنّ: (أ) 60 فولت (*ac*) يتوافر في الثانوي. (ب) تيارًا بمقدار 6 أمبير في جهاز موصول إلى الملف الثانوي مقاومته 10 أوم. (ج) القدرة المزودة للابتدائيّ 360 واط.

7. ● تحتاج إشارات النيون إلى 12000 فولت لتشغيلها. اعتبر تشغيل إشارة نيون يتغذى من خط 120 فولت. بين أنّ عدد ملفات الثانويّ أكبر من عدد لفات الملف الابتدائيّ 100 مرة.

8. ■ يزود الطرف الآخر من مدينة بقدرة 100 كيلو مرة (10^5 واط) بزوج من خطوط القوى، وفرق الجهد بينهما 12000 فولت.

أ-بين أنّ التّيّار في الخطوط 8.3 أمبير.

ب-إذا كان لكل خط مقاومة مقدارها 10 أوم، فبيّن أنّ هناك تغيرًا مقداره 83 فولت في أي جهد لكل خط (فكر مليًا. هذا التعبير هو خلال كل خط، وليس بين الخطوط.)

ج-بين أنّ الطّاقة المستهلكة على شكل حرارة في كلا الخطين معًا هي 1.38 كيلو واط (ميّز بين هذه الطّاقة والطّاقة التي يتزود المستهلكون بها).

د-كيف تؤيد حساباتك أهمية جهد الرفع للمحولات للنقل عبر المسافات الطويلة؟

أنشطة استكشافية

1. يمكن بسهولة مغنطة قضيب حديد بوضعه ضمن خطوط المجال المغناطيسيّ الأرضي وطرقه بخفة عدة مرات بمطرقة. وتكون هذه العملية أفضل إذا تلاءم ميل القضيب مع انحدار المجال المغناطيسيّ الأرضي. ويمكن إزالة مغنطته عندما يكون موجها في اتجاه شرق - غرب.

2. يستحثّ المجال المغناطيسيّ الأرضي بعض درجات المغنطة في الأجسام الحديدية من حولك. يمكنك معرفة أنّ علب الطعام على رفوف حجرة حفظ الأطعمة لها قطبان: شماليّ وجنوبيّ. وعند تحريك البوصلة من القاعدة إلى القمة، يمكنك تحديد قطبيتها بسهولة. عَلّمْ الأقطاب إلى شماليّ أو جنوبيّ، ثم اقلب العلبة إلى الأسفل والأعلى ولاحظ كم يومًا يمر حتى تعكس الأقطاب نفسها. فسّر لأصدقائك سبب انعكاس الأقطاب.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدًا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر الإجابة الأفضل لكلّ ما يلي:

1. يمكن أن تتفاعل الشّحنات الكهربائيّة المتحرّكة مع:
أ. المجال الكهربائيّ.
ب. المجال المغناطيسيّ.
ج. كليهما.
د. لا شيء مما ذكر.

2. تكون خطوط المجال المغناطيسيّ لسلك يحمل تيّارا كهربائيًّا:
أ. دوائر.
ب. خطوطًا قطرية.
ج. تيارات دوامة.
د. حلقات طاقة.

3. يمكن أن تؤثر القوّة المغناطيسيّة في الإلكترون حتى عندما يكون:
أ. ساكنًا.
ب. متحركًا بموازاة خطوط المجال المغناطيسيّ.
ج. أ+ب.
د. لا شيء مما ذكر.

4. يمكن أن تغير القوّة المغناطيسيّة المؤثّرة في حزمة إلكترونات من:
أ. اتجاهها.
ب. طاقتها.
ج. أ+ب.
د. لا شيء مما ذكر.

5. المحرك والمولّد :
أ. جهازان متشابهان.
ب. جهازان مختلفان تمامًا بتطبيقات مختلفة.
ج. محولان.
د. مصدرا طاقة.

6. إذا غيرت المجال المغناطيسيّ في حلقة سلك مغلقة، فإنك تستحثّ في الحلقة:
أ. تيارًا.
ب. جهدًا.
ج. مجالًا كهربائيًّا.
د. جميع ما ذكر.
هـ. لا شيء مما ذكر.

7. يستحثّ جهد في حلقة سلك عندما يكون المجال المغناطيسيّ ضمن الحلقة:
أ. يتغير.
ب. يصطفّ مع المجال الكهربائيّ.
ج. يصنع زاوية قائمة مع المجال الكهربائيّ.
د. يتحول إلى طاقة مغناطيسيّة.

8. يمكن أن يغير محول ذو كفاءة عالية في دارة كهربائيّة متناوبة (ac):
أ. التّيّار.
ب. الطّاقة.
ج. القدرة.
د. جميع ما ذكر.
هـ. لا شيء مما ذكر.

9. يتولّد مجال حثّ كهربائيّ في أيّ منطقة في الفضاء الذي يكون فيه:
أ. اتجاه المجال المغناطيسيّ متعامدًا مع المجال الكهربائيّ.
ب. المجال الكهربائيّ المصاحب متغيرًا مع الزمن.
ج. المجال المغناطيسيّ متغيرًا مع الزمن.
د. جميع ما ذكر.

10. تتحد الكهرباء والمغناطيسيّة لتكوين:
أ. الكتلة.
ب. الطّاقة.
ج. صوت فائق التردد.
د. ضوء.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة
1ج، 2ج، 3د، 4ب، 5أ، 6ج، 7أ، 8أ، 9د، 10ج

الفصل 9 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية
- 9.3، 9.8، 9.17، 9.21، 9.24، 9.28

دروس تعليمية
- الحقول المغناطيسية

أشرطة فيديو
- اكتشاف أوراستد
- القوى المغناطيسية المؤثرة في أسلاك تحمل تيار كهربائي
- تطبيقات على الحث
- قانون فراداي

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط

10

الأمواج والصّوت

■ تهتز العديد من الأشياء وتتذبذب من حولنا؛ فسطح الجرس، ووتـر القيثارة، وقصبة المزمار، والشـفتان علـى فم البوق، والأحبـال الصّوتيّة فـي حنجرتك عندما تتكلـم أو تغني، هذه الأشياء جميعها تهتز. وعندما تهتز هذه الأشياء في الهواء فإنّها تجعـل جزيئات الهواء التي تلمسـها تهتـز وتتذبذب بالطريقة نفسـها تمامًا، وتنتشـر هذه الاهتزازات في الاتجاهات كافة، وتصبـح ضعيفة، وتفقد طاقة على شـكل حرارة، حتى تختفي تمامًـا. ولكن حتى تصل هـذه الاهتزازات إلـى أذنك، فعليها الانتقال إلى جزء من دماغك، وحينها تسمع صوتًا.

1.10 الاهتزازات والأمواج

2.10 الحركة الموجيّة

3.10 الأمواج الطّوليّة والعرضيّة

4.10 أمواج الصّوت

5.10 انعكاس الصّوت وانكساره

6.10 الاهتزازات القسريّة والرّنين

7.10 التّداخل

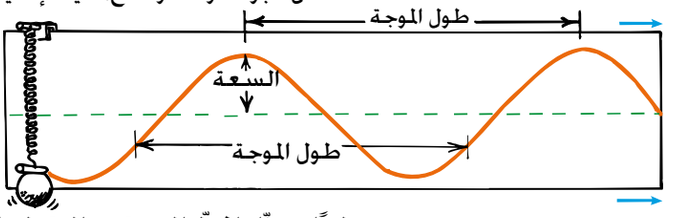
8.10 ظاهرة دوبلر

9.10 الأمواج المنحنية والانفجار الصّوتيّ

10.10 الأصوات الموسيقيّة

1.10 الاهتزازات والأمواج

بصورة عامة، يكون أيّ شيء مهتزًا عندما يتحرك ذهابًا وإيابًا، من جانب إلى آخر، وإلى الداخل والخارج، وإلى الأعلى والأسفل. إنّ **الاهتزاز** ***(Vibrations)*** هو تذبذب في الزّمن. أمّا **الموجة** ***(Wave)*** فهي تذبذب في المكان والزّمن. وهذه الموجة تمتد من موقع إلى آخر. ويعدّ كلّ من الضّوء والصّوت اهتزازات تنتشر عبر المكان كموجات، ولكنهما موجات مختلفة في النوع تمامًا؛ فالصّوت هو انتشار الاهتزازات عبر وسط مادي - صلب أو سائل أو غاز. وإن لم يتوافر وسط للاهتزاز، فلن يحدث الصوت. وإذا كان الصّوت لا ينتقل في الفراغ فإنّ الضّوء ينتقل فيه (كما سيناقش في الفصل 11)؛ لأنّ الضّوء هو اهتزاز مجالات كهربائيّة ومغناطيسية غير مادية؛ إنّه اهتزاز طاقة تام. وعلى الرّغم من أنّ الضّوء يمرّ من خلال مواد عديدة، فإنّه لا يحتاج إلى مادة للانتقال عبرها. وهذا واضح، حيث إنه ينتشر في الفراغ بين الشّمس والأرض.



الشّكل 1.10

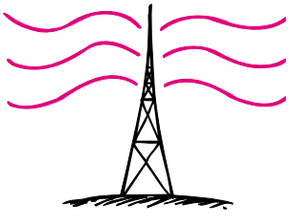
عند اهتزاز البلبل إلى الأعلى والأسفل، يرسم القلم منحنى جيبيًّا على الورقة، والذي يتحرك أفقيًّا بسرعة ثابتة.

يبيّن الشّكل 1.10 العلاقة بين الاهتزاز والموجة. يهتز قلم التّأشير المثبت على بلبل النابض العموديّ إلى الأعلى والأسفل، تاركًا آثار شكل الموجة على ورقة تتحرك أفقيًّا بسرعة ثابتة. وفي الواقع، فإنّ شكل الموجة هو *منحنى جيبيّ*، تمثيل صوريّ للموجة. تسمّى النقاط العالية لموجة الماء *قممًا*، في حين تسمّى النقاط المنخفضة بطونًا. ويمثّل الخطّ المستقيم المتقطع الموقع الأصليّ، أو منتصف الاهتزاز. إنّ مصطلح السّعة يشير إلى المسافة من نقطة المنتصف إلى قمة (أو إلى بطن) الموجة. وعليه، فإنّ السّعة (Amplitude) تساوي الإزاحة القصوى من نقطة الاتزان.

طول الموجة ***(Wave Length)*** هو المسافة بين أعلى نقطة في القمة و أعلى نقطة للقمة التالية، أو أنّه المسافة بين نقطتين متتابعتين لأجزاء متماثلة للموجة. وتقاس أطوال الموجات على الشّاطئ بالأمتار، في حين تقاس أطوال موجات خرير الماء في بركة راكدة بالسنتمترات. أمّا الأطوال الموجيّة للضوء فتقاس بالنانومتر (من المتر). ومن الجدير بالذكر أنّ للموجات جميعها مصادر اهتزاز.

يوصف تكرار حدوث الاهتزاز بالتّردد (*frequency*). فتردد بندول بسيط، أو جسيم على زنبرك، يحدد عدد الاهتزازات الكاملة التي تحدث في زمن معين (عادة في ثانية واحدة). وتسمى الدورة الكاملة ذهابًا وإيابًا اهتزازة واحدة. وإذا حدثت في ثانية واحدة، يكون الاهتزاز دورة في الثانية. وإنْ حدث اهتزازان خلال ثانية واحدة، فسيكون التّردد اهتزازين في الثانية.

لقد سمّيت وحدة التّردد هرتز (*Hz*) تكريمًا لهنريش هرتز *Heinrich Hertz*، الذي أثبت وجود الأمواج الراديويّة في عام 1886م. إنّ الاهتزاز لكلّ ثانية هو 1 هرتز. وكلّ اهتزازين في الثانية 2 هرتز. أمّا الترددات الأعلى فبالميجاهرتز . وتقاس عادة أمواج الرّاديو (AM) بالكيلوهرتز، في حين تقاس أمواج الراديو *FM* بالميجاهرتز. فمحطة AM تبث على موجة 960 كيلوهرتز، مثلًا، تبث أمواج راديو بتردد 960,000 اهتزازة في الثانية. في حين تبث محطة FM بـ 101.7 ميجاهرتز أمواجا بتردد 101,700,000 هرتز. إنّ ترددات أمواج الراديو هذه تعبر عن الاهتزازات القسريّة للإلكترون في هوائيّ برج محطة الإرسال. وتقاس التّرددات الأعلى بالجيجا هرتز؛ أيْ بليون اهتزازة في الثانية. يعمل الهاتف المحمول في مدى الجيجا هرتز (*GHz*). وهذا يعني أنّ الإلكترون يهتز بلايين الاهتزازات في الثانية! ويكون تردد الإلكترونات المهتزة مساويًا لتردد الموجة الناتجة.



الشّكل 2.10

مصدر أيّ موجة هو شيء يهتز. تهتز الإلكترونات في الهوائيّ الباثّ 940,000 مرة كلّ ثانية، وينتج 940 كيلوهرتز كأمواج راديوية. لا يمكن رؤية الأمواج الراديوية ولا سماعها، ولكنها ترسل أنماطًا يلتقطها جهاز المذياع أو التلفاز ويحولها إلى أصوات وصور.

إنّ دورة (*Period*) الموجة أو الاهتزاز هو الزمن اللازم لإكمال دورة تامة؛ دورة كاملة. ويمكن حساب الدورة من التّردد، والعكس صحيح. افترض مثلًا أنّ البندول يعمل اهتزازين في الثانية، فيكون تردده 2 هرتز. والزمن اللازم لإكمال اهتزاز واحد- أي، دورة الاهتزازة الواحدة- هي $\frac{1}{2}$ ثانية. أو، إذا كان تردد الاهتزاز هو 3 هرتز، فإنّ الدورة هي $\frac{1}{3}$ ثانية. إذن، فالتّردد والدورة كل منهما معكوس للآخر:

التّردد= 1 / الدورة

أو، العكس صحيح،

الدورة= 1 / التّردد

■ **نقطة فحص**

1. سكّين كهربائيّ يكمل 60 دورة في كلّ ثانية: أ- ما تردده؟ ب- ما دورته؟
2. إذا كان الفرق بين قمة موجة وبطنها 60سم، فما اتساعها؟

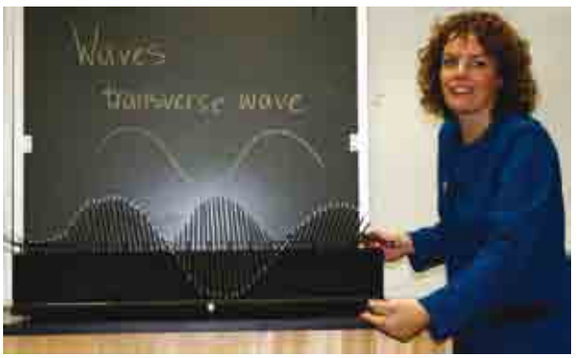
هل كانت هذه إجابتك؟

1. (أ) 60 دورة في الثانية، أو 60 هرتز. (ب) $\frac{1}{60}$ من الثانية.
2. السّعة تساوي 30 سم؛ أي نصف المسافة بين قمة الموجة وبطنها.

لمعلوماتك

■ يماثل تردد الموجة تردد المصدر المهتز. هذا صحيح ليس فقط في حالة الأمواج الصّوتيّة، بل، وكما سنرى في الفصل القادم، في الأمواج الضوئية أيضًا. إنّ الأمواج التي ندرسها هي *أمواج دورية* لها دورات محددة.

■ 2.10 الحركة الموجيّة



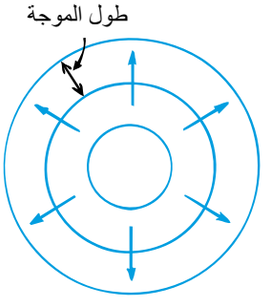
الشّكل 3.10
تستخدم دايان Diane آلة الموجة الصفية لتوضيح كيف يُنتج الاهتزاز الموجات.

إذا أسقطت حجرًا في بركة راكدة، فستنتقل الأمواج إلى الخارج على شكل دوائر متمددة. تُحمل الطّاقة بالموجة وتنتقل من مكان إلى آخر. ولكن الماء لا ينتقل من مكانه. يمكن أن يشاهد ذلك بالأمواج التي تعترض ورقة طافية. تهتز الورقة إلى الأعلى والأسفل، ولكنها لا تنتقل مع الموجات. تستمر الموجات في الحركة، ولكن ليس الماء. والشيء نفسه صحيح لأمواج الريح في حقل عشب طويل في يوم عاصف. تنتقل الأمواج عبر العشب، في حين تبقى نباتات العشب المفردة في أماكنها. إنها تتأرجح ذهابًا وإيابًا بين نقاط محددة، ولكنها لا تذهب إلى أيّ مكان.

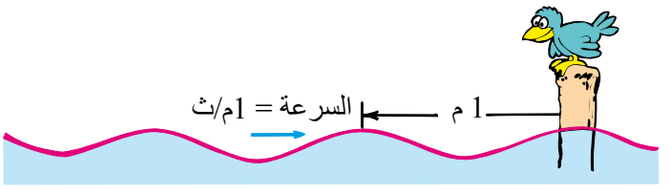
وعندما تتكلم، تنشر جزيئات الهواء الاهتزاز خلال الهواء بسرعة 340 مترًا في الثانية تقريبًا. ينتقل الاهتزاز، وليس الهواء نفسه، عبر الغرفة بهذه السرعة نفسها. في هذه الأمثلة، عندما تنتهي حركة الموجة، فإنّ كلًّا من الماء والعشب والهواء يعود إلى موقعه الأول. ومن طبيعة الحركة الموجيّة هو أنّ الوسط الناقل للموجة يعود إلى الوضع الأول بعد أن ينتهي الاهتزاز.

سرعة الموجة (Wave Speed)

ترتبط سرعة حركة الموجة الدورية بتردد تلك الموجات وطولها. ادرس الحالة البسيطة لموجات الماء (الشكلان 4.10 و5.10). تخيل أننا ركزنا نظرنا على نقطة مستقرة على سطح الماء وراقبنا مرور الموجات على هذه النقطة. يمكننا قياس الزمن بين وصول إحدى القمم ووصول القمة التالية (الدورة). ويمكننا قياس المسافة بين هاتين القمتين (طول الموجة).



الشّكل 4.10
منظر علوي لأمواج ماء.



الشّكل 5.10
إذا كان طول موجة 1م، وتخطت موجة واحدة العمود في ثانية واحدة، فإنّ سرعة الموجة هي 1 م/ث.

نحن نعلم أنّ السّرعة هي المسافة مقسومة على الزمن. في هذه الحالة، المسافة هي طول موجة واحدة، والزمن هو دورة واحدة. وعليه فإنّ سرعة الموجة = طول الموجة / الدورة

ولأنّ الدورة تساوي معكوس التّردد فإنّ الصيغة هي:
(**سرعة الموجة** = *طول الموجة* / *الدورة*). ويمكن كتابتها على الشّكل الآتي:

سرعة الموجة = طول الموجة × التّردد

تنطبق هذه العلاقة على أنواع الموجات جميعها، سواء كانت موجات ماء أو موجات صوت، أو موجات ضوء.

لمعلوماتك

■ نعبّر عن سرعة الموجة عادةً بالمعادلة $v = f\lambda$ ، حيث v سرعة الموجة، وf ترددها أمّا (الحرف اليوناني *Lambda*) λ فطولها.

■ **نقطة فحص**

1. إذا اندفع قطار من عربات الشّحن، وطول كلّ واحدة 10م من أمامك بمعدل 3 عربات كلّ ثانية، فما سرعة القطار؟
2. إذا اهتزت موجة ماء إلى الأعلى وإلى الأسفل ثلاث مرات في الثانية، وكانت المسافة بين قمم الموجات 2م.
أ- فما التّردد؟ ب- وما طول الموجة؟ ج- وما سرعة هذه الموجة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

30 متر/ث. يمكننا إثبات ذلك بطريقتين. وفقًا لتعريف السّرعة في الفصل الثّاني، فإنّ:

$$\text{السرعة} = \frac{d}{t} = \frac{10\times3\text{م}}{(1\text{ ث})} = 30 \text{ متر/ث}$$

لأنّ 30م من القطار تمر من أمامك كلّ ثانية.

إذا قارنا قطارنا بحركة الموجة، حيث يناظر طول الموجة 10م والتّردد 3 هرتز، فإنّ السرعة = التّردد × طول الموجة = 3 هرتز × 10م = 30 (م/ث)

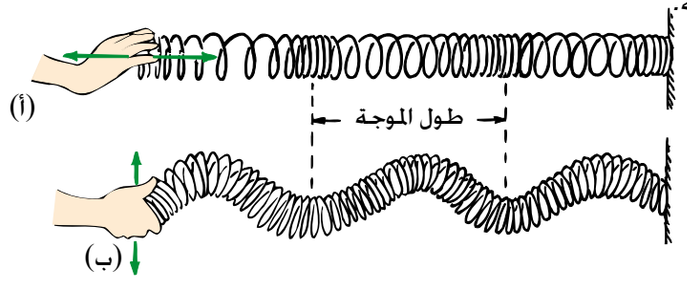
2. أ- 3 هرتز. ب- 2م. ج- سرعة الموجة = التّردد × طول الموجة = 3/ث × 2م = 6 م/ث

كن واضحًا في التمييز بين التّردد والسّرعة. إنّ عدد تكرار اهتزازات الموجة مختلف تمامًا عن سرعة انتقالها من موقع إلى آخر للطاقة الكهربائيّة.

■ 3.10 الأمواج الطّوليّة والعرضيّة

اربط أحد أطراف زنبرك إلى الحائط وأمسك الطرف الحر بيدك. إذا هززت الطرف الحرّ إلى الأعلى والأسفل، فإنّك تنتج اهتزازات تكون اتجاهاتها متعامدة على اتجاه انتقال الموجة. تسمى الحركة بالزوايا القائمة، أو الطرق الجانبية بالحركة العرضيّة. ويسمّى نوعُ هذه الموجة *الموجةَ العرضيّةَ*. وتكون الأمواج في الأسلاك المشدودة للأجهزة الموسيقيّة وعلى سطوح السّوائل أمواجًا عرضية. وسنرى لاحقًا أنّ الأمواج الكهرومغناطيسية- بعضها أمواج راديو وبعضها الآخر أمواج ضوء- هي أيضًا أمواج عرضيّة.

الموجة الطّوليّة هي تلك الموجة التي يكون اتجاه انتقالها على طول اتجاه اهتزاز المصدر. يمكنك إنتاج موجة طولية عندما تهز زنبركًا إلى الأمام والخلف عبر محوره (الشّكل 6.10أ). ويكون اتجاه الاهتزازات حينها بموازاة اتجاه انتقال الطّاقة. ينضغط جزء من الزنبرك، وينتقل **انضغاط (Compression)** الموجة على طوله. وهناك منطقة مشدودة بين التضاغطات المتتابعة تسمّى **التخلخل (Rarefaction)**. تنتقل كلّ من التضاغطات والتخلخلات بموازاة الزنبرك. ويشكلان معًا الموجة الطّوليّة. يوضح الشّكل 6.10ب تولد الموجة العرضيّة.



الشّكل 6.10
كلتا الموجتين تنقلان الطّاقة من اليسار إلى اليمين. (أ) عند دفع إحدى نهايتي زنبرك وسحبه بسرعة على امتداد طوله تنتج موجة طوليّة. (ب) عند هزّ نهايتيه إلى الأعلى والأسفل (أو من جهة إلى الجهة الأخرى) تنتج موجة عرضيّة.

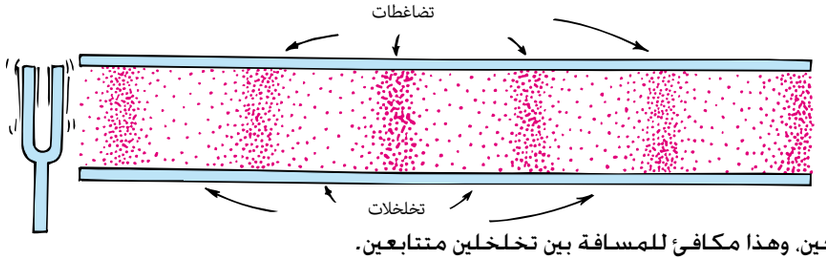
إذا درست الزلازل الأرضية فإنّك تعرف نوعين من الموجات التي تنتقل في الأرض. أحد هذين النوعين الأمواج الطولية (أمواج P). والنوع الآخر الأمواج العرضية (أمواج S). تنتقل هذه الأمواج بسرعات مختلفة. وهذا يزود الباحثين بطرق لتحديد مصدر هذه الموجات. أضف إلى ذلك أنّ الموجات العرضيّة لا تستطيع الانتقال عبر المواد السّائلة. بعكس الأمواج الطّوليّة التي تستطيع ذلك. مما يزودنا بطرق لتحديد ماهية المادة في باطن الأرض (مصهورة أم صلبة).

الشّكل 7.10
إذا هززت مضرب كرة التنس بين كرات كثيرة، فإنّ الكرات تهتز أيضًا.

■ 4.10 أمواج الصّوت

يحتاج الصّوت إلى وسط؛ فهو لا ينتقل في الفراغ، لعدم وجود ما يمكن ضغطه أو خلخلته.

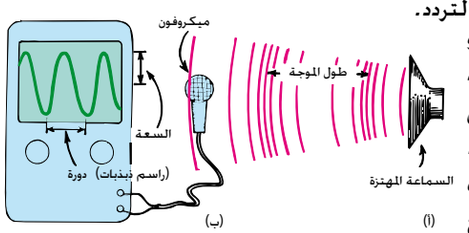
فكّر في جزيئات الهواء في حجرة عندما تتحرك كرة تنس الطاولة الصغيرة عشوائيًّا. إذا هززت طاولة التنس والكرات في وسطها. فإنّك تجعلها تهتز إلى الأمام وإلى الخلف. وبإيقاع الطاولة المهتزة نفسه. تتجمع لحظيًّا في بعض المناطق (تضاغطات). وفي بعض المناطق البينية تنتشر (تخلخلات). إنّ الشُعب المهتزة للشوكة الرنانة تقوم بالشيء نفسه بجزيئات الهواء. تنتشر الاهتزازات المكونة من تضاغطات وتخلخلات من الشوكة الرنانة عبر الهواء. وعندئذ تنتج موجة صوت.



الشّكل 8.10
تنتقل التضاغطات والتخلخلات (كلتاهما بالسرعة نفسها وبالاتجاه نفسه) من شوكة رنانة خلال الهواء في الأنبوب. طول الموجة هو المسافة بين تضاغطين أو تخلخلين متتابعين.

إنّ طول موجة الصّوت هي المسافة بين تضاغطين متتابعين. وهذا مكافئ للمسافة بين تخلخلين متتابعين. يهتز كلّ جزيء في الهواء إلى الأمام وإلى الخلف حول موقع الاتزان عند تحرك الموجة.

يوصف انطباعنا الشّخصيّ حول تردد الصّوت بدرجة النغم (*Pitch*): فالصّوت ذو درجة النغم العالية كالصّوت الذي يصدر عن جرس صغير. يكون تردد اهتزازه عاليًا. في حين تكون درجة النغم منخفضة للصوت الصادر عن الجرس الكبير؛ لأنّ الاهتزاز يكون منخفض التّردد.



الشّكل 9.10
(أ) سماعة المذياع هي مخروط ورقيّ يهتز بإيقاع مع الإشارة الكهربائيّة. يبدأ الصّوت المنتج اهتزازات متشابهة في الميكروفون. تعرض الاهتزازات على راسم الذبذبات. (ب) هيئة الموجة على شاشة راسم الذبذبات كرسم للضغط مقابل الزمن، يوضح كيف يرتفع الضغط بالقرب من الميكروفون وينخفض بابتعاد أمواج الصّوت. عندما يزيد علو الصّوت، تزيد سعة هيئة الموجة.

يعتمد علو درجة النغم للصوت الذي نسمعه أو انخفاضها على تردد موجة الصّوت. إنّ الأذن البشرية تسمع عادة درجات نغم في المدى ما بين 20 هرتز إلى نحو 20,000 هرتز. ويقل هذا المدى مع تقدّم العمر. وهكذا. فإنّه حين يكون بمقدورك تبديل نظام الصّوت القديم لديك بنظام صوت أثمن. فلربما لا تستطيع التمييز بين النظامين.

تسمّى الأمواج الصّوتيّة التي تقل تردداتها عن 20 هرتز *بالأمواج تحت الصّوتيّة*. في حين تسمّى الأمواج التي تردداتها أعلى من 20,000 هرتز *بالأمواج فوق الصّوتيّة*. إننا لا نستطيع سماع أمواج الصّوت تحت الصّوتيّة أو فوق الصّوتيّة*. أمّا الكلاب وبعض الحيوانات الأخرى فتستطيع ذلك.

* تستخدم حزم مركزة فوق صوتية في المستشفيات لتحطيم حصى الكلية والمرارة. وهكذا لا نحتاج إلى عملية جراحية.

ينتقل معظم الصّوت خلال الهواء. ولكن أيّ مادة مرنة – صلبة، أو سائلة، أو غازية - يمكنها نقل الصّوت*. يعدّ الهواء ناقلًا ضعيفًا للصوت مقارنة بالمواد الصلبة والسّائلة. ويمكنك سماع صوت القطار من مسافة بعيدة بوضوح بوضع أذنك على السّكة. وعندما تسبح، اطلب إلى صديق على مسافة معينة أن يضرب حجرين معًا تحت سطح الماء بينما تكون غاطسًا. لاحظ مدى قدرة الماء على نقل الصّوت. لا ينتقل الصّوت في الفراغ لعدم وجود ما يضغط أو يتمدد. وعليه، فإنّ الصّوت يحتاج إلى وسط ناقل.

توقف برهة وفكّر مليًا في فيزياء الصّوت حينما تستمع بهدوء إلى صوت المذياع أحيانًا. تتكون سماعة المذياع من مخروط ورقيّ يهتز بإيقاع مع الإشارة الكهربائيّة. تبدأ جزيئات الهواء المجاورة للمخروط الورقيّ في السماعة بالاهتزاز، وهذه بدورها تهتز مقابل الجزيئات المجاورة، والتي بدورها تعمل الشيء نفسه، وهكذا. وكنتيجة، تظهر أنماط الإيقاع من الهواء المضغوط والمتخلخل من السّماعة، بحيث تملأ الغرف بحركات موجية. يهتز الهواء الساقط أو تهتزّ طبلة الأذن التي ترسل بدورها دفعات من الإيقاعات الكهربائيّة عبر العصب في القوقعة. ومن ثمّ في الأذن الداخلية وإلى المخّ. وبهذه الطريقة تستمع إلى صوت الموسيقى.

لمعلوماتك

■ تتصل الفيلة مع بعضها بالأمواج تحت الصّوتيّة. إنّ آذانها الكبيرة تساعدها على التقاط الأمواج الصّوتيّة منخفضة التّردد.

الشّكل 10.10

تعيد أمواج الهواء المضغوط والمخلخل المتولدة عن اهتزاز مخروط السماعة إنتاج الصّوت الموسيقي.

لمعلوماتك

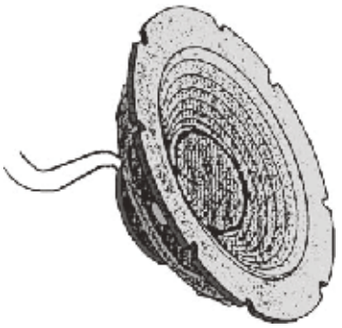
■ تهز موجة الصّوت المنتقلة عبر قناة الأذن طبلةَ الأذن، والتي تهز ثلاث عظمات دقيقة، وهذه بدورها تهز السّائل المعبأ في القوقعة. يوجد داخل القوقعة خلايا شعرية صغيرة تحول النبضة إلى إشارة كهربائية إلى الدماغ.

سرعة الصّوت

إذا راقبنا عن بعد شخصًا يقطع خشبًا أو يضرب بمطرقة، فإنّنا نلاحظ بسهولة حدوث الضربة قبل أن يصل الصّوت إلى آذاننا. كما يسمع صوت الرعد بعد ثوانٍ من رؤية وميض البرق. تُبين خبراتنا المألوفة أنّ الصّوت يستغرق وقتًا لانتقاله من موضع إلى آخر. وتعتمد سرعة الصّوت على كلّ من حالة الريح ودرجة الحرارة والرطوبة، ولا تعتمد على ارتفاع الصّوت أو تردده . إنّ الأصوات جميعها تنتقل بالسرعة نفسها في وسط معين. تبلغ سرعة الصّوت في الهواء الجاف عند درجة 0° س 330 م/ث، أي نحو 1200 كم/ساعة. إلى جانب أنّ بخار الماء في الهواء يزيد من سرعة الصّوت قليلا. إنّ الصّوت ينتقل بسرعة أكبر عبر الهواء السّاخن من انتقاله في الهواء البارد. وهذا متوقع؛ لأنّ الجزيئات المتحركة بسرعة أكبر في الهواء الساخن تضرب بعضها بتكرار أكثر، لذا يمكنها نقل النبضات في زمن أقل** . كما أنّ سرعة الصّوت تزداد في الهواء بمعدل 0.6م/ث لكل زيادة في درجة الحرارة أعلى من 5° س. وهكذا، عند درجة حرارة الغرفة 20° س تقريبًا، ينتقل الصّوت بنحو 340م/ث في الهواء. أمّا في الماء، فتقترب سرعة الصّوت من أربعة أضعاف سرعته في الهواء، وتصل في الفولاذ إلى ما يقارب 15 ضعف سرعته في الهواء.

مكبرات الصّوت

تحوّل سمّاعات المذياع وغيرها من أنظمة إنتاج الصّوت الإشارات الكهربائيّة إلى أمواج صوتية. وتنتقل هذه الإشارات الكهربائيّة عبر ملف حول عنق مخروط ورقيّ، حيث يتصرّف هذا الملف كمغناطيس كهربائيّ، ويقع بالقرب من مغناطيس دائم. وعند انسياب التيار في اتجاه أحاديّ، تدفع القوة المغناطيسية المغناطيس الكهربائيّ نحو المغناطيس الدائم، ويسحب المخروط إلى الداخل. وعند مرور التيار في الاتجاه المعاكس، يدفع المخروط إلى الخارج. وعليه فإنّ الاهتزازات في الإشارة الكهربائيّة تجعل المخروط يهتز. وأخيرًا، تنتج اهتزازات المخروط الأمواج الصّوتيّة في الهواء.



* المادة المرنة "الزنبركية" لها نابضية، ويمكنها نقل الطّاقة بفقدان قليل. فالفولاذ مثلًا مرن. ولكن الرصاص والمعجون ليسا كذلك.

** سرعة الصّوت في الغاز $\frac{3}{4}$ معدل سرعة جزيئاته تقريبًا.

■ **نقطة فحص**

1. هل تنتقل التضاغطات والتخلخلات في موجة الصّوت في الاتجاه نفسه أم في اتجاهات متعاكسة بعضها مع بعض؟
2. ما المسافة التقريبية لعاصفة رعدية إذا لاحظت فارق ثلاث ثوان بين رؤية وميض البرق وصوت الرعد؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. إنها تنتقل في الاتجاه نفسه.
2. افترض أنّ سرعة الصّوت في الهواء 340 م/ث تقريبًا. في 3 ثوان. ينتقل الصّوت مسافة 340 م/ث × 3 ث = 1020 م. لا يستغرق وصول الضّوء زمنًا ملموسًا. وهكذا. تكون العاصفة بعيدة أكثر بقليل من 1 كم.

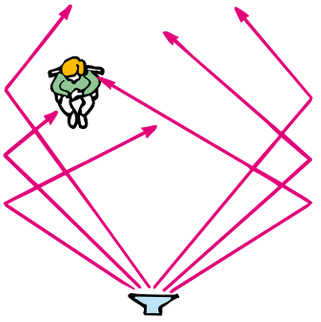
لمعلوماتك

■ تملك أذناك حساسية عالية جدًّا للاختلافات في الصّوت الذي يصل إليهما. بحيث يمكنك تحديد اتجاه الصّوت الذي تسمعه بدقة عالية جدًا. لا يمكنك تحديد اتجاه الصّوت بأذن واحدة فقط (لا تعرف إلى أيّ اتجاه تتحرك عند الضرورة باستخدام أذن واحدة).

■ 5.10 انعكاس الصّوت وانكساره

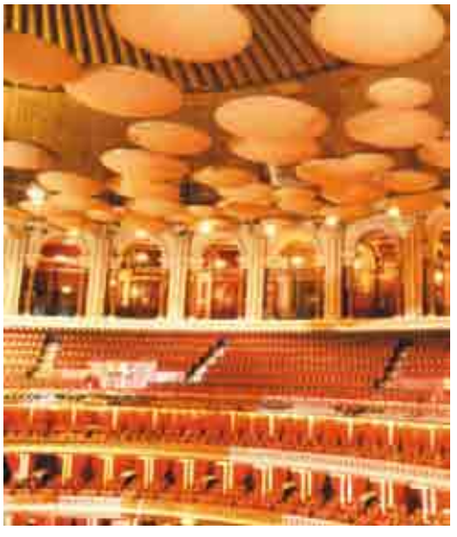
مثل الضّوء. عندما يعترض الصّوت سطحًا ما. فإنّه يرتدّ عن السّطح. أو ينفذ من خلاله. تسمى عملية **الارتداد انعكاسًا *(Reflection)***. ويسمى انعكاس الصّوت *الصدى*. ويكون مقدار طاقة الصّوت المنعكسة من السّطح كبيرًا إذا كان السّطح صلبًا وأملس. ولكنه يكون قليلًا إذا كان السّطح طريًّا وغير منتظم. إنّ طاقة الصّوت التي لا تنعكس فإما تنفذ أو تمتص.

ينعكس الصّوت عن السّطح الأملس بالطريقة نفسها التي ينعكس بها الضّوء- زاوية السّقوط (الزاوية بين اتجاه الصّوت والسّطح العاكس) تساوي زاوية الانعكاس (الشّكل 11.10). في بعض الأحيان. عندما ينعكس الصّوت عن الجدران أو السّقف. أو أرض الغرفة عندما تكون السّطوح عاكسة جدًّا. فإنّ الصّوت يصبح مشوشًا. ويسمى الصّوت الناتج عن الانعكاسات المتعددة الصدى (*Reverberation*). وفي المقابل. إذا كانت السّطوح العاكسة ماصّة جدًا. فإنّ مستوى الصّوت يكون منخفضًا. وتصبح الغرفة كئيبة وغير حيوية. يعمل الصّوت المنعكس على جعل الغرفة مليئة بالحياة. ومن المتوقع أنك خبرت ذلك إذا غنيت وأنت تستحم. وعلى مصممي القاعات الكبيرة إيجاد توازن بين الترددات والامتصاص. وتسمى دراسة خصائص الصّوت *الصّوتيات* (*acoustics*).



الشّكل 11.10
زاوية سقوط الصّوت تساوي زاوية انعكاسه.

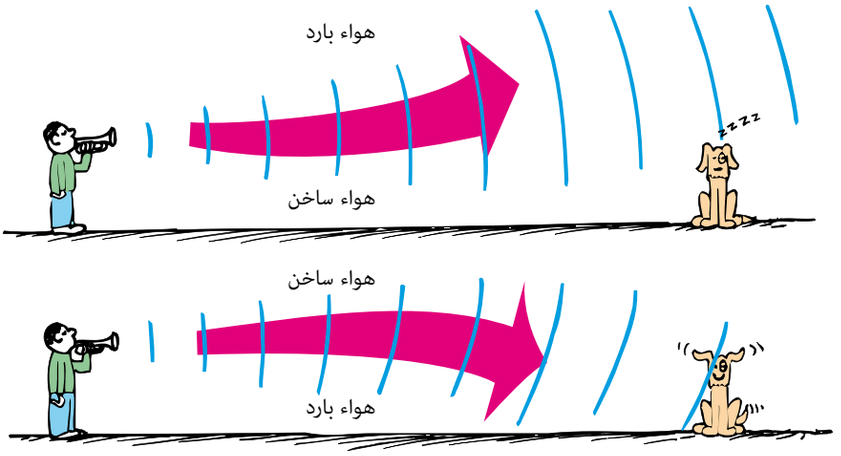
من المفيد وضع سطوح عالية الانعكاسية خلف منصة المسرح لتوجيه الصّوت نحو الجمهور. تعلق السّطوح العاكسة فوق المنصة في بعض قاعات الموسيقى. إنّ سطوحًا مثل تلك الموجودة في قاعة داميس في سان فرانسيسكو هي سطوح بلاستيكية لامعة كبيرة. كما أنّها تعكس الضّوء أيضًا (الشّكل 12.10). ويمكن للمستمع أن ينظر إلى العاكسات ويرى الصور المعكوسة لأعضاء الفرقة الغنائية (يكون العاكس البلاستيكي منحنيًا بعض الشيء. مما يزيد من مجال الرؤية). يخضع كل من الصّوت والضّوء لقانون الانعكاس نفسه. وهكذا. فإذا وجه العاكس بحيث يمكنك رؤية جهاز موسيقى معين. فتأكد أنه يمكن سماعه أيضًا. إنّ صوت الجهاز يتبع خط موقع العاكس ومن ثم إليك. توضع في بعض القاعات الماصات بدلًا من العاكسات لتحسين الأصوات.



الشّكل 12.10
تعكس الأطباق البلاستيكية فوق الفرقة الغنائية كلًا من الضّوء والصّوت. كما أنّ تعديلها بسيط جدًّا؛ ما تراه هو ما تسمعه.

يحدث **الانكسار *(Refraction)*** عندما يستمر الصّوت خلال الوسط وينحني. تنحني أمواج الصّوت عندما تنتقل أجزاء من الجبهة الموجيّة بسرعات مختلفة. ويمكن أن يحدث هذا عند تأثر أمواج الصّوت برياح غير متوازنة. أو عندما ينتقل الصّوت خلال هواء غير متساوي درجات الحرارة. وفي يوم دافئ. يكون الهواء القريب من الأرض أسخن كثيرًا من الهواء الأعلى وتزيد سرعته بالقرب من الأرض. وتميل موجات الصّوت إلى الانحناء مبتعدة عن الأرض. منتجة صوتًا لا يبدو أنه ينتقل جيدًا (الشّكل 13.10).

يحدث انكسار الصّوت تحت الماء. حيث تتغير سرعته مع درجة الحرارة. وهذا يخلق مشكلة للمركبات على السّطوح التي ترسل أمواجًا فوق صوتية إلى قاع المحيط لمعرفة خصائص هذا القاع. ولكنها ميزة



الشّكل 13.10
تنحني أمواج الصّوت في الهواء غير المتساوي في درجات الحرارة.

يكون اتجاه انتقال كل من الصّوت والضّوء دائمًا بزوايا قائمة مع جبهاتها الموجيّة.

للغواصات التي تحاول التّخفّي. وبسبب أنّ المحيط يتكون من طبقات من الماء على درجات حرارة مختلفة، فإنّ انكسار الصّوت يترك فجوات أو "نقاطًا عمياء" في الماء. وهذه هي الأماكن التي تلجأ إليها الغواصات للتخفيّ؛ ولولا هذا الانكسار، لكان من السهل كشفها.

يستخدم الأطباء الانعاكاسات المتعددة، وانكسار الأمواج فوق الصّوتيّة "لرؤية" ما في داخل الجسم دون استخدام الأشعة السّينيّة. إنّ الصّوت ذا التّردد العالي (فوق الصّوت) الذي يدخل الجسم ينعكس بقوة أكبر من خارج الأعضاء أكثر مما داخلها، منتجًا رسما تخطيطيّا للعضو (الشّكل 14.10). إنّ ظاهرة الصّدى فوق الصّوتيّ ليست جديدة على الدلافين وبعض الحيوانات التي تصدر صوتًا قصيرًا حادًّا، وتحدد موقع الأجسام من خلال الصّدى.

الشّكل 14.10
جنين عمره 14 أسبوعًا وقد أصبح فيما بعد ميجان هيويت Megan Heitt، التي تظهر في افتتاحية الجزء الثالث.

الشّكل 15.10
يطلق الدلفين صوتًا ذا تردد عالٍ لتحديد الأشياء في بيئته ومعرفتها. كما تدرك المسافات عن طريق التّأخّر في الزّمن بين صدى الصّوت المرسل والراجع، كما أنّها تحدد الاتجاه عن طريق الفروق في الزّمن بين وصول الصدى إلى أذنيه. إنّ السّمك هو الغذاء الرّئيس للدلفين، ولأنّ هذا السّمك يسمع الأصوات ذات التّرددات المنخفضة، فإنّه لا ينتبه إلى أنه قد تم اصطياده.

الدّلافين والتّصوير الصّوتيّ

إنّ الحاسة الغالبة عند الدّلفين هي السّمع؛ بسبب عدم جدوى الرؤية في المحيط المظلم والمعتم جدًّا في الأعماق. في حين أنّ السّمع حاسة غير فاعلة كثيرًا لنا، إلا أنّها نشطة عند الدلفين، حيث يصدر الأصوات، ثم يدرك ما حوله من خلال رجوع الصّدى. تمكن الموجات فوق الصّوتيّة التي يطلقها الدلفين من "الرؤية" من خلال أجسام الحيوانات الأخرى والناس. يكون الجلد والعضلات والدهون شفافة في معظمها للدلافين، لذا تستطيع رؤية مخطط واهن للجسم، ولكن العظام، والأسنان، والتجاويف المليئة بالغازات تكون واضحة تمامًا. ويمكن للدلفين رؤية الدّليل الفيزيائيّ للسّرطان، والأورام، والنبضات القلبية. فقد استطاع الانسان من كشفها حديثًا بالأمواج فوق الصّوتيّة. أمّا المدهش أكثر، فهو أنّ الدلفين يستطيع استرجاع الإشارات الصّوتيّة التي رسمت الصورة للوسط المحيط. وهكذا، على الأرجح، فإنّه قادر على نقل خبرته إلى الدلافين الأخرى بإرسال صورة صوتية كاملة بما "رأى"، ناقلا الصورة مباشرة إلى دماغ الدلافين الأخرى. لا تحتاج الدلافين إلى كلمة أو رمز للدلالة على "السمكة" مثلًا، بل تستطيع إرسال صورة الشيء الحقيقي، وربما بالتركيز على المعالم الرئيسة عن طريق الفلترة الانتقائية، كما ننقل حفلًا موسيقيًّا للآخرين من خلال الطرق العديدة ومنها إعادة إنتاج الصّوت. ولكن لغة الدّلفين مختلفة تمامًا عن لغتنا!

حساب العلوم الفيزيائيّة

■ حلّ المسألة

مسألة 1

يقوم مركب كشف أعماق المحيط، بمسح أرضية المحيط بالأمواج فوق الصّوتيّة، والتي تنتقل بسرعة 1530 مترًا في الثانية في ماء البحر. ما عمق الماء إذا علمت أنّ الزّمن اللازم لرجوع الصّدى من قاع المحيط هو ثانيتان؟

الحلّ:

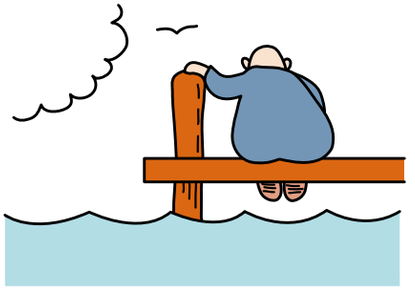
تستغرق الرحلة كاملة ثانيتين؛ الثانية الأولى إلى الأسفل والثانية الأخرى إلى الأعلى. وعليه،

$d = vt$ = 1530م/ث × 1ث = 1530م.

(يعمل الرادار بالطريقة نفسها، وبدلًا من أمواج الصّوت ترسل الأمواج الميكروية).

مسألة 2

بينما كان أوتس Otis يجلس على رصيف الخليج، لاحظ أنّ المسافة بين قمم الموجات القادمة هي d. وأنّ الموجات القادمة تصطدم بالدعامات كلّ ثانيتين.



أ-جِدْ تردّد الموجات.

ب-أثبت أنّ سرعة الموجات تعطى بـ fd.

ج-افترض أنّ المسافة d بين قمم الموجات هي 1.8 متر. أثبت أنّ سرعة الموجات أقلّ قليلا من متر واحد لكلّ ثانية.

الحلّ:

أ-يعطى تردّد الموجة بـ: دورة واحدة لكلّ ثانيتين، أو f = 0.5 هرتز.

ب- $v = f\lambda = fd$

ج- $v = f\lambda = fd$ = 0.5 هرتز × 1.8 متر = 0.5 × 1/ث × 1.8م= 0.9 متر/ثانية.

■ 6.10 الاهتزازات القسريّة والرّنين

إذا طرقت شوكة رنانة غير مثبتة فسيكون صوتها منخفضًا. ولكن إذا جعلت يدها على الطاولة بعد ضربها، فسيكون الصّوت أعلى؛ بسبب اهتزاز الطاولة قسريًّا، وأنّ سطحها الكبير أشرك مزيدًا من الهواء في الحركة. تهتز الطاولة قسريًّا بأيّ شوكة مهما كان ترددها. وهذا مثال على **الاهتزاز القسريّ**. إنّ اهتزاز أرضية المصنع بسبب حركة الآليات الثقيلة هو مثال آخر على الاهتزاز القسريّ. ومثال أكثر بهجة على الاهتزازات القسريّة هو صوت الآلات الوترية على المسرح.

إذا أسقطت مفكًّا ومضربًا لكرة البيسبول على أرض أسمنتية، فمن السهولة بمكان ملاحظة الفرق بين الصوتين؛ لأنّ اهتزاز كلّ منهما مختلف عندما يضربان الأرض. وليس هناك تردد قسريّ معين لأيّ منهما. وبدلًا من ذلك، يتردد كلّ منهما بتردده الطبيعي؛ لأنّ أيّ جسم مكوّن من مادة مرنة، يهتز بتردداته الخاصة به، والتي بمجموعها تشكل الصّوت المميز. نتكلم عن **التّردد الطبيعي** ***(Natural frequency)*** للجسم، والذي يعتمد على عوامل مثل المرونة، وشكل الجسم. وبالطبع الأجراس والشوكات الرنانة، تهتز بتردداتها المميزة. ومن المدهش أنّ معظم الأشياء، من الذرات إلى الكواكب ومعظم الأشياء بينهما، لها نابضية، وتهتز بواحدة أو أكثر من التّرددات الطبيعية.

عندما تتساوى التّرددات القسريّة لجسم مع التّردد الطّبيعيّ له، تحدث زيادة دراماتيكية في السّعة. وتسمى هذه الظاهرة **الرّنين**. وبدقة أكثر، فإنّ *الرّنين* يعني "تكرار الصّوت" "صوت معاد". إنّ المعجون لا يرن لأنّه غير مرن، مثل المنديل اليدوي- عندما يسقط على الأرض. ولكي يُحدِث جسيم ما رنينًا، فإنّه يحتاج إلى قوة تعيده إلى وضعه الأصليّ وطاقة كافية لاستمرار اهتزازه.

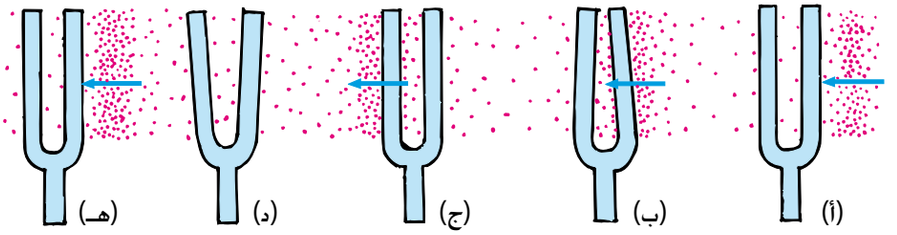
ومن الخبرات العامة التي توضح حدوث الرّنين أنه عندما تكون على أرجوحة؛ فعند ارتفاعها، فإنّك تُرفع بإيقاع مع التّردد الطّبيعيّ لها. ولكن الأهم من القوة التي ترفع بها هو التوقيت. وإذا عملت بإيقاع مع تردد حركة الأرجوحة، فإنّك تنتج سعات كبيرة، حتى لو كنت تُدفَعُ بدفعات صغيرة من أحدهم.

لمعلوماتك

■ للبوم آذان حساسة جدًا. يضبط البوم أذنيه لسماع الخفيف وأصوات القوارض وغيرها من الثّديّات الصّغيرة لاصطيادها في الليل. وكالبشر، يحدد البوم موقع مصدر الصّوت باستخدام حقيقة أنّ موجات الصّوت عادة تصل إلى أذن قبل الأخرى بمقدار ملثانية (جزء من الثانية). يحرك البوم رأسه عند انقضاضه على الطريدة، وعندما يصل صوت من الهدف إلى أذنيه، تكون الوجبة جاهزة. ولبعض أنواع البوم، تكون أذن أعلى من الأذن الأخرى، مما يعزز قدرته على تحديد موقع الطريدة بشكل أفضل.

لمعلوماتك

■ تستخدم الببغاوات الألسن لإخراج الأصوات وتقليدها كما هو حال البشر. وكلّ تغيير مهما كان بسيطًا في موقع اللسان ينتج فرقًا كبيرًا في الصّوت الذي ينتج أولا في عضو الصّوت الذي يقع بين القصبة الهوائية والرئة.



الشّكل 16.10
مراحل الرّنين. (أ) يصطدم الانضغاط الأول الشوكة ويعطيها دفعة صغيرة ولحظية، ثمّ (ب) تنحني الشوكة، و(ج) تعود إلى الوضع الأصلي قبل أن يصل التخلخل، ومن ثمَّ(د) تتجاوز في الاتجاه الآخر. وعندما ترجع إلى وضعها الابتدائيّ (هـ) يصل الانضغاط التالي ليكرر الدورة. والآن تنثني أكثر بسبب حركتها.

وكتوضيح مألوف للرنين في قاعة الصّفّ، ضع زوجين من الشّوكات الرّنانة مضبوطة على التّردد نفسه ومتباعدة بمقدار متر تقريبًا (الشّكل 17.10). وعند ضرب إحداهما، فإنّها تجعل الأخرى تبدأ في الاهتزاز. إنّ هذا نموذج مصغر لدفع صديقك على الأرجوحة؛ إنّ التوقيت مهم. عندما تصطدم سلسلة من أمواج الصّوت بالشّوكة، يعطي كلّ من انضغاط شعبة الشّوكة دفعة صغيرة. ولأنّ تردّد هذه الدّفعات يناظر التّردد الطّبيعيّ للشّوكة، فإنّ تتابعها يزيد من سعة اهتزازها؛ بسبب حدوث الدفعات في الوقت المناسب وتكرار حدوثها في اتجاه الحركة الآنية للشبكة نفسه. وتسمى حركة الشّوكة الثّانية *الاهتزاز بالتّأثير* *(Sympathetic Vibration)*.

إذا لم تضبط الشّوكات على ترددات متساوية فإنّ توقيت الدفعات يكون غير ملائم. وعليه، لا يحدث رنين. وعندما تضبط مذياعك، فإنّك تضبط التّردد الطّبيعيّ للإلكترونيات في الجهاز لتتساوى مع إحدى الإشارات العديدة التي من حولك. وأخيرا، يتناغم الجهاز مع إحدى المحطات في وقت محدد، بدلًا من الاستماع لعدة محطات في الوقت نفسه.

إنّ الرّنين ليس محصورًا على حركة الموجة. إنه يحدث كلما تعرض جسم مهتز لدفعات متتابعة لها إيقاع التّردد الطّبيعيّ نفسه. لقد أدّى مرور الخيالة فوق الجسر القريب من مانشستر في إنجلترا عام 1831م إلى انهياره دون قصد، بسبب تحركهم بإيقاع مع التّردد الطّبيعيّ للجسر. ومنذ ذلك الوقت، أصبح من المعتاد أن يُؤمَر الجنود بالحركة دون انتظام عند عبور الجسر. كما أنّ كارثة تدمير جسر حديثة قد حدثت بسبب الرّنين الذي أنتجته الريح (الشّكل 18.10).

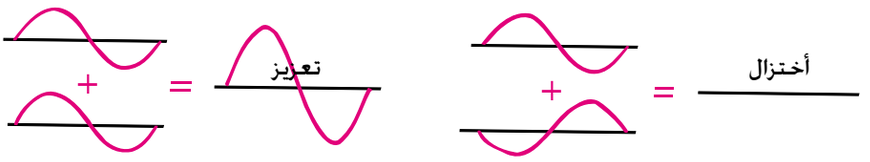
الشّكل 17.10
يوضح رايان Ryan الرّنين بزوج من الشّوكات الرنانة لهما ترددان متماثلان.

الشّكل 18.10
انهار جسر تاكوما Tacoma الضّيق في واشنطن عام 1940م، بعد أربعة أشهر من إكماله بفعل الرّنين المتولد من الرّيح. أدت عاصفة معتدلة إلى قوة متذبذبة بتناغم مع التّردد الطّبيعيّ للجسر، حيث أدت الزيادة المستمرة في الاتساع إلى انهيار الجسر.

لماذا تصرّ مدينة صناعة الأفلام الأميركية (Hollywood) على تشغيل آلات ضوضاء كلما مرت سفينة فضاء في الفضاء الخارجيّ من حولها؟ أليس رؤيتها تسبح بهدوء أكثر تشويقًا؟

■ 7.10 التّداخل

إنّ التّداخل خاصية مثيرة للاهتمام للأمواج جميعها، وهو على نوعين: بنّاء وهدّام. لذا، خذ الأمواج العرضيّة، عندما تتطابق قمة موجة مع قمة موجة أخرى، فستجد أنّ آثارهما الفردية تجمع. والنتيجة هي تكوّن موجة بسعة أكبر. وهذا ما يُعرف بـ *التّداخل البنّاء (Constructive Interference)* (الشّكل 19.10). ولكن عندما تتطابق قمة موجة مع بطن موجة أخرى، فإنّ آثارهما الفردية تتناقص. ببساطة الجزء الأعلى من موجة يملأ الجزء الأسفل من موجة أخرى. وهذا يسمى التداخل الهدام (Destructive Interfer-ence).

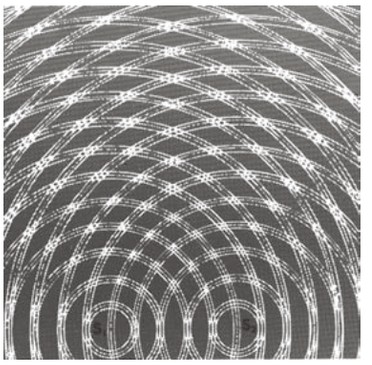


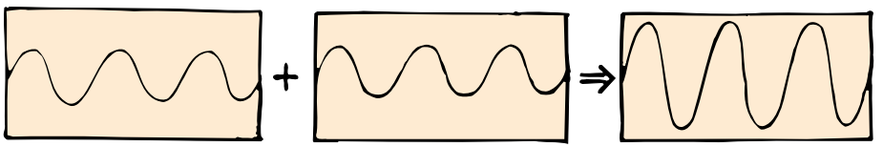
الشّكل 19.10
التّداخلان؛ البنّاء والهدّام في الموجة العرضيّة.

من الأسهل ملاحظة التّداخل الموجيّ في الماء. نرى من الشّكل 20.10 إنتاج نمط التّداخل عندما تلمس الأجسام المهتزة سطح الماء. ويمكننا رؤية المناطق التي تتطابق فيها قمة موجة مع بطن موجة أخرى لتكوّن موجة بسعة صفرية. عند نقاط على هذا المسار، يكون وصول الموجات بحيث تكونان مختلفتين. ويمكن القول إنهما في أطوار متعاكسة.

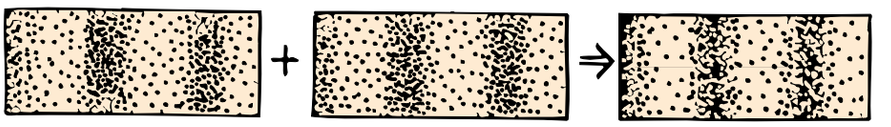
إنّ التّداخل خاصية عامة للحركة الموجيّة، سواء أكانت هذه الأمواج مائية، أم صوتية، أم ضوئية. وفي الشّكل 22.10 نرى مقارنة بين تداخل الأمواج العرضيّة وتداخل الأمواج الطّوليّة. نرى التّداخل البناء لأمواج الضّوء حيث تتراكب القمم

الشّكل 20.10
تنتج مجموعتان من أمواج الماء المتطابقة نمط تداخل.

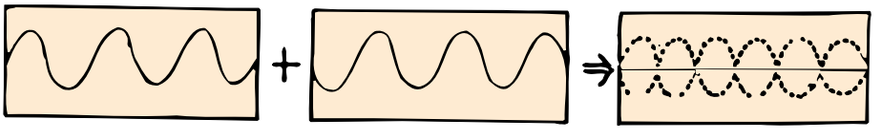




ينتج تراكب موجتين متماثلتين عرضيتين في الطور نفسه موجة بسعة أكبر.

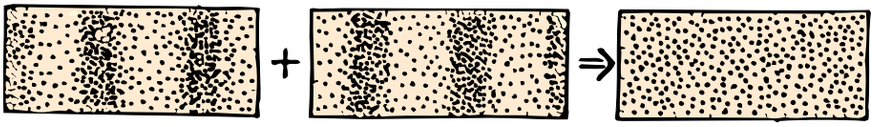


ينتج تراكب موجتين متماثلتين طوليتين في الطور نفسه موجة بسعة أكبر.



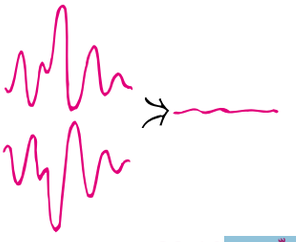
تلغي الأمواج العرضية المتماثلة التي يكون لها أطوار متعاكسة بعضها بعضًا عندما تتراكب.

الشّكل 21.10
تبين جيني Jennie التّداخل بخزان التّموّج الصّفّيّ.



تلغي الأمواج الطولية المتماثلة التي يكون لها أطوار متعاكسة بعضها بعضًا عندما تتراكب.

الشّكل 22.10
تداخل أمواج عرضية وطولية. تداخل بنّاء (اللوحتان العلويتان)، وتداخل هدّام (اللوحتان السفليتان).



الشّكل 23.10
ينعدم الصّوت، عند اتحاد إشارة الصّوت مع إشارة الصورة المرآوية للصوت.

مع البطون. والأثر نفسه يحدث عند تداخل أمواج الصّوت الطّوليّة والمبينة كمناطق تضاغطات وتخلخلات. إنّ التّداخل الهدّام للصوت هو لبّ التّقنية المضادة للضّوضاء. في الوقت الحاضر، تُزَود بعض الأجهزة الضوضائية مثل الثقابة بميكروفونات ترسل صوت الجهاز إلى رقاقة إلكترونية تولّد صورة مرآوية لأنماط إشارات الصّوت. تُغذى هذه الصورة المرآوية لإشارات الصّوت إلى سماعات يلبسها العامل أي أنّ الإشارات الصوتية تمثّل بصور. وبهذه الطريقة، تلغى تضاغطات (أو تخلخلات) الصّوت من الثقابة بالتخلخلات (أو التضاغطات) من الصور المرآوية للصوت في سماعات الأذن. يلغي اتحاد هذه الإشارات ضوضاء الثقابة. إنّ الأجهزة المضادة للضّوضاء مألوفة أيضًا في بعض الطّائرات، بحيث يكون الهدوء أكثر داخل الطّائرات بعد استخدام هذه التقنية. هل تكون السّيارات هي التالية؟ ربما لا نعود بحاجة إلى كاتمات الصّوت.

يمكن توضيح تداخل الصوت على نحو مشوّق عندما يتم عزف الصوت الأحادي بواسطة سمّاعتي ستيريو (نظام صوتي مجسَّم) متعاكستين في الطور. السمّاعتان تتعاكسان في الطور عند تبديل السلكين الداخليين أحدهما بالآخر. الموجب بالسالب. يعني هذا لإشارة الصّوت الأحادي أنّ إرسال سماعة لإشارة صوت انضغاطية فأنّ الأخرى ترسل إشارة تخلخلية. ولا يكون الصّوت الناتج كاملًا ولا عاليًا كما لو أنّ السماعات موصولة بالطور نفسه. تلغى الأمواج الطّوليّة بالتّداخل. وتلغى الأمواج القصيرة إذا قربت السماعات بعضها من بعض. وعندما توضع السماعات بعضها مقابل بعض، يسمع الصّوت بصورة خفيفة! إنّ الأصوات ذات التّرددات العالية هي التي تبقى فقط. لذا، عليك تنفيذ هذه التجربة لتقديرها.

الشّكل 24.10
عند تبديل السّلك الموجب مع السّلك السّالب كمدخلات لواحدة من سماعات المسجل، تصبح السّماعات بأطوار متعاكسة. وعند وضع السماعات بعيدة عن بعضها، لا يكون الصّوت الأحادي مسموعًا كما هو الحال من السّماعات التي يكون لها الطور نفسه. وعند وضع السماعات وجهًا لوجه، يُسْمعُ صوت قليل. ويكون التّداخل كاملا، حتى يعوض الانضغاط من سماعة التخلخل من الأخرى.

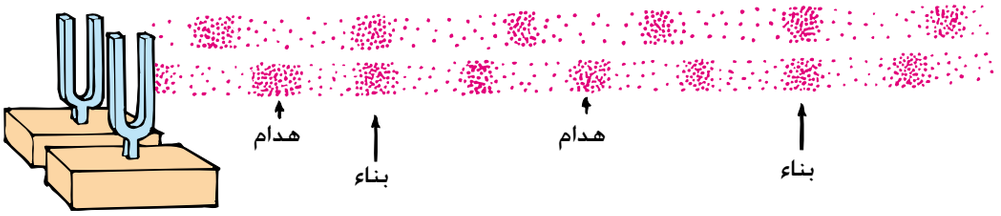
يستدل على تداخل الضّوء من رؤية الألوان السّاطعة من الانعكاسات عن طبقة الجازولين الرقيقة على الماء. تتداخل الانعكاسات من سطوح أفلام الزّيت والماء منتجة ألوانها المتممة (ستناقش في الفصل الآتي).

الضّربات (Beats)

عند سماع نغمتين تختلفان قليلًا في التّردد معًا، يسمع تناوب في علو الصّوت الناتج عن اتحادهما، حيث يتناوب علوًّا وخفوتًا. يسمّى التّغيّر الدّوريّ في علو الصّوت **الضربات**، وهو بسبب التّداخل. إذا طُرقت شوكتان رنانتان مختلفتان قليلًا في التّردد، فستهتز شوكة بتردد مختلف عن الأخرى، ويكون اهتزاز الشوكتين لحظيًّا متناغمًا ثم غير متناغم.. وهكذا. عندما تصل الموجات المتحدة إلى آذاننا متناغمة - لنقل عندما يتطابق انضغاط من شوكة مع الانضغاط من الشوكة الأخرى – فإنّ الصّوت يكون أعلى ما يمكن. وفي لحظة تالية، عندما تكون الشوكتان غير متناغمتين، أي انضغاط من شوكة يتلاقى مع تخلخل من شوكة أخرى، فسيكون الصّوت في حده الأدنى. إنّ الصّوت الذي يصل إلى آذاننا يخفق في علوه بين الحدين الأعلى والأدنى، وينتج أثر اهتزاز.

الشّكل 25.10
يقود كن فورد Ken Ford الطائرة الشّراعيّة باسترخاء بعد وضع سماعات الأذن التي تلغي التشويش. في الطائرة الكبيرة، يعالج صوت المحركات ويطلق كمضاد للتشويش من خلال سماعات داخل غرفة القيادة لجعل رحلة المسافرين مريحة.

تحدث الضربات لأيّ نوع من الموجات، وهي تزودنا بطريقة عملية لمقارنة التّرددات. ولضبط البيانو مثلًا، يستمع ضابط البيانو إلى الضربات المنتجة من شوكتين معياريتين مع تلك الناجمة عن أوتار معينة من البيانو. عندما تكون التّرددات متماثلة، تنعدم الضربات. يضبط أعضاء الفرقة الغنائية أجهزتهم بالاستماع إلى الضربات من أجهزتهم والنغمات المعايرة الناتجة عن بيانو أو أجهزة أخرى.

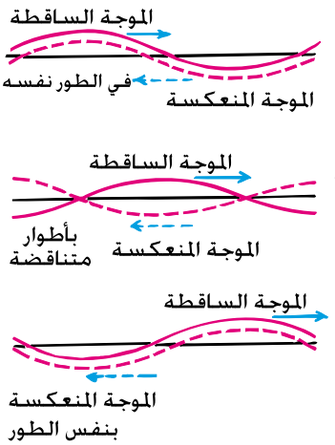


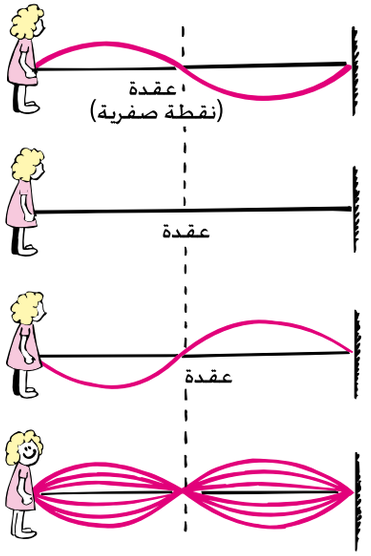
الشّكل 26.10
تنتج الضربات من الأصوات عن تداخل مصدري صوت لهما ترددات مختلفة قليلًا.

الأمواج الواقفة (Standing Waves)

هناك أثر جذّاب آخر للتداخل هو الموجات الواقفة. اربط حبلًا بحائط، وهزّ الطرف الحرّ إلى الأعلى والأسفل. وبما أنّ الحائط أكثر صلابة من أن يهتز، فإنّ الموجات ستنعكس عائدة عبر الحبل. إذا هزّ الحبل بالطريقة الصحيحة، فيمكنك جعل الموجات السّاقطة والمنعكسة تشكّل **موجة واقفة**، حيث تسمى أجزاء من الحبل عقدة، وهي مستقرة. يمكنك وضع أصابعك على أيّ جانب من الحبل عند العقدة، دون أن تتلامس مع الحبل. ولكن أجزاء أخرى منه يمكنها أن تلمس أصابعك. تعرف المواقع على الموجة الواقفة والتي لها أكبر إزاحة بالبطن. وتحدث هذه البطون في منتصف المسافة بين العقد.

تنتج الموجات الواقفة عندما تتلاقى مجموعتان من الموجات تكون السّعة وطول الموجة لكلّ منهما متساوية وتنتقلان في اتّجاهين متعاكسين.





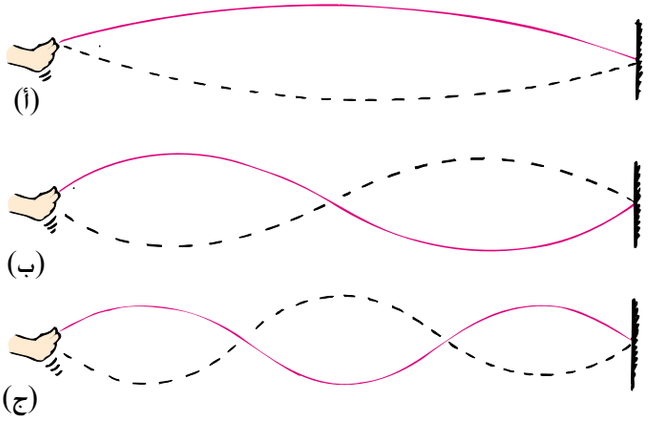
الشّكل 27.10
تتداخل الموجات السّاقطة والمنعكسة لإنتاج موجة واقفة.

وهكذا، يكون للموجات طور متساو ومتغاير باستمرار بعضها مع بعض، وتنتج مناطق مستقرة؛ أي تداخلان: بنّاء وهدّام (الشّكل 27.10).

تظهر الموجات الواقفة في أوتار الأجهزة الموسيقيّة عندما تنبض أو تُثنى أو تُضرب. وتنتج في الهواء في أنبوب الأرجن، والناي، والكلارنيت - وفي علب المشروبات الغازية عند نفخ الهواء فوق الفتحة. تظهر الموجات الواقفة في حوض ماء أو كأس قهوة عند هزها إلى الأمام والخلف بالتّردد المناسب. ويمكن إنتاج الموجات الواقفة بأيّ من الاهتزازات الطّوليّة والعرضيّة.

لمعلوماتك

■ **انظر إلى إنتاج الموجات الواقفة في الموقع الإلكترونيّ الآتي:**
http://www2.biglobe.ne.jp/~norimari/science/JavaEd/e-wave4.htma



الشّكل 28.10
(أ) هز الحبل فأنتج موجة واقفة من حلقة واحدة ($\frac{1}{2}$ طول موجة). (ب) هُزّ الحبل بضعف التردد فأنتج موجة بحلقتين (1 طول موجة). (ج) هُزّ الحبل بثلاثة أضعاف التردد فأنتج ثلاث حلقات ($\frac{3}{2}$ طول موجة).

■ **نقطة فحص**

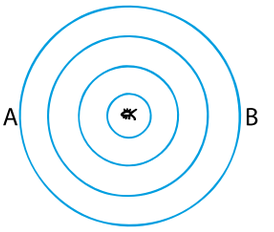
1.هل من المحتمل لموجة واحدة أن تلغي موجة أخرى بحيث لا تبقى أيّ سعة؟
2.افترض أنك أنشأت موجة واقفة من ثلاثة أجزاء، كما يظهر في الشّكل 28.10ج. إذا هززت بضعف تردد الموجة، فما عدد الأجزاء الموجيّة في الموجة الواقفة الجديدة؟ ما عدد الأطوال الموجيّة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1.نعم. يسمّى هذا تداخلا هدّامًا. عند ظهور الموجة الواقفة في حبل، مثلًا، تكون أجزاء من الحبل دون سعة؛ العقد.
2.إذا أثرت بضعف التّردد في الحبل، فستنتج موجة واقفة بضعف عدد الأجزاء (6). بسبب أنّ طول الموجة الكامل له جزءان، فيكون هناك ثلاثة أطوال موجية كاملة في الموجة الواقفة.

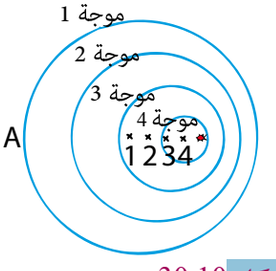
■ 8.10 ظاهرة دوبلر

خذ حشرة في وسط بركة صغيرة هادئة. تنتج هذه الحشرة نمطًا من أمواج الماء عندما تهزّ قدميها إلى الأعلى والأسفل (الشّكل 29.10). إنّ الحشرة لا تنتقل إلى أيّ مكان، بل تتحرك على سطح الماء في موقع ثابت. تكون الموجات التي تصنعها عبارة عن دوائر متحدة بالمركز لأنّ سرعة الموجة متساوية في الاتجاهات جميعها. وإذا كانت الحشرة تهتز في الماء بتردد ثابت، فإنّ المسافة بين قمم الموجة تكون هي نفسها في الاتجاهات كافة. تتعرض الموجات للنقطة A بالقدر نفسه التي تتعرض للنقطة B. وهكذا يكون تردد حركة الموجة هو نفسه عند النقطتين A وB، أو في أيّ نقطة حول الحشرة. يبقى تردد الموجة هو نفسه تردد اهتزاز الحشرة.



الشّكل 29.10
منظر علويّ لأمواج الماء المصنوعة من حشرة ساكنة تهتزّ في ماء راكد.

افترض أنّ الحشرة المهتزة تتحرك عبر الماء بسرعة أقلّ من سرعة الموجة. تكون النتيجة أنّ الحشرة تتحرك في اتجاه جزء من الموجات التي تنتجها. ويتشوّه نمط الموجة بحيث لا يعود مكوّنًا من دوائر متحدة المركز (الشّكل 30.10). ينشأ مركز الموجة الخارجيّ عندما كانت الحشرة في مركز تلك الدائرة. وينشأ مركز الموجة التالية الأصغر عندما كانت الحشرة في مركز الدائرة التالية. ومع أنّ الحشرة حافظت على تردد النهر نفسه كما في السّابق، فإنّ الملاحظ عند B سيرى أنّ قدوم الأمواج أصبح أكثر. ويمكن للملاحظ قياس تردد أكبر. ويعزى هذا إلى أنّ كلّ موجة تابعة تقطع مسافة أكبر مما لو كانت الحشرة غير متحركة في اتجاه B. وفي المقابل، فإنّ الملاحظ عند A يقيس ترددًا أقلّ بسبب طول الوقت بين قمة الموجة ووصولها. ويعود هذا إلى أنّ كلّ تتابع موجة ينتقل أبعد حتى يصل إلى A كنتيجة لحركة الحشرة. يسمّى هذا التّغيّر في التّردد بسبب حركة المصدر (أو بسبب حركة المُستقبِل) أثرَ دوبلر (تكريمًا للفيزيائيّ والرياضي النمساوي كريسيشيان جوهان دوبلر *Doppler*، الذي عاش بين عامي 1803 و 1853م).



الشّكل 30.10
أمواج ماء مصنوعة من حشرة تسبح في ماء راكد باتجاه النقطة B.

تنتشر موجات الماء فوق سطح مستو من الماء. وفي المقابل، فإنّ موجات الصّوت والضّوء تنتقل في الفضاء في ثلاثة أبعاد في الاتجاهات جميعها كالبالون المنفوخ. وكما هو الحال من تقارب الموجات الدائرية بعضها من بعض أمام الحشرة السّابحة التي أشرنا إليها سابقا، فإنّ أمواج الصّوت والضّوء الكروية الناجمة عن مصدر متحرك تكون متقاربة بعضها من بعض، وتصل الملاحظَ بتردد أعلى. ينطبق أثر دوبلر على أنواع الموجات كلّها.

يصبح أثر دوبلر واضحًا عندما تسمع التّغيّر في درجة النّغم لسيارات الإسعاف وصفارة سيارات الإطفاء. عندما تقترب الصّفارة منك، فإنّ قمة أمواج الصّوت تضرب أذنيك بتردد أكبر وتكون درجة النّغمة أعلى من الدرجة العادية.

الشّكل 31.10
يزداد تردد الصّوت عندما يتحرك المصدر في اتجاهك، ويتناقص عندما يتحرك المصدر مبتعدًا عنك.

وعندما تجتازك الصافرة وتبتعد عنك، تعترض الصافرة أذنيك بتردد أقلّ، وتسمع انخفاضًا في درجة النّغم.

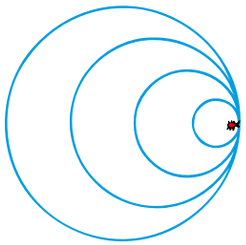
إنّ أثر دوبلر يحدث للضوء أيضًا؛ فعندما يقترب منك مصدر ضوئيّ، تزداد تردداته المقيسة، وعندما تبتعد تتناقص تردداته. تسمّى زيادةُ تردد الضّوء *إزاحةَ الأزرق*، بسبب الزيادة نحو التّردد الأعلى، أو نحو الأزرق في نهاية ألوان الطيف. في حين يسمّى نقصانُ التّردد *انحياز الأحمر*، إشارة إلى الانحياز نحو التّردد الأقلّ، أو نحو الأحمر في نهاية ألوان الطّيف. فالمجرات مثلًا، تظهر انحيازًا نحو الأحمر في الضّوء الذي تطلقه عندما تتحرك مبتعدة عنا في الكون الواسع. لقد مكّننا قياس هذا الانحياز من حساب سرعة هذه المجرات. يظهر نجم يدور بسرعة بحيث يكون جانبه مبتعدًا عند انحياز أحمر ويظهر انحيازًا أزرق عندما يكون الجانب في اتجاهنا. وهذا يُمكّننا من حساب معدل دوران النجم.

■ **نقطة فحص**

عندما يقترب منك مصدر صوتيّ أو ضوئيّ، فهل تكون هناك زيادة في سرعة الموجة أم نقصان؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ليس هناك زيادة ولا نقصان! يتعرض تردد الموجة لتغير عندما يتحرك المصدر، ولا تتغير سرعة الموجة.



الشّكل 32.10
نمط الموجة الذي تعمله حشرة سابحة بسرعة الموجة.

■ 9.10 الأمواج المنحنية والانفجار الصّوتيّ

عندما ينتقل مصدر موجات بالسرعة نفسها التي للموجات التي ينتجها، ينتج حاجز موجة. مثلًا، خذ الحشرة في المثال السّابق، إذا كانت تسبح بالسّرعة نفسها للموجة التي تنتجها، فإنّها تبقى مع الموجة التي تنتجها. وبدلًا من الحركة أمام الحشرة، فإنّ الموجات تتراكب مباشرة بعضها فوق بعض مشكلة سنامًا أمام الحشرة (الشّكل 32.10). وهكذا، فإنّ الحشرة تتعرض لحاجز موجة. لذا، فإنّ على الحشرة أن تبذل جهدًا أكبر لتسبح فوق السّنام قبل أن تستطيع السباحة بأسرع من سرعة الموجة.

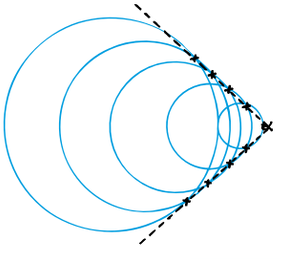
إنّ الشيء نفسه يحدث عندما تنتقل طائرة بسرعة الصّوت نفسها. تتداخل الموجات لإنتاج حاجز من الهواء المضغوط على الأطراف الأمامية للأجنحة، وعلى الأجزاء الأخرى من الطائرة. تحتاج الطائرة إلى دفع كبير جدًّا للانتقال خلال الحاجز قبل الدخول فيه (الشّكل 33.10). وعند دخولها إلى الحاجز، فإنّ الطائرة تستطيع التحليق بسرعة أكبر من سرعة الصّوت دون مقاومة مشابهة. وتكون سرعة الطائرة هنا فوق صوتية. إنها تشبه الحشرة التي ستجد الوسط أمامها ناعمًا نسبيًّا، وغير مضطرب عندما تتخطى حاجز الموجة.

الشّكل 33.10
يمكن رؤية تكثيف بخار الماء بالتّمدّد السّريع للماء في المناطق المخلخلة خلف جدار الهواء المضغوط.

عندما تكون سرعة سباحة الحشرة أكبر من سرعة الموجة فإنّها تنتج نمطًا من الأمواج المتداخلة، كالمبيّن بوضوح في الشّكل 10.34. تتقدم الحشرة الموجة التي كوّنتها وتتجاوزها. وتشكّل الأمواج المتداخلة شكل V التي تسمّى **الموجةَ المنحنيةَ** . وتظهر خلف الحشرة.

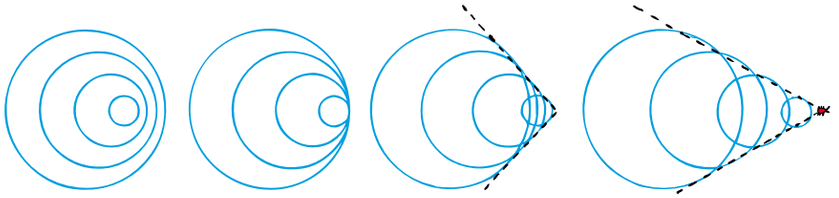
تنتج الأمواج المتداخلة الموجة المنحنية المألوفة والناتجة من قوارب السّرعة عند تجذيفها خلال الماء.

يبين الشّكل 35.10 بعض أنماط الموجة المتولّدة من مصدر متحرك بسرعات مختلفة. لاحظ أنه بعد أن تتخطى سرعة المصدر سرعة الموجة، تنتج زيادة السّرعة حرف V ضيّقا * كما هو موضح في الشكل 34.10 المبين.



الشّكل 34.10
نمط موجة مثاليّ مصنوع من حشرة تسبح بسرعة أكبر من سرعة الموجة.

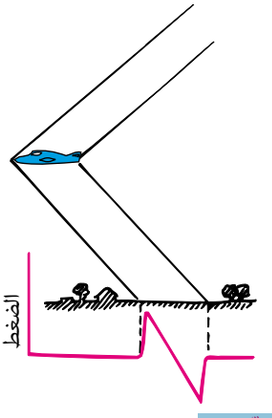
* الأمواج المنحنية التي تنتجها القوارب في الماء أكثر تعقيدًا مما يشار إليه هنا. تخدم معالجتنا المثالية هنا مناظرة لإنتاج أمواج صادمة في الهواء تكون أقلّ تعقيدًا.



الشّكل 35.10
أنماط نموذجيه مصنوعة من حشرة تسبح بسرعات متدرجة. يحدث التطابق عند الأطراف فقط عندما تسبح الحشرة بسرعة أكبر من سرعة الموجة.

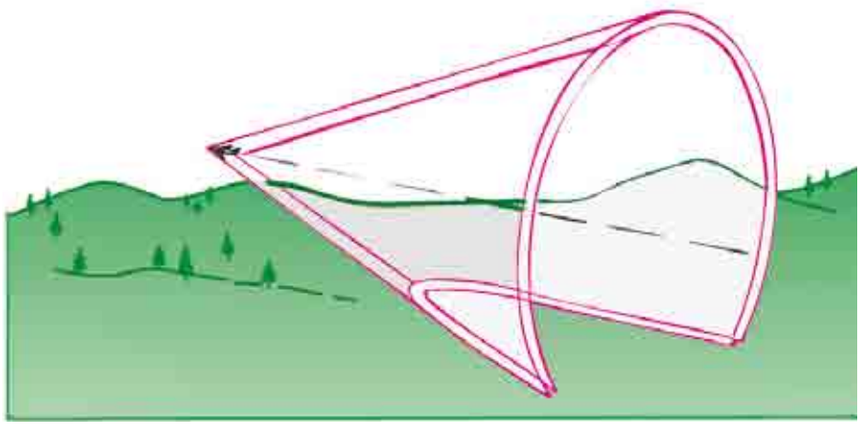
الشّكل 36.10
الموجة الصادمة للرصاصة المخترقة للوح من الزجاج. ينحرف الضّوء عند مروره خلال الهواء المضغوط الذي يصنع الموجة الصادمة، والذي يجعلها مرئية. إذا أنعمت النظر فسترى الموجة الصادمة الثانية التي تنتج عند ذيل الرصاصة.

في حين يولّد قارب السباق موجة منحنية في بعدين على سطح الماء عندما يشقّ طريقه خلاله. وبالمثل، تولّد الطائرة موجة صادمة في ثلاثة أبعاد عندما تطير أسرع من الصّوت. كما تنتج الموجة المنحنية عن تداخل دوائر تشكّل حرف V. فإنّ الموجة الصادمة *(Shock Wave)* تنتج عن تداخل كرات تشكّل مخروطًا. وكما تنتشر الموجة المنحنية حتى تصل إلى شاطئ البحيرة، فإنّ المخروط المندفع المتولّد من الطائرة فوق الصّوتيّة ينتشر حتى يصل الأرض.وقد تتسبب الموجة المنحنية في بللك وصدمك عند مرورها بجانبك إذا كنت على الشاطئ. ويمكنك القول مجازيًا: لقد تعرضت "لانفجار مائيّ".



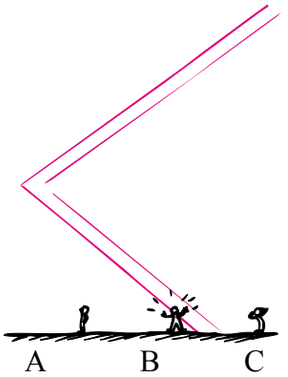
الشّكل 37.10
تتكون الموجة الصادمة في الواقع من مخروطين؛ مخروط ضغط عالٍ وتكون قمته عند الانحناء، ومخروط ضغط منخفض قمته عند الذيل. يأخذ رسم ضغط الهواء عند مستوى الأرض بين المخروطين شكل حرف N.

وبالمثل، عند انطلاق قذيفة الهواء المضغوط المخروطية من خلف الطائرة فوق الصّوتيّة، ووصولها إلى المستمعين على الأرض في الأسفل، فإنّهم يصفون الصّوت الحاد الذي يسمعونه بأنه **انفجار صوتيّ.**
يألف المتزلج على الماء حقيقة وجود انحدار على شكل – V، مجاور لأعلى السّنام للموجة المنحنية على هذا الشكل. وينطبق الشيء نفسه على الموجة الصادمة التي تتكوّن من مخروطين هما: 1- المخروط ذو الضغط العالي عند مقدمة الطائرة فوق الصّوتيّة 2- المخروط ذو الضغط المنخفض الذي عند ذيل الطائرة. تظهر حواف هذين المخروطين في صورة الرصاصة فوق الصّوتيّة في الشّكل 36.10. يرتفع الضغط ارتفاعًا حادًّا أكبر من الضّغط الجويّ بين هذين المخروطين، ثم ينخفض فجأة إلى أدنى من الضّغط الجويّ قبل أن يعود بسرعة إلى الوضع الطّبيعيّ عند ذيل المخروط الدّاخليّ (الشّكل 37.10). يعزز تتابع الضّغط المرتفع والضّغط المنخفض الفجائيّ الأزيز الصّوتيّ.



الشّكل 38.10
الموجة الصادمة.

وهناك فكرة شائعة ولكنها غير صحيحة، وهي أنّ الأزيز الصّوتيّ ينتج عندما تكسر الطّائرة حاجز الصّوت، أي لحظة تجاوز الطّائرة سرعة الصّوت فقط. وهذا يشبه تمامًا القول إنّ القارب ينتج الموجة المنحنية عندما يتجاوز أمواجه. وهذا غير صحيح. أمّا ما يحدث فهو أنّ الموجة الصادمة وأزيزها الصّوتي الناتج يرتدان باستمرار خلف الطائرة التي تنتقل أسرع من الصّوت، مثلما ترتد الموجة المنحنية وراء قارب السّباق. في الشّكل 39.10: المستمع *B* في وضعية سماع الانفجار الصّوتيّ. أمّا المستمع *C* فقد سمعها قبل لحظة، في حين أنّ المستمع *A* سيسمعها قريبًا. وقد تكون الطّائرة التي أحدثت هذه الموجة الصادمة قد اندفعت خلال حاجز الصّوت قبل ساعات!



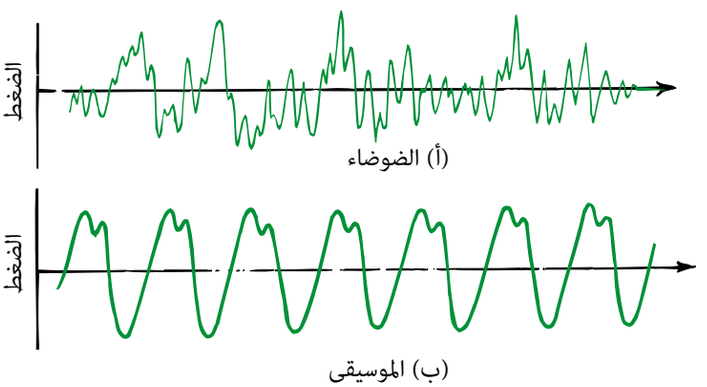
الشّكل 39.10
الموجة الصادمة لم تصل إلى المستمع عند A، ولكنها وصلت الآن المستمع عند B، وكانت قد وصلت إلى المستمع عند C.

لا تخلط بين فائق الصّوت وفوق الصّوتيّ؛ ففائق الصّوت له علاقة بالسرعة، أي أسرع من الصّوت، في حين أنّ فوق الصّوتيّ له علاقة بالتّردد، أي تردد أعلى من الذي نستطيع سماعه.

لا يحتاج مصدر الصّوت أن يكون "ضوضائيًّا" حتى ينتج موجة صادمة. طالما ينتقل الجسم أسرع من الصّوت، فإنّه يحدث صوتًا. تُحدث الرّصاصة فوق الصّوتيّة دويّا عند عبورها من فوق. وهذا انفجار صوتيّ طفيف. ولكن، إذا كانت الرّصاصة أكبر، وأحدثت تشوهات (اضطرابات) في مسار الهواء، فإنّ الدّوي يشبه الانفجار بشكل أكبر. وعندما يضرب المروّض في السّيرك الأسد بالسّوط، فإنّ دوي السّوط هو في الحقيقة انفجار صوتيّ نتج لأنّ رأس السّوط يتحرك بسرعة أكبر من سرعة الصّوت. كل من الرّصاصة والسّوط ليسا مصدرين للصوت وحدهما، ولكن عندما يتحركان بسرعات فوق صوتية، فإنّهما ينتجان أصواتًا عند توليدهما أمواجًا صادمة.

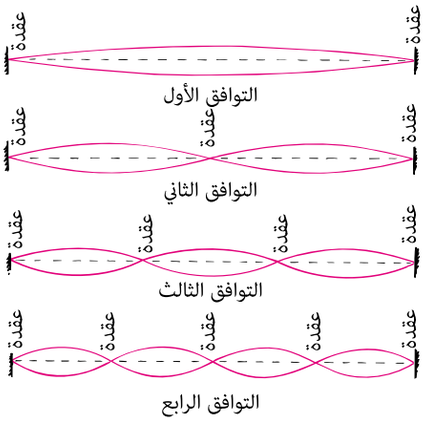
10.10 الأصوات الموسيقيّة

معظم الأصوات التي نسمعها هي ضوضاء؛ ومثال ذلك أثر سقوط جسم، وإغلاق الباب بشدة، وصوت الدّراجة. ومعظم الأصوات في شوارع المدن المكتظة. تقابل الضّوضاء الاهتزازات غير المنتظمة لطبلة الأذن النّاتجة عن مصدر يهتز دون انتظام. يبين الشكلان 14.10أ و14.10ب تغير ضغط الهواء على طبلة الأذن. في الجزء أ، نرى النمط غير المنتظم للضوضاء. وفي الجزء ب، نرى أنّ الصّوت الموسيقيّ له أشكال تتكرّر دوريًّا. إنّ هذه النّوتات دورية، أو "نوتات" موسيقية. (ولكن الأجهزة الموسيقيّة نفسها تعمل ضوضاء!) مثل الرسوم التي يمكن رؤيتها على شاشة راسم الذبذبات عندما يلتقط إشارة كهربائية من الميكروفون إلى هذا الجهاز المفيد.

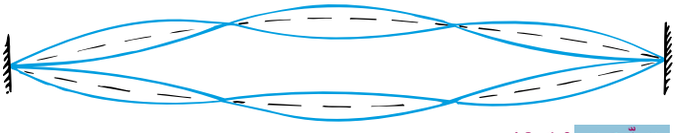


الشّكل 41.10
رسوم تمثيلية للضّوضاء والموسيقى.

الشّكل 40.10
الفيزيائية ليندا Lynda، مدرسة الفيزياء في كلية سانتاروزا Santa Rosa مندمجة تمامًا في فيزياء الموسيقى.

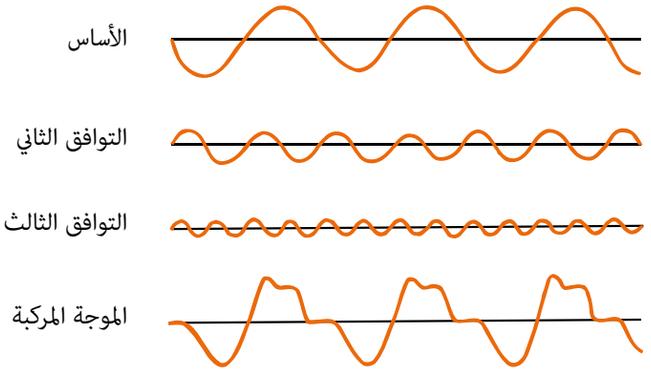


الشّكل 42.10
أنماط الاهتزاز لوتر الجيتار.



الشّكل 43.10

الاهتزاز المركّب للنّمط الأساس والتّوافقيّ الثّالث.



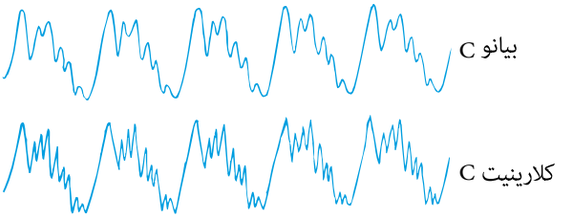
الشّكل 44.10

اتحاد أمواج جيب لإنتاج موجة مركبة.

من يقدر الموسيقى أكثر؛ الذي يفهمها، أم المستمع العادي؟

يمكننا التّمييز بين نغم كلّ من البيانو والكلارنت بدرجة النغم (التّردد) المتساوية. لكلّ من هذه النّغمات صوت مميز يختلف في **الجودة** أو الجَرْس. أو مزيج من التوافقيات المختلفة في الشّدة. تتكون معظم الأصوات الموسيقيّة من تراكب عدة ترددات تسمّى **نغمات جزئية**، أو ببساطة جزئية. يسمّى أخفض تردد **التّردد الأساس**، وهو يحدّد درجة النّغم كالنوتة. وتسمّى النغمات الأليفة الجزيئية التي تتكون من عدد كامل من التّردد الأساس **توافقيات**. ويكون النّغمُ الذي له ضعف التّردد الأساس توافقيًّا ثانيًا. في حين يكون النّغمُ الذي له ثلاثة أضعاف التّردد الأساس توافقيًا ثالثًا. وهكذا (الشّكل 42.10)*. وتعطي مختلف النّغمات الأليفة الجزئية النوتة الموسيقيّة خصائصها النوعية. وهكذا، فإذا ضربنا منتصف (C) على البيانو. فإنّنا ننتج نغمة أساسية ترددها 262 هرتز تقريبًا. وخليطًا من النغمات الجزئية من اثنتين، وثلاثة، وأربعة، وخمسة، إلى آخره مضروبة في التّردد الأساس للوسط (C). يحدّد العدد والعلو النّسبيّ للنغمات الأليفة الجزيئية جودة الصّوت المرتبط بالبيانو. عمليًّا، يتكون الصّوت في أيّ جهاز موسيقيّ من الأساس والجزئيات. إنّ النغمات الصّافية هي تلك التي لها تردد أحاديّ. ويمكن إنتاجها إلكترونيًّا؛ فمثلًا، تنتج الأجهزة الإلكترونية لضبط الصّوت، نغمات صافية . وخليطًا من هذه النغمات الصّافية لإنتاج الكثير من مختلف الأصوات الموسيقيّة. تتحدّد جودة النّغم بوجود مختلف الجزئيات وبشداتها النّسبيّة. تدرك الأذن مختلف الجزئيّات، وتميّز الأصوات المختلفة التي ينتجها البيانو والكلارنت. ويكون لزوج من النغمات بالتّردد نفسه جودةٌ مختلفةٌ بسبب اختلاف الجزئيّات أو شدّاتها النّسبيّة.

ومن المدهش أنّنا نستطيع تمييز الجهاز الموسيقي الذي عُزِفَ به عند سماع الموسيقى الصادرة عنه ومعرفة النوتات التي عزفت أيضا، إضافة إلى معرفة ارتفاع الصّوت النّسبيّ. وبغض النظر عما إذا كان العزف مباشرًا أم إلكترونيًّا، فإنّ آذاننا تستطيع تحليل إشارة الصّوت إلى أجزائها تلقائيًّا. يتم إنجاز هذا العمل بهذه الروعة وبتحليل فورييه (*Fourier*) الذي نختم به دراستنا للصّوت.



الشّكل 45.10

تختلف الأصوات من البيانو والكلارنيت في النوعية.

لمعلوماتك

■ اكشط قرصًا مضغوطًا CD، وامسحه بمعجون أسنان بلطف. إنّ المادة الكاشطة التي تلمّع الأسنان يمكنها أيضًا صقل القرص آثار الكشط عنه.

الشّكل 46.10

هل يسمع كل مستمع الموسيقى نفسها؟

* ليست النغماتُ الأليفة الجزئية الموجودة في النغم المركب جميعها مضاعفَ عدد صحيح. وعلى عكس التوافقيات لآلة النفخ، فإنّ الآلات الوترية كالبيانو، تنتج نغمات جزئية "مشدودة" والتي تكون توافقيات على نحو تقريبيّ وليس بالكامل.

تحليل فوريه

لقد اكتشف الرّياضيّ الفرنسي جوزيف فورييه Joseph Fourier أحد أهم الاكتشافات في الموسيقى عام 1822م، وهو أنّ حركة الموجة يمكن اختزالها إلى موجات جيبية بسيطة. إنّ موجة الجيب هي أبسط الموجات، ولها تردد مفرد، كما هو مبين في الشّكل 44.10. وحيث إنّ الأمواج الدورية جميعها مهما كانت معقدة، فإنّه يمكن تجزئتها إلى مكوناتها الأساسية من أمواج الجيب بسعات وترددات مختلفة. تسمّى هذه العملية الرياضية تحليلَ فورييه. وهنا لن نشرح رياضيات، ولكن سنشير ببساطة إلى أنّه يمكن إيجاد نغمة الجيب الصّافية التي تكون نغمة، كالكمان مثلا. عندما تسمع هذه النغمات الصّافية معًا، كما يحدث عند ضرب عدد من الشوكات الرنانة، أو باختيار عدد من المفاتيح في الأرغن الكهربائيّ، ستلاحظ أنّها تتّحد لإنتاج نغمة الكمان. تكون موجة الجيب الأقلّ ترددًا هي الأساس، وهي التي تحدّد درجة النّغم للنوتة. تشكل موجات الجيب الأعلى تردد الجزئيات، وهي التي تعطي النغمة خصائص الجودة النوعية. وهكذا، فإنّ هيئة الموجة لأيّ صوت موسيقيّ هي مجموع موجات جيب بسيطة.

وبسبب أنّ هيئة الموجة تتكون من العديد من أمواج الجيب المختلفة، ولكي ننسخ الصّوت بدقة من المذياع، أو شريط التسجيل، أو القرص المكثف، فعلينا أن نكون قادرين على تسجيل أكبر مدى من التّرددات قدر الاستطاعة. يتراوح مدى لوحة مفاتيح البيانو بين 27 هرتز إلى 4200 هرتز، ولكن لنسخ موسيقى طبق الأصل، يجب أن يحتوي النّظام الصّوتيّ على مدى من التّرددات حتى 20,000 هرتز. وكلما كبر مدى التّرددات لنظام صوت كهربائيّ، فإنّ المخرج الموسيقي سيقترب من الصّوت الأصلي. وهكذا، فإنّ المدى الواسع من التّرددات هو الذي يمكن أن ينتج نظامًا صوتيًّا عالي الدقة.

تقوم الأذن تلقائيًّا بصنف من تحليل فورييه. إنها تصنّف الخليط المركّب من نبضات الهواء التي تصل إليها وتحولها إلى نغمات صافية. ونحن نعيد اتحاد المجموعات المختلفة من هذه النغمات الصّافية عندما نسمعها. يحدّد مزيج النغمات التي ركّزنا عليها ما نسمعه في حفل موسيقيّ. يمكننا توجيه اهتمامنا إلى أصوات الأجهزة المختلفة وتمييز أضعف النغمات من أشدها، ويمكننا كذلك أن نسرّ بالتفاعل المعقد للأجهزة. ومع ذلك، نستطيع كشف الضجيج للآخرين من حولنا؛ إن هذا من أعظم النعم!

ملخّص المصطلحات

الاهتزاز Vibration: تذبذب مع الزّمن.

الموجة Wave: تذبذب في المكان والزمان معًا.

السّعة Amplitude: (الاتساع) للموجة أو الاهتزاز، أعظم إزاحة على أيّ جانب من موقع الاتزان (نقطة التّصف).

طول الموجة Wavelength: المسافة بين قمتين، أو بطنين متتاليين، أو أيّ جزأين متماثلين متتابعين من الموجة.

التّردد Frequency: لجسم أو وسط مهتز، هو عدد الاهتزازات في وحدة الزّمن. أمّا للموجة فهو عدد القمم التي تمر بنقطة معينة في وحدة الزّمن.

هرتز Hertz: الوحدة العمليّة للتّردّد: الهرتز الواحد يساوي ترددًا واحدًا لكلّ ثانية.

الدّورة Period: الزّمن اللازم لحصول اهتزاز واحد، أو الزّمن اللازم لتكمل الموجة دورة كاملة، وتساوي 1/التّردّد.

سرعة الموجة Wave speed: السّرعة التي تتخطى بها موجة نقطة معينة. سرعة الموجة = التّردد × طول الموجة.

الموجة العرضيّة Transverse wave: الموجة التي يكون اتجاه الوسط المهتز متعامدًا (عرضيًّا) على الاتجاه الذي تنتقل فيه الموجة. يتكون الضّوء من أمواج عرضية.

الموجة الطّوليّة Longitudinal wave: الموجة التي يكون اتجاه الوسط المهتز موازيًا (طوليًّا) لاتجاه انتقال الموجة. تكون أمواج الصّوت طولية.

التّضاغط Compression: منطقة كثيفة للوسط، تنتقل من خلالها الموجة الطولية.

التّخلخل Rarefaction: منطقة تخلخل، أو منطقة ضغط خفيف للوسط الذي تنتقل من خلاله الموجة الطّوليّة.

درجة النّغم Pitch: البصمة الذاتية لتردد الصّوت.

الانعكاس Reflection: عودة موجة الصّوت، الصدى.

الترداد Reverberation: إعادة صدى الصّوت.

الانكسار Refraction: انحناء الموجة، إما خلال وسط غير منتظم، أو انتقالها من وسط إلى آخر بسبب الاختلاف في سرعتها.

الاهتزاز القسريّ Forced vibration: بدء الاهتزازات في جسيم بواسطة قوة مهتزة .

التّردد الطّبيعيّ Natural frequency: التّردد الذي يميل الجسم المرن للاهتزاز به طبيعيًّا، ومن ثم نحتاج إلى الحد الأدنى من الطّاقة لإنتاج اهتزاز قسريّ، أو لاستمرار الاهتزاز بهذا التّردد.

الرّنين Resonance: استجابة الجسم عندما يتساوى التّرددان: القسريّ والطّبيعيّ.

التّداخل Interference: خاصية لأنواع الموجات جميعها التي لها طول الموجة نفسها عادة. ينتج التّداخل البنّاء من تعزيز القمة إلى القمة، وينتج التّداخل الهدّام عن اختزال قمة – بطن.

الضّربات Beats: سلسلة من التعزيزات والإلغاءات المتناوبة التي تنتج من التّداخل لموجتين تختلفان قليلًا في ترددهما، وتسمع على شكل خفقان في أمواج الصّوت.

الموجة الواقفة Standing wave: يتشكّل نمط موجة مستقرة في الوسط عند مرور مجموعتين من الأمواج المتماثلة خلال وسط في اتجاهين متعاكسين.
أثر دوبلر Doppler effect: تغير في تردد موجة متحركة نتيجة حركة المرسل أو المستقبل.
الموجة المنحنية Bow wave: الموجة المتكوّنة على شكل حرف V من جسم متحرك عبر سطح سائل بسرعة أكبر من سرعة الموجة.
الموجة الصّادمة Shock wave: الموجة المتكوّنة على شكل مخروط من جسم متحرك بسرعة صوتية فائقة خلال مائع.
الانفجار الصّوتيّ Sonic boom: علو الصّوت النّاتج عن الموجة الصادمة.
الجودة Quality: النغمة المميزة للصوت الموسيقي، والذي يحكم وبالشدة النسبية للنغمات الأليفة الجزئية وعددها. النّغمة الأليفة الجزئية **Partial tone:** أحد التّرددات الموجودة في نغم مركب. عندما يكون النغم الجزئيّ مضاعف عدد صحيح لأقلّ تردد، فسيكون توافقيًّا.
التّردد الأساس Fundamental frequency: أقلّ تردد للاهتزاز، أو التوافقي الأول. يصنع اهتزاز الوتر قطعة مفردة.
التوافقيّ Harmonic: النّغم الجزيئيّ الذي هو مضاعف عدد التردد الأساس. الاهتزاز الذي يبدأ بتردد الاهتزاز هو التوافق الأول، ضعف الأساس هو التوافقيّ الثّاني، وهكذا على التتابع.

أسئلة مراجعة

1.10 الاهتزازات والأمواج

1. ما مصدر الأمواج جميعها؟
2. ميّز بين أجزاء الموجة المختلفة: الدورة، والسّعة، وطول الموجة، والتّردد.
3. كيف ترتبط الدورة والتّردد معًا؟

2.10 الحركة الموجيّة

4. بكلمة واحدة، ما الذي يتحرك من المصدر إلى المستقبل في حركة الموجة؟
5. هل يتحرك الوسط الذي تنتقل الموجة فيه مع الموجة؟ هاتِ أمثلة لدعم إجابتك.
6. ما العلاقة بين كلّ من التّردد، وطول الموجة، وسرعتها؟

3.10 الأمواج الطّوليّة والعرضيّة

7. في أيّ اتجاه تكون اهتزازات الموجة العرضيّة بالنسبة إلى اتجاه انتقال الموجة، وفي الموجة الطّوليّة؟
8. ميّز بين التضاغط والتخلخل.

4.10 أمواج الصّوت

9. في أي الوسطين ينتقل الصّوت أسرع: في الهواء السّاخن أم الهواء البارد؟ دافع عن إجابتك.
10. كيف تقارن سرعة الصّوت في الماء بسرعته في الهواء؟ وكيف تقارن سرعة الصّوت في الفولاذ بسرعته في الهواء؟

5.10 انعكاس الصّوت وانكساره

11. ما قانون انعكاس الصّوت؟
12. ما التّردد؟
13. كيف ترتبط سرعة الموجة مع ظاهرة الانكسار؟
14. هل يميل الصّوت إلى الانحناء إلى الأعلى أم إلى الأسفل عندما تكون سرعته بالقرب من الأرض أقلّ من سرعته في الأعلى؟
15. هناك فرق بين الطريقة الخاملة التي نرى محيطنا فيه أثناء النهار والطريقة النشطة التي نحسه بها في أثناء الليل بكشافات الضّوء. أيّ هاتين الطريقتين تشبه أكثر الطريقة التي يدرك بها الدلفين محيطه؟

6.10 الاهتزازات القسرية والرّنين

16. لماذا يكون صوت الشوكة الرنانة عند ضربها أعلى إذا وضعت مقابل سطح طاولة؟
17. ميّز بين الاهتزازات القسرية والرّنين.
18. عندما تسمع المذياع، لماذا تسمع محطة واحدة فقط في الزمن الواحد بدلًا من سماع عدة محطات معًا؟
19. لماذا تسير الجيوش بخطوات غير منتظمة عند عبور جسر؟

7.10 التّداخل

20. ما أنواع الأمواج التي تبدي تداخلًا؟
21. ميّز بين التّداخلين: البنّاء والهدّام.
22. ماذا يعني قولك إن موجة خارج الطور مع موجة أخرى؟
23. ما الظّاهرة الفيزيائيّة التي تشكّل أساس الضّربات؟
24. ما العقدة؟ وما البطن؟

8.10 ظاهرة دوبلر

25. في ظاهرة دوبلر، هل يتغير التّردد؟ هل يتغير طول الموجة؟ هل تتغير سرعة الموجة؟
26. أين يمكن ملاحظة ظاهرة دوبلر: في الأمواج الطّوليّة، أم في الأمواج العرضيّة، أم في كليهما؟

9.10 الأمواج المنحنية والانفجار الصّوتيّ

27. كيف تقارن سرعة مصدر الموجة بسرعة الموجات نفسها عندما يتكوّن حاجز الصّوت؟ كيف يمكن مقارنتهما عند تكوّن موجة منحنية؟
28. كيف يعتمد شكل V لموجة منحنية على سرعة مصدرها؟
29. يحدث الانفجار الصّوتيّ فقط عندما تكسر طائرة حاجز الصّوت. هل هذه العبارة صحيحة؟ دافع عن إجابتك.

10.10 الأصوات الموسيقيّة

30. ميّز بين الصّوت الموسيقيّ والضّوضاء.

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ●ما مصدر حركة الموجة؟
2. ●إذا ضاعفنا تردد جسم مهتز، فماذا يحدث لدورته؟
3. ●إذا غمست إصبعك عدة مرات في بركة ماء وتكوّنت موجات، فما الذي يحدث لطول الموجة إذا غمست إصبعك بتكرار أكثر؟
4. ●كيف تقارن تردد جسم صغير مهتز طاف فوق الماء مع عدد الأمواج التي تمرّ من جانبه في كلّ ثانية؟
5. ●ما نوع الحركة التي يمكنك أن تعطيها لمقدمة خرطوم ماء الحديقة بحيث يقترب الماء النافذ من منحنى جيبيّ؟
6. ●ما نوع الحركة التي تمنحها لزنبرك مشدود لإنتاج موجة عرضيّة، وموجة طولية؟
7. ●إذا فتحت صنبور غاز عدة ثوانٍ فسيسمع شخص على بعد عدة أمتار انبعاث الغاز قبل أن يشمه. إلامَ يشير هذا حول سرعة الصّوت وحركة الجزيئات للوسط الناقل له؟
8. ●تستطيع القطة سماع صوت بترددات حتى 70,000 هرتز، وترسل الخفافيش أصواتًا ذات ترددات عالية حتى 120,000 هرتز وتستقبلها. أيّ الحيوانات تسمع أصواتًا ذات أمواج طولية أقصر، القطط أم الخفافيش؟
9. ●ماذا يعني أنّ محطة إذاعة هي "101.1 على مقياس FM"؟
10. ● إذا كان تردد الصّوت من المصدر A هو ضعف التّردد من المصدر B، فقارن بين الأطوال الموجيّة للصوت من المصدرين.
11. ● افترض أنّ لموجة الصّوت التّردد نفسه لموجة كهرومغناطيسية. أيهما لها موجة أطول؟
12. ●يمكنك ملاحظة الدخان من بندقية بدء السّباق من الواقف على منصة الحلبة قبل سماع صوت الإطلاق. فسّر.
13. ● في المباريات الأولمبية، يُستخدم الميكروفون لالتقاط الصّوت من بندقية الانطلاق، ومن ثمَّ يرسل إشارة كهربائية للمتحدثين في كلّ زاوية من مضمار السّباق. لماذا؟
14. ● في اللحظة نفسها التي توجد منطقة ضغط عال خارج الشّعبة المهتزة للشوكة الرنانة، ما الموجود بين الشعبتين؟
15. ●لماذا يكون هناك هدوء تام بعد سقوط الثّلج؟
16. ● إذا رنّ الجرس داخل كأسه، فلن نسمعه إذا كان مفرغًا من الهواء، ولكننا نستطيع رؤيته. إلامَ يشير هذا حول خصائص الصّوت والضّوء؟
17. ●لماذا يوصف القمر بالكوكب الصّامت؟
18. ● عندما تصبّ ماءً في كأس، في الوقت الذي تنقر بتكرار عليها بملعقة، عند ملء الكأس المقروعة. هل يزيد تردد الصّوت أم ينقص؟ (ما الذي عليك فعله للإجابة عن هذا السّؤال؟)
19. ● إذا كانت سرعة الصّوت تعتمد على تردده، فهل تستمع في صالة موسيقى إذا كنت جالسًا في الدور الثانيّ؟
20. ● إذا تضاعف تردّد الصّوت، فماذا يحدث لسرعته؟ وما الذي يحدث لطول موجته؟ دافع عن إجابتك.
21. ●لماذا ينتقل الصّوت بسرعة أكبر في الهواء السّاخن؟
22. ●لماذا ينتقل الصّوت بسرعة أكبر في الهواء الرطب؟ (مساعدة: عند درجة الحرارة نفسها، تكون جزيئات الماء -البخار لها المعدل نفسه لطاقة الحركة التي للجزيئات الثقيلة من النيتروجين والأكسجين في الهواء. إذن، كيف تقارن معدل سرعات جزيئات H_2O بما لجزيئات النيتروجين والأكسجين؟).
23. ● لمَ يكون الصدى أضعف من الصّوت الأصليّ؟
24. ● ما الخطآن الفيزيائيّان في فيلم علمي يبين حدوث انفجار في الفضاء البعيد ويمكنك رؤيته وسماعه في الوقت نفسه؟
25. ● هناك قاعدة بسيطة عملية لتقدير المسافة بالكيلومترات بين المراقب ووميض البرق وهي بقسمة عدد الثواني في الفترة بين الوميض وسماع الصّوت على ثلاثة. هل هذه القاعدة صحيحة؟
26. ■ إذا أرسل اضطراب أحاديّ في منطقة مجهولة المسافة الأمواج الطّوليّة والعرضيّة، وكل منهما تنتقل بسرعة متميزة عن الأخرى في ذلك الوسط، كالزلازل في الأرض، فكيف يمكن تقدير المسافة بين المراقب والاضطراب؟
27. ● لماذا يخالف الجنود الموجودون في نهاية استعراض طويل خطى الجنود في المقدمة؟
28. ● ما الخطورة التي يتسبب بها النّاس الجالسون في شرفات قاعات الموسيقى عند ضربهم الأرض بأرجلهم بإيقاعات منتظمة؟
29. ● لماذا يكون صوت الكنار ناعمًا مقارنة بصوت البيانو؟
30. ● إذا أمسكت شوكة رنانة بثبات على سطح طاولة فسيصبح الصّوت الصّادر عنها أعلى. لماذا؟ كيف يؤثر هذا في طول الفترة الزّمنية التي تستمر الشّوكة في الاهتزاز بها؟ فسّر.
31. ● ما المبدأ الفيزيائيّ الذي يستخدمه مانويل عندما يتناغم مع التّردد الطّبيعيّ للأرجوحة؟

32. ● السّيتار، جهاز موسيقيّ هنديّ، له مجموعة من الأوتار تهتز وتنتج موسيقى حتى دون نقرها. تكون هذه "الأوتار التأثرية" مماثلة للأوتار المتأرجحة ومثبتة أسفلها. ما تفسيرك؟
33. ● ينقل جهاز خاص الصّوت بطورٍ معاكس مع الصّوت من مثقاب ضوضائيّ إلى مشغل المثقاب بواسطة سماعات الأذن. ومع ضوضاء المثقاب، يستطيع المشغل سماع صوتك بسهولة في حين لا تستطيع أنت سماعه، فسّر.
34. ■ يمكن لموجتي صوت بالتردد نفسه أن تتداخلا معًا، ولكن ينبغي أن تختلفا في التردد لإحداث ضربات. لماذا؟
35. ■ يمشي صديقك إلى جانبك 50 خطوة واسعة في الدقيقة، أمّا أنت فتمشي 48 خطوة في الدقيقة. إذا بدأتما معًا بالخطوة نفسها، فهل تلتقيان مرة أخرى؟
36. ■ افترض أنّ ضابط البيانو سمع ثلاث ضربات في الثانية عندما سُمح لاخاد الصّوت من شوكة رنانة مع نغمة البيانو التي يجري ضبطها. وبعد أنّ شدّ الوتر قليلا، سمع خمس ضربات في الثانية. فهل عليه شدّ الوتر أم إرخاؤه؟

37. ■ بدأت صافرة قاطرة سكة حديد ساكنة في الانطلاق، ثم بدأت التّحرك نحوك.
أ-هل يزداد التّردد الذي تسمعه، أم ينقص، أم يبقى كما هو؟
ب-ماذا عن طول الموجة التي تسمعها؟
ج-ماذا عن سرعة الصّوت في الهواء بينك وبين القاطرة؟

38. ■ عندما تضغط على زمارة سيارتك عند قيادتها نحو مستمع واقف فإنّه يسمع زيادة في ترددها. هل يسمع هذا الشخص زيادة في تردد الزمارة إذا كان هو أيضًا في سيارة تتحرك بالسرعة نفسها وفي اتجاه حركتك نفسه؟ فسّر.

39. ● كيف تساعد ظاهرة دوبلر الشّرطة على كشف السّيارات المتجاوزة للسّرعة المسموح بها؟

40. ● وجد الفلكيون أنّ الضّوء المنبعث من عنصر معين عند أحد حواف الشّمس له تردد أعلى قليلا من الضّوء المنبعث من ذلك العنصر في الطرف الآخر. ماذا تستفيد من هذه الأقيسة حول حركة الشّمس؟

41. ● هل صحيح أنّ ظاهرة دوبلر هي تغير في سرعة الموجة بسبب حركة المصدر؟ (لمَ يعدّ هذا السّؤال اختبارًا للقراءة الاستيعابية كما هو اختبار للمعرفة الفيزيائيّة؟)

42. ● عندما تزيد الطّائرة الفائقة الصّوت من سرعتها، فهل تتّسع الزّاوية المخروطيّة للموجة الصّادمة، أم تضيق، أم أنّها تبقى ثابتة ؟

43. ● إذا كان صوت الطّائرة لا يسمع من جزء من السّماء، ولكن يمكن رؤيتها، فهل هذا يعني أنّ الطّائرة تطير بسرعة أعلى من سرعة الصّوت؟ فسّر.

44. هل يحدث الانفجار الصّوتيّ في اللحظة التي تزيد سرعة الطّائرة فيها على سرعة الصّوت؟ فسّر.

45. ■ لماذا لا تنتج الطّائرة التي تطير بسرعة تحت صوتيّة انفجارًا صوتيًا مهما كان ضجيجها؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● عَدّت ممرضة 72 نبضة قلب في دقيقة واحدة. بيّن أنّ دورة نبضات القلب وترددها هما 0.83 ثانية و1.2 هرتز على الترتيب.

2. ● نعلم أنّ السّرعة تساوي v = المسافة / الزمن. بيّن أنه عندما تكون المسافة المقطوعة هي λ ، وزمن الانتقال هو دورة واحدة T (والتي تساوي 1 / التّردد) فستحصل على $v = f\lambda$.

3. ● تطهو أفران الموجات الحرارية (الميكروويف) الطعام باستخدام الموجات الدقيقة بتردد 2.45 جيجا هرتز (جيجا هرتز=10^9 هرتز). بيّن أنّ طول هذه الموجات هو 12.2 سم.

4. ● لعدة سنوات، تحيّر علماء البحار في اكتشاف أمواج صوتيّة بواسطة ميكروفونات تحت الماء في المحيط الهادئ. وكانت الأمواج التي تسمى أمواج T من أصفى الأصوات في الطبيعة. وأخيرًا اقتفى الباحثون آثار مصدر هذه الأصوات فوجدوا أنّها البراكين التي تحت الماء والتي ترنّ الفقاقيع الصاعدة من أعمدتها كأنابيب الأرجن. إنّ التّردّد النّموذجيّ لأمواج T - هو 7 هرتز. إذا علمت أنّ سرعة الصّوت في الماء 1530 م/ث، فبيّن أنّ طول موجة T - هو 219 م.

5. ● تمسح مركبة صوتيّة عمق المحيط بالأمواج فوق الصّوتيّة والتي تنتقل بسرعة 1530م/ث في ماء البحر. بين أنه إذا كان زمن التّأخير للصّدى من أعماق المحيط 6 ثوان، فإنّ عمق الماء 4590م.

6. ● يطلق خفّاش يطير في كهف صوتًا ويستقبل صداه بعد 0.1 ثانية. بيّن أنّ المسافة إلى أحد جدران الكهف هي 17 م.

7. ● طرقت سوزي قطعة خشب عندما كانت على بعد 85م من حائط قرميديّ كبير. وفي كلّ مرة كانت تصيب الخشب، تسمع صدى بعد 0.5 ثانية. استنادا إلى هذا، بيّن أنّ سرعة الصّوت 340 م/ث.

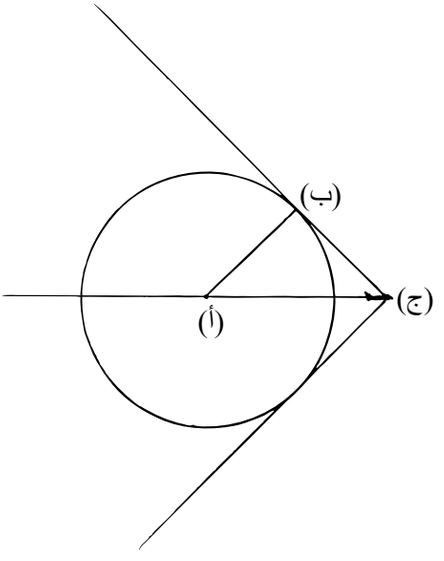
8. ● تخيّل أنّ ناسكًا متقدمًا في السّن يعيش في الجبال، وقبل ذهابه إلى النّوم يصرخ، "انهض"، وكان يسمع صدى الصّوت من أقرب جبل بعد 8 ساعات. بيّن أنّ بُعْدَ الجبل هو 5000كم تقريبًا.

9. ● عند نقر لوحة مفاتيح نوتة ترددها 256 هرتز أ- بيّن أنّ دورة اهتزاز واحدة لهذه النوتة هو 0.00391 ثانية ب- بعد مغادرة الصّوت الجهاز بسرعة 340 م/ث، بيّن أنّ طول الموجة في الهواء هو 1.33م.

10. ■ أ- افترض أنّ شخصًا أحمق أخذ يعزف على لوحة مفاتيح الجهاز تحت الماء، حيث سرعة الصّوت 1500 م/ث. بيّن أنّ طول موجة نغمة منتصف - C في الماء هو 5.86 متر. ب- فسّر لماذا منتصف C (أو أي نغمة أخرى) له موجة أطول في الماء مما هي عليه في الهواء.

11. ● ما ترددات الضربات المحتملة مع الشّوكات الرّنّانة التي لها ترددات 256، و259 و261 هرتز؟

12. ■ كما هو مبين في الرسم، فإنّ نصف الزّاوية للموجة المخروطيّة الصّادمة المتولّدة من الطّائرة فوق الصّوت هي 45°. ما سرعة الطّائرة بالنسبة إلى سرعة الصّوت؟



أنشطة استكشافية

1. اربط أنبوبًا من المطاط أو زنبركًا أو حبلًا إلى دعامة ثابتة وهزها لإنتاج موجات واقفة. انظر إلى عدد العقد التي يمكن إنتاجها.
2. افحص أيًّا من أذنيك لها سمع أفضل بتغطية إحداهما وإيجاد البعد الذي تستمع به الأذن غير المغطاة، وذلك بسماعها صوت تكّات السّماعة. كرّر التجربة بالأذن الأخرى. لاحظ أيضًا كيف تتحسن حساسية سمعك عندما تضع يديك حول أذنيك.
3. قم بالنشاط المقترح في الشّكل 24.10 بنظام مكبرات الصّوت. ببساطة، اعكس مدخلات الأسلاك إلى إحدى السّماعتين بحيث تكون الاثنتان بأطوار متعاكسة. عند عزف الصّوت ووضع السّماعتين وجهًا لوجه، يكون انخفاض الصّوت مدهشًا حقًّا! إذا كانت السّماعتان معزولتين جيدًا، فإنه لا يمكنك سماع أيّ صوت أبدًا.
4. تحتاج للقيام بهذا النشاط إلى مكبرات صوت معزولة (دون صندوق) ولوح من الخشب العاكس، وورق مقوى - كلما كان أكبر كان أفضل-. اعمل فتحة في منتصف اللوح بحجم السماعة. استمع إلى الموسيقى من السّماعة المعزولة، ثم اسمع الفرق عندما توضع مقابل الفتحة. يقلل اللوح كمية الصّوت من خلف السّماعة التي تتداخل مع الصّوت الآتي من الأمام، منتجًا صوتًا كاملا. والآن، عرفت سبب تثبيت السمّاعة في صندوق.
5. بلل إصبعك وافركه ببطء حول حافة كأس رقيقة من الزّجاج، في حين تمسك بقاعدة الكأس بثبات فوق طاولة بيدك الأخرى. يثير احتكاك إصبعك الأمواج الواقفة في الكأس، بالضبط مثل الأوتار في الفيولين من احتكاك قوس الفيولين. جرب ذلك بوعاء فلزّيّ.
6. إذا أرجحت صفّارة من أيّ نوع فوق رأسك على شكل دائرة، فإنّك لا تسمع إزاحة دوبلر، أمّا أصدقاؤك من حولك فسيسمعون، وسيزداد التّردد عندما تقترب منهم، وينقص عندما تبتعد. ثم بدّل المواقع مع صديق حتى تتمكن من سماعها.
7. حدّد أقلّ تردّد للصّوت الذي تستطيع سماعه، ثم استمر في مضاعفة التّردد حتى ترى عدد النغمات التي يغطيها صوتك.
8. انفخ في أعلى علبتين فارغتين متماثلتين، لمعرفة هل للنغمات الناتجة التّردد نفسه أم لا. ثم ضع إحداهما في الثلاجة وجرّب مرة أخرى. ينتقل الصّوت ببطء أكثر في الهواء البارد الكثيف وتكون النغمة أخفض. جرّب ولاحظ.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصل اللاحق.

اختر الإجابة الأصح في كلّ مما يلي:

1. عندما ندرس المسافة التي يتأرجح بها البندول إلى الأمام وإلى الخلف، فإنّنا نتحدث عن:
   أ. التّردد.
   ب. الدورة.
   ج. طول الموجة.
   د. السّعة.
2. إذا كان تردد موجة معينة هو 30 هرتز، فإنّ دورته هي:
   أ. $\frac{1}{30}$ ثانية.
   ب. 30 ثانية.
   ج. أكثر من 30 ثانية.
   د. لا شيء مما ذكر.
3. يهتز التّيّار الكهربائيّ المتناوب في أوربا 50 دورة في الثانية. إنّ تردّد هذه الاهتزازات هي:
   أ. 50 هرتز، وبدورة $\frac{1}{50}$ ثانية.
   ب. $\frac{1}{5}$ هرتز، وبدورة 50 ثانية.
   ج. 50 هرتز، وبدورة 50 ثانية.
   د. $\frac{1}{50}$ هرتز، وبدورة $\frac{1}{50}$ ثانية.
4. إذا غمست إصبعك مرارًا في سطح ماء راكد، فإنّك تنتج أمواجًا. وكلما زاد تكرار غمس إصبعك:
   أ. قلّ تردّد الموجة وزاد الطّول الموجيّ.
   ب. ازداد تردّد الموجة وقصر الطّول الموجيّ.
   ج. (أ + ب).
   د. لا شيء مما ذكر.
5. يكون الاهتزاز عبر الموجة الطّوليّة في اتجاه:
   أ. مواز لاتجاه الموجة.
   ب. متعامد على اتجاه الموجة.
   ج. كليهما.
   د لا شيء مما ذكر.
6. واحد مما يلي يعدّ مثالًا مألوفًا للموجة العرضيّة:
   أ. الصّوت.
   ب. الضّوء.
   ج. كلاهما.
   د. لا شيء مما ذكر.
7. عندما يُضْبَط جهاز المذياع على إشارة الراديو القادمة، فسوف يحدث:
   أ. انكسار.
   ب. اهتزاز قسريّ.
   ج. رنين.
   د. حيود.

8. عند تعرض الصّوت أو الضّوء للتداخل، فمن الممكن أحيانًا:
أ. حصول سعة أكبر من مجموع السّعات.
ب. أنْ تلغى تمامًا.
ج. كليهما.
د. لا شيء مما ذكر.
9. ما لا يمكن حدوثه في ظاهرة دوبلر هو التّغيّر في:
أ. التّردد بسبب الحركة.
ب. سرعة الصّوت بسبب الحركة.
ج. كليهما.
د. لا شيء مما ذكر.
10. أزيز الصّوت هو نتيجة الـ..... الموجيّ.
أ. تداخل.
ب. رنين.
ج. تراكب.
د. انعكاس والانكسار.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

١. ج، ٢. ج، ٣. ب، ٤. ب، ٥. ج، ٦. ب، ٧. ج، ٨. ب، ٩. ب، ١٠. ج

اكتشاف المزيد

شيافيرنيا، كريس وتوم روسنغ. علم الضوء: فيزياء للفنون البصرية. نيويورك: سبرنغر، 1999. قراءات ممتعة لاثنين من علماء الفيزياء.

لمعرفة المزيد عن علم الصوتيات حول قاعات الحفلات الموسيقية، ارجع إلى http://www.concerthalls.org

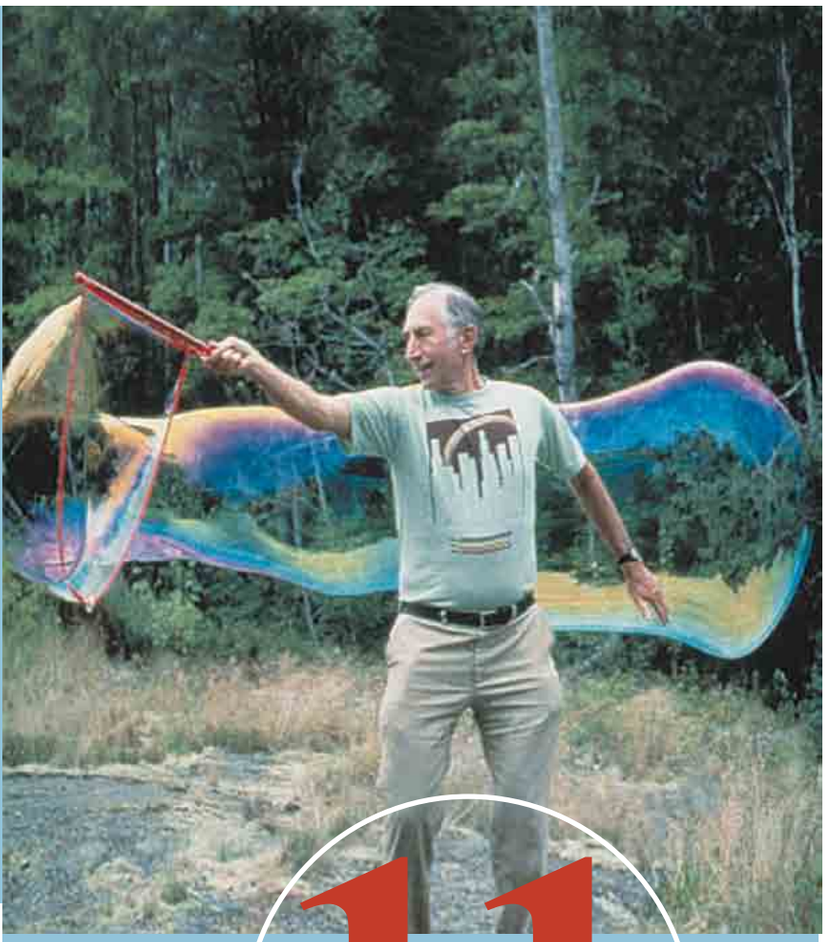
الفصل 10 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية
- 10.1، 10.5، 10.6، 1027، 10.28، 10.30، 10.31

دروس تعليمية
- الأمواج والاهتزازات
- تأثير دوبلر

أشرطة فيديو
- الأمواج الطولية والمستعرضة
- انكسار الصوت
- الرنين
- الرنين والجسور
- التداخل والضربات
- تأثير دوبلر

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط



الضَّوء

11

1.11 الطّيف الكهرومغناطيسي

2.11 المواد الشّفّافة والمواد المعتمة

3.11 الانعكاس

4.11 الانكسار

5.11 اللون

6.11 التّشتّت

7.11 الاستقطاب

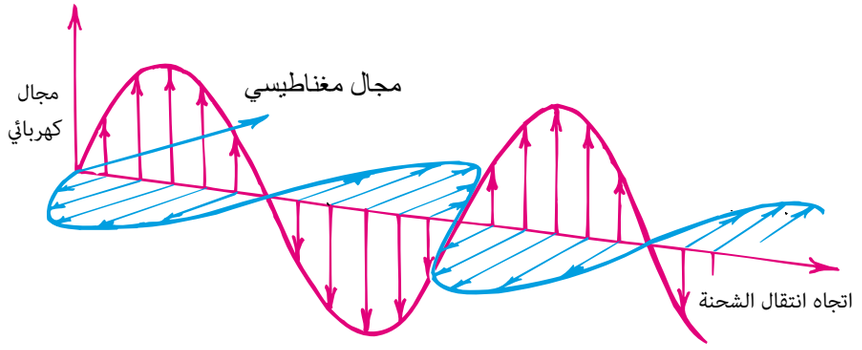
■ الضَّوء هو الشّيء الوحيد الذي يمكن أن نراه. ولكن ما الضَّوء؟ نحن نعلم أنّ الشّمس هي المصدر الأوليّ للضَّوء خلال النهار، أمّا المصدر الثّانويّ فهو سطوع السّماء. وهناك مصادر أخرى مألوفة مثل الفتيلة البيضاء الساخنة في المصابيح الكهربائية، والغازات المتوهجة في الأنابيب الزّجاجيّة، واللهب. لقد وجدنا أنّ مصدر الضَّوء هو حركة الإلكترونات المتسارعة؛ فالضَّوء ظاهرة كهرومغناطيسية، وهو جزء ضئيل من كم كبير، أو مدى واسع من الأمواج الكهرومغناطيسيّة يسمى الطّيف الكهرومغناطيسيّ. سنبدأ دراستنا للضَّوء ببحث خصائصه الكهرومغناطيسيّة، وكيفيّة تفاعله مع المواد، وكيفيّة انعكاسه، كما سنتناول طبيعته الموجية العرضية، وكيفيّة انكساره، إضافة إلى كيفية تشكّل قوس المطر الرائع بألوانه. ونختم هذا الفصل المثير بظاهرة الاستقطاب.

1.11 الطّيف الكهرومغناطيسي

إذا هززت عصا من طرفها ذهابًا وإيابًا في ماء راكد فإنك تصنع أمواجًا على سطح الماء. وبالمثل، إذا هززت قضيبًا مشحونًا كهربائيًّا في الفضاء الفارغ، فإنك تصنع أمواجًا كهرومغناطيسية. وقد تعلمنا في الفصل التاسع سبب حدوث ذلك: إنّ اهتزاز القضيب المشحون يصنع تيارًا كهربائيًّا ينتج بدوره مجالًا مغناطيسيًّا. والمجال المغناطيسيّ المتغيّر يستحثّ مجالًا كهربائيًّا؛ إنّ الحثّ الكهرومغناطيسيّ، والمجال الكهربائيّ المتغيّر بدوره ينتجان مجالًا مغناطيسيًّا متغيّرًا. كما أنّ المجالات المغناطيسيّة والكهربائيّة المهتزة يولد أحدهما الآخر لصنع **موجة كهرومغناطيسيّة (Electromagnetic Waves)**.

الشّكل 1.11

إذا هزّ جسم مشحون ذهابًا وإيابًا فسينتج موجة كهرومغناطيسيّة.

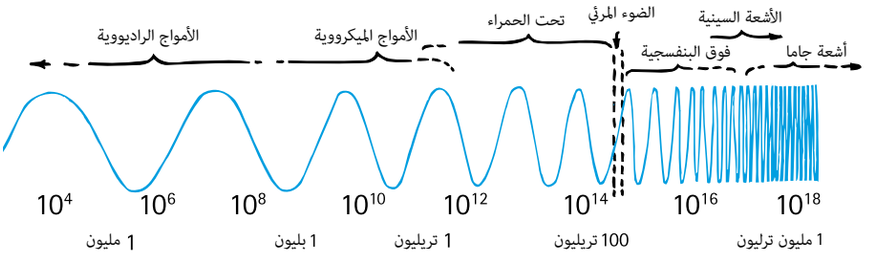


الشّكل 2.11

يكون المجالان الكهربائيّ والمغناطيسيّ للموجة الكهرومغناطيسيّة متعامدين أحدهما على الآخر، ومتعامدين كذلك على اتجاه حركة الموجة.

الضّوء طاقة محمولة على الموجة الكهرومغناطيسيّة المنبعثة من الإلكترونات المهتزة في الذرة.

تتحرك الأمواج الكهرومغناطيسيّة جميعها في الفراغ بالسّرعة نفسها، ولكنها تختلف في التردد فقط. وتصنّف الأمواج الكهرومغناطيسيّة وفق التردد، من الأمواج الرّاديويّة إلى إشعاعات جاما؛ وهذا هو الطّيف الكهرومغناطيسيّ (الشّكل 3.11). لقد تم قياس أمواج كهرومغناطيسية من تردد 0.01 Hz إلى الترددات الرّاديويّة حتى 108 مليون (Hz). بعدها تبدأ الترددات فوق العالية (UHF)، ثم موجات الميكروويف، ثمّ الأمواج تحت الحمراء، وغالبا ما تسمى الأمواج الحراريّة. ثم أمواج الضّوء المرئيّ، والتي تشكّل أقلّ من واحد في المئة مليون من طيف الإشعاع الكهرومغناطيسيّ المقيس. وكلما زاد تردد الموجة، أصبح طولها أقلّ*.



الشّكل 3.11

يشكل الطّيف الكهرومغناطيسيّ مدى مستمرًّا من الموجات يمتد من الأمواج الرّاديويّة إلى أشعّة جاما. إنّ الأسماء الوصفية لهذه الأجزاء هي مجرد تصنيفات تاريخية، حيث يكون للموجات جميعها الطبيعة نفسها؛ ولكنها تختلف في التردد وطول الموجة فقط ، إضافة إلى أنّ الموجات كلّها لها السّرعة نفسها.

* العلاقة هي $c = f\lambda$، حيث c هي (ثابت) سرعة الضّوء، وf التردد، وλ طول الموجة. يوصف صوت المذياع عادة بالتردد، في حين يوصف الضّوء بطول الموجة. في هذا الكتاب، سنعتمد مفهومًا واحدًا لوصف الضّوء هو التّردّد.

■ **نقطة فحص**

هل صحيح أنّ الموجة الرّاديويّة هي موجة ضوء ذات تردد منخفض؟ وهل الموجة الرّاديويّة أيضًا موجة صوت؟

هل كانت هذه إجابتك؟

نعم، لا: كلّ من الأمواج الرّاديويّة والضّوئيّة هي موجات كهرومغناطيسية نشأت عن اهتزاز الإلكترونات. وللأمواج الرّاديويّة تردّد أقلّ من أمواج الضّوء. لذا يمكن اعتبار الأمواج الرّاديويّة أمواجًا ضوئية ذات تردد منخفض (وفي المقابل يمكن اعتبار الأمواج الضّوئيّة أمواجًا راديويّة ذات تردد مرتفع). أمّا الشقّ الثاني من السؤال فهو أنّ موجة الراديو لا يمكن اعتبارها موجة صوت. وهي تنتج عن اهتزازات ميكانيكية للمادة كما عرفنا في الفصل السابق (لا تخلط بين موجة المذياع وموجة الصّوت التي يبعثها مكبر الصّوت).

2.11 المواد الشّفّافة والمواد المعتمة

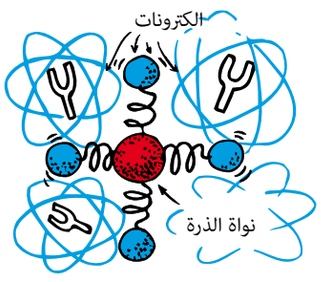
تطلق الإلكترونات المهتزة معظم الموجات الكهرومغناطيسيّة. وعند سقوط الضّوء على المادة، تجبر بعض الإلكترونات فيها على الاهتزاز. تنتقل اهتزازات الإلكترونات إلى اهتزازات إلكترونات أخرى في المادة. وهذا يشبه الطريقة التي ينتقل بها الصّوت (الشّكل 4.11).

الشّكل 4.11
كما تجبر موجة الصوت مُستَقبِل الصّوت على الاهتزاز، فإنّ موجة الضّوء تجبر الإلكترونات في المواد على الاهتزاز أيضا.

تسمح المواد مثل الزّجاج والماء بمرور الضّوء من خلالها دون امتصاص. وفي خطوط مستقيمة عادة. إنّ هذه المواد شفافة للضّوء. ولفهم كيفية اختراق الضّوء للمواد الشّفّافة: تخيل أنّ الإلكترونات في الذرات كما لو أنها متصلة بالنواة الذرية بزنبركات (الشّكل 5.11)* وتبدأ موجات الضّوء السّاقطة العمل على هزّ الإلكترونات.

تشبه اهتزازات الإلكترونات في المادة اهتزازات الأجراس المقروعة والشّوكات الرنانة. وعند قرع الجرس، يهتز عند تردد معين. وهكذا تفعل الإلكترونات في الذرات والجزيئات. إنّ للذرات والجزيئات المختلفة "ثوابت زنبركيّة" مختلفة. وللإلكترونات في الزّجاج تردد اهتزاز طبيعيّ في مدى فوق البنفسجيّ. عندما تسقط الأشعّة فوق البنفسجية في ضوء الشّمس على الزّجاج، يحدث الرّنين عندما تتعاظم الموجة باتساع كبير لاهتزاز الإلكترون مثلما يزداد الاتساع في الأرجوحة عند دفع شخص بتردد الرّنين. ويمكن أن تحتفظ الذرات الرّنانة في الزّجاج بطاقة الضّوء فوق البنفسجيّ مدة طويلة من الزّمن تقدّر بنحو 100 جزء من مليون جزء من الثانية. خلال هذا الزمن، تتعرض الذرة لمليون اهتزاز تقريبًا. ثمّ تصطدم مع ذرات أخرى، وتحول الطّاقة المتصة إلى طاقة حراريّة. وهكذا يصبح الزّجاج غير شفاف لفوق البنفسجيّ. إنّ الزّجاج يمتص الضّوء فوق البنفسجي.

ينتقل الضّوء في الهواء أسرع مليون مرة من الصّوت.

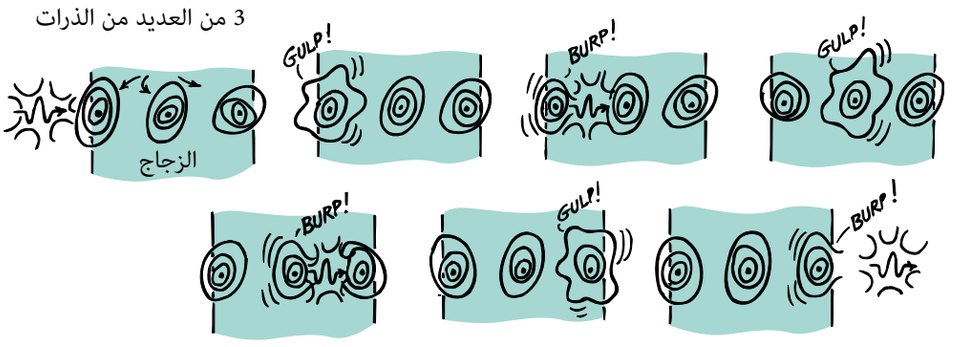


الشّكل 5.11
يكون لاهتزازات إلكترونات الذرات ترددات طبيعية معينة. ويمكن نمذجتها كجسيمات مربوطة بالنواة الذرية بزنبركات. ونتيجة لذلك، يمكن القول إنّ الذرات والجزيئات تسلك سلوكًا يشبه الشّوكة الرّنانة الضّوئيّة.

* بالطبع، لا ترتبط الإلكترونات حقيقة بزنبركات. سنعرض تصور "نموذج الزنبرك" للذرة هنا لمساعدتنا على فهم تفاعل الضّوء مع المادة. تكمن قيمة هذا النموذج ليس فيما إذا كان "صحيحًا" بل في أنه "مفيد" - في تفسير المشاهدات والتنبؤ بأخرى. هذا النموذج المبسط الذي نعرضه هنا (تهتز إلكترونات الذرة كما لو أنها زنبركات بفترة زمنية بين امتصاص الطّاقة وإعادة إطلاقها) مفيد جدًا لفهم كيفية مرور الضّوء من خلال المواد الشّفّافة.

الشّكل 6.11

تبدأ موجة الضّوء السّاقط على لوح زجاج بهزّ الجزيئات منتجة سلسلة من الامتصاصات وإعادة البثّ، والتي تمرّر طاقة الموجة عبر المادة إلى الجهة الأخرى. وبسبب التّأخّر بين الامتصاص والبث في المادة، ينتقل الضّوء ببطء أكثر في المادة منه عبر الفضاء الفارغ.



لمعلوماتك

- **تكون المواد مثل الزّجاج شفافة للمخلوقات التي ترى الجزء "المرئيّ" من الطّيف. أمّا المخلوقات الأخرى التي لها القدرة على الرؤية لمدى ترددات مختلفة فإنّها ترى الزّجاج معتمًا والمواد الأخرى شفافةً.**

وعند ترددات موجية أقلّ، مثل ترددات الضّوء المرئيّ، تجبر الإلكترونات في الزّجاج على الاهتزاز باتساعات منخفضة. تحتفظ الذرات أو الجزيئات في الزّجاج بالطّاقة لزمن أقلّ، مع فرص قليلة للاصطدام مع الذرات أو الجزيئات المجاورة. وهناك القليل من الطّاقة التي تتحول إلى أخرى حراريّة. ويعاد إطلاق طاقة الإلكترونات المهتزة كضوء. ويصبح الزّجاج شفافًا لترددات الضّوء المرئيّ جميعها. يكون تردُّد الضّوء المنطلق من جزيء إلى جزيء آخر مماثلًا لتردد الضّوء الأصلي الذي أنتج الاهتزازات. ولكن يكون هناك زمن قليل يحدث فيه تأخير بين الامتصاص وإعادة الإطلاق.

يقلّل زمن التّأخير هذا معدّل سرعة انتقال الضّوء خلال المادة (الشّكل 6.11). ينتقل الضّوء ذو الترددات المختلفة بمعدل سرعات مختلفة. ونقول معدل سرعات لأنّ سرعة الضّوء في الفراغ 300,000 كيلو متر لكلّ ثانية. وتسمى هذه سرعة الضّوء *c. إنّ سرعة الضّوء في الهواء أقلّ قليلا من سرعتها في الفراغ. وعادة ما تقترب من *c*. ينتقل الضّوء في الماء بنحو 75% من سرعته في الفراغ أو (0.75c). كما أنّ الضّوء ينتقل حتى بأقلّ من هذه السّرعة في بلورة كربيد السّليكون المسماة *الكاربورندوم (Carborundum)* (مادة شديدة الصلابة) عندما ينفذ من هذه المادة إلى الهواء. فهو ينتقل بسرعته الأصلية في هذه الحالة.**

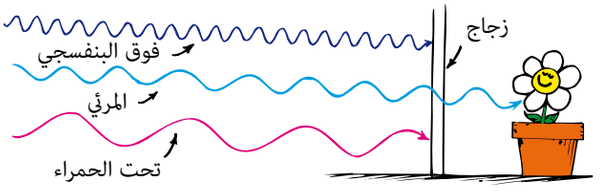
إنّ الموجات تحت الحمراء، والتي لها تردّدات أقلّ من تلك التي للضّوء المرئيّ تهزّ الجزيئات كلّها التي يتكوّن منها الزّجاج، وتتكون منها مواد عديدة أخرى وليس فقط الإلكترونات. تزيد هذه الاهتزازات الجزيئية الطّاقة الحراريّة ودرجة حرارة المواد. ولهذا السبب تسمّى الأمواجُ تحت الحمراء الأمواجَ الحراريّة. إنّ الزّجاج شفّاف للضّوء المرئيّ، ولكنه ليس شفّافًا للضّوء فوق البنفسجيّ أو تحت الحمراء.

الشّكل 7.11

عند إطلاق الكرة المرتفعة واصطدامها بالأخريات، فإنّ الكرة التي تنطلق من الجانب الآخر ليست الكرة نفسها التي بدأت بنقل الطّاقة. وبالمثل، فإنّ كلّ فوتون يخرج من لوح زجاج ليس الفوتون نفسه الذي سقط على اللوح. يختلف كلّ من الكرة المنطلقة والفوتون المنبعث عن الكرة والفوتون السّاقطين مع أنّ الكرتين متماثلتان، كما أنّ الفوتونين متماثلان كذلك.

الشّكل 8.11

يحجب الزّجاج الصّافي كلًّا من تحت الحمراء والبنفسجيّ، ولكنه شفّاف لترددات الضّوء المرئيّ جميعها.



* القيمة المقبولة هي 299,792 كم/ث، والتي غالبًا ما تُجبر إلى 300,000 كم/ث. (تقابل 186,000 ميل/ث).

■ **نقطة فحص**

1. لماذا يكون الزّجاج شفّافًا للضّوء المرئيّ ومعتمًا للضّوء فوق البنفسجيّ وتحت الحمراء؟
2. تظاهر في أثناء حضورك لحفل اجتماعي، أنك قمت بعدة وقفات لحظيّة لتحية أناس يمشون على نمط ”موجتك“ نفسها. كيف تتشابه هذه الحركة مع انتقال الضّوء خلال الزّجاج؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. إنّ التّردّد الطّبيعيّ لاهتزازات الإلكترونات في الزّجاج هي ترددات الضّوء فوق البنفسجي نفسها. وعليه، يحدث الرّنين في الزّجاج عندما يضاء الزّجاج بالأمواج فوق البنفسجية. تنتقل الطّاقة الممتصة للذرات الأخرى على هيئة حرارة، ولا يعاد إطلاقها على هيئة ضوء. ولهذا، فالزّجاج غير شفاف للترددات فوق البنفسجية في مدى الضّوء المرئيّ. تحدث الاهتزازات القسريّة للإلكترونات عند اتساعات صغيرة، وتكون الاهتزازات أكثر دقة، ويحدث إعادة إطلاق الضّوء بدلًا من توليد الحرارة. لذا، يكون الزّجاج شفافًا، ويجعل الضّوء ذا الترددات تحت الحمراء كامل الجزيء يهتزّ بل يحدث رنين الإلكترونات. مرة أخرى، تتولد الحرارة ويكون الزّجاج غير شفاف.
2. يكون معدل سرعتك عبر الغرفة أقلّ، وذلك يؤخّر الزّمن المتعلق بوقفاتك اللحظية. وبالمثل، تكون سرعة الضّوء في الزّجاج أقلّ بسبب تأخّر الوقت في التّفاعل مع الذرات عبر المسار الذي تسلكه.

لمعلوماتك

■ لقد كان الفلكيّ الدنمركيّ أولي رويمر Ole Roemer، أول شخص يلاحظ التأخر في انتقال الضّوء، حيث رأى في عام 1675م أثر محدوديّة سرعة الضّوء ”بعينه“ بخسوف أحد أقمار المشتري بسبب زيادة المسافة بين الأرض والمشتري في مدى ستة أشهر. وبعد 300 سنة، أي في عام 1969م، عندما أظهر التّلفاز روّاد الفضاء عند نزولهم على سطح القمر، شاهد الملايين من الناس تأخير الزّمن في المحادثات (بسرعة الضّوء) بينهم وبين محطة السّيطرة على الأرض. لقد لاحظوا أثر السّرعة المحدودة للموجات الكهرومغناطيسيّة ”بآذانهم“.

إنّ معظم المواد من حولنا **معتمة**؛ **أي أنّها** تمتص الضّوء دون إعادة إشعاعه. وكلّ من المقاعد، والمكاتب، والناس معتم. تُحوّل طاقة الاهتزازات الناتجة عن سقوط الضّوء على ذرات المواد إلى طاقة حركية عشوائية؛ أي إلى طاقة حراريّة. وتصبح المادة ساخنة قليلا.

إنّ الفلزات معتمة للضّوء المرئيّ. لا ترتبط الإلكترونات الخارجية في ذرات الفلزات بذرة معينة، وهي حرة الحركة تقريبًا، وتتحرك خلال المادة جميعها (لهذا السّبب؛ الفلزات والحرارة موصلات للكهرباء). عند سقوط الضّوء على الفلزّ وبدء اهتزاز الإلكترونات الحرة، فإنّ طاقة هذه الاهتزازات لا ترتد بشكل زنبركيّ من ذرة إلى أخرى في المادة. إنها تنعكس. ولهذا تكون الفلزات لامعة.

إنّ الغلافَ الجويّ للأرض شفّافٌ لبعض الضّوء فوق البنفسجيّ، وكذلك للضّوء المرئيّ كلّه، ولبعض ضوء تحت الحمراء أيضًا، ولكنه غير شفّاف للضّوء فوق البنفسجيّ العالي التّردّد. وتسبب كميةُ الضّوء القليلة من فوق البنفسجيّ الخروقَ الشّمسيّة. فلو اخترق الضّوءُ فوق البنفسجيّ جميعه الغلافَ الجويّ فسنصبح كرقائق البطاطس المقلية. تكون الغيوم شبه نفاذة للضّوء فوق البنفسجي. ولهذا، يمكن أن تصاب بحروق شمسيّة في يوم غائم. إنّ الضّوء فوق البنفسجيّ مؤذ لجلدك. كما أنّه يحطم السّقوف المطلية بالقطران. لذا، فإنّك تعرف الآن سبب تغطية السّطوح بالحصباء.

هل لاحظت أنّ الأشياء تكون معتمة عندما تكون مبلولة أكثر مما لو كانت جافة؟ عندما يسقط الضّوء على سطح جاف، كالرمل مثلًا، فإنه يرتد مباشرة إلى عينيك. ولكن الضّوء السّاقط على سطح مبتل يرتد حول المناطق الشّفّافة المبتلة وداخلها قبل أن يصل إليهما. ماذا يحدث في كلّ ارتداد؟ إنّ ما يحدث هو امتصاص. وهكذا، فإنّ الرّمل والأشياء الأخرى المبلّلة تبدو معتمة.

الشّكل 9.11

تلمع الفلزّات لأنّ الضّوء الذي يشعّ عليها يجبر الإلكترونات الحرة على الاهتزاز، والتي بدورها تبث ”أمواجها“ الضّوئيّة كانعكاس.

■ **نقطة فحص**

ما الاحتمالان لضوء ساقط ولا يمتص؟

هل كانت هذه إجابتك؟

النفاذ و/أو الانعكاس. معظم الضّوء السّاقط على لوح من الزّجاج، مثلًا، ينفذ من خلال اللوح، ولكن بعضه ينعكس عن سطحه.

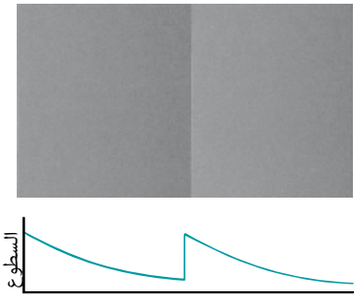
لمعلوماتك

يمتصّ الجلد الدّاكن أو الأسود الإشعاعات فوق البنفسجية قبل أن تخترق الجلد إلى أعماق أكثر. أمّا في الجلد الفاتح فإنّها تنتقل إلى أعمق من ذلك. يمكن أن يصبح الجلد الفاتح برونزيًّا عند تعرضه لأشعة فوق بنفسجية، مما يوفر حماية لمزيد من التعرض. أضف إلى هذا أنّ الإشعاعات فوق البنفسجية ضارة للعيون أيضًا.

العمى الجانبيّ

يمكن للعين البشرية أن تفعل ما لا تستطيع أيّ آلة تصوير فعله؛ فيمكنها تحديد درجات السّطوع من مدى 1-500 مليون. فمثلًا، الفرق في درجة السّطوع بين الشّمس والقمر هي مليون إلى واحد. ولكن بسبب الأثر المسمى العمى الجانبيّ، فإنّنا لا نرى الفرق الحقيقيّ في السّطوع. تمنع مواقع السّطوع البراقة في مجالنا البصري من جعل المواقع الباقية ساطعة أيضًا، لأنه عندما ترسل خلايا الاستقبال في شبكيتنا إشارة ساطعة قوية إلى المخّ، فإنّها ترسل إشارة أخرى لتصنّف استجاباتها. وبهذه الطريقة فإنّنا نزيل التّساوي في مجالنا البصريّ الذي يسمح لنا بتمييز التفاصيل بين المناطق السّاطعة جدًّا من جهة والمناطق المظلمة من جهة أخرى.

إنّ العمى الجانبيّ يزيد من فروق السّطوع في المواقع الحدّيّة في مجالنا البصريّ. وهذه الحدود تفصل بين شيء وآخر. وعليه، فإنّنا نظهر الفروق بدلًا من التشابهات. وهذا موضح في المستطيلين المظللين إلى اليسار. هذان المستطيلان يظهران مختلفَيْن في السّطوع بسبب وجود حدّ يفصلهما. ولكن إذا حجبت الحدّ بقلم أو بإصبعك، فسيظهران بالسّطوع نفسه. جرّب هذا الآن؛ لأنّ كلًّا منهما لهما السّطوع نفسه. كلا المستطيلين مظلَّل من الفاتح إلى الغامق، من اليسار إلى اليمين. إنّ أعيننا تركز على الجدار الفاصل الذي يصل بين الحدّ المظلم من يسار المستطيل الغامق و يمينه. ولهذا، فإنّ نظام العين-المخّ عندنا يفترض أنّ تتمة المستطيل هو نفسه؛ نحن نهتم



بالحدّ ونتجاهل الباقي.

سؤال للتفكير: هل تشبه الطريقةُ التي تميز بها العين الحدود، وتعمل الفرضيات حول الأسباب وما بعدها - الطريقةَ التي نحكم بها على ثقافات الشعوب الأخرى؟ ألا نبالغ بهذه الطريقة بالفروق والاختلافات الهامشية السّطحية ونتجاهل التشابه والفروق الدقيقة الخفية فيها؟

3.11 الانعكاس

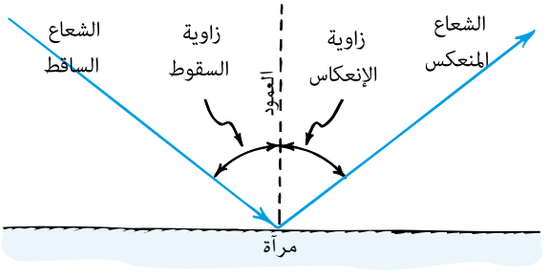
عند إضاءة هذه الصفحة سواء بضوء الشّمس أو ضوء مصباح، تبدأ إلكترونات ذرات هذه الصفحة الاهتزاز، وتعيد الإلكتروناتُ التي اكتسبت طاقة بث الضّوء الذي نرى به هذه الصفحة. يتعرض الضّوء **للانعكاس** (التسمية المناسبة انعكاس المرآة) عند إضاءة الصفحة بالضّوء الأبيض، فإنها تظهر بيضاء لأنّ الإلكترونات تبثّ الترددات المرئيّة جميعها، وتعكس الضّوء كلّه. ويحدث القليل من الامتصاص. أما الحبر على الورقة، فموضوع آخر، إنّه يمتص الترددات المرئيّة جميعها، ما عدا القليل من الانعكاس. ولهذا يظهر بلون أسود.

قانون الانعكاس (Law of Reflection)

أيّ شخص يلعب البلياردو يعرف أنه عند ارتداد الكرة عن السّطح فإنّ زاوية السّقوط تساوي زاوية الارتداد. وينطبق هذا على الضّوء تمامًا؛ هذا هو قانون الانعكاس، وهو صحيح للزوايا كلّها.

زاويتا الانعكاس والسقوط متساويتان.

يوضح الشّكل 10.11 قانون الانعكاس؛ حيث تمثل الأسهم الأشعّة الضّوئيّة. وتقاس زوايا كلّ من السّقوط والإشعاعات المنعكسة عن سطح الانعكاس عادة من الخطّ العمودي للسّطح العاكس. ويسمّى هذا الخطُّ الوهميّ العمودَ. ويقع كلّ من الشّعاع السّاقط، والعمود المقام، والشّعاع المنعكس في مستوى واحد.

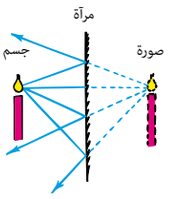


الشّكل 10.11
قانون الانعكاس.

إذا وضعت شمعة أمام مرآة، فإنّ إشعاعات الضّوء تصدر عن اللهب في الاتجاهات كلها. يبيّن الشّكل 11.11 أربعة أشعّة من العدد اللامتناهي منها، والتي تصدر عن عدد لا نهائيّ من نقاط الشّمعة.

عندما تصل هذه الأشعّة إلى المرآة، فإنّها تنعكس بزوايا تساوي زوايا سقوطها. تتفرق أشعّة اللهب. كما أنها تتفرق أيضًا عند انعكاسها عن المرآة. تبدو الأشعّة المتفرقة وكأنها منبعثة من نقطة خلف المرآة (الخطوط المتقطعة) وترى صورة الشمعة عند تلك النقطة. في الحقيقة، أشعّة الضّوء لا تأتي من تلك النقطة. ولذلك، تسمّى هذه النقطة الصورة الكاذبة. يبعد هذا الظل عن المرآة إلى جهة الخلف بمقدار بُعد الجسم عنها من الأمام. ويكون للصورة والجسم الحجم نفسه، ما دامت كانت المرآة مسطحة. ويطلق على هذه المرآة المسطّحة *المرآة المستويّة*.

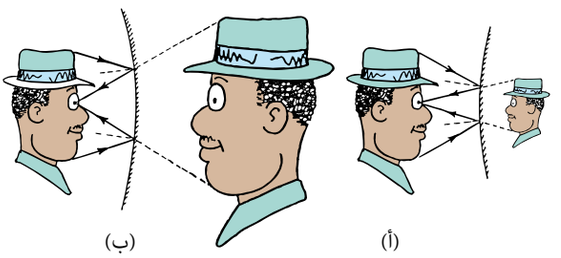
عندما تكون المرآة منحنية فإنّ أحجام الأجسام وأبعادها لا تكون مساوية لأحجام الصور وأبعادها. لن ندرس المرايا المنحنية في هذا المقرر، ما عدا القول إنّ المرآة المنحنية تسلك سلوك مرايا مستوية متتابعة، كل واحدة لها اتجاه زاويّ مختلف قليلًا عن تلك التي بعدها. وتكون زاوية السّقوط مساوية لزاوية الانعكاس عند كلّ نقطة (الشّكل 13.11). لاحظ أنّ الخطوط العمودية عند نقاط مختلفة على السّطح لا تكون بعضها موازية لبعض في المرآة المنحنية، على عكس المرآة المستوية. (تظهر الخطوط العموديّة كخطوط سوداء متقطعة).



الشّكل 11.11
تتكوّن الصّورة الخياليّة خلف المرآة، وتقع في موضع التقاء امتدادات الأشعّة المنعكسة (الخطوط المتقطّعة).

الشّكل 12.11
يكون بعد صورة مارجوري Marjorie خلف المرآة مساويًا لبعدها من أمامها. لاحظ أنّ لون ملابسها لم يتغيّر، ويعدّ هذا دليلًا على أنّ الانعكاس لا يغيّر التّردّد. ومن المثير للاهتمام، أنّ محورها يسار – يمين لم يتغير مثل محور أعلى – أسفل. المحور الذي انعكس هو المقدمة – الخلف، كما هو مبين عن اليمين. ولهذا تبدو يدها اليسرى مقابل يدها اليمنى في الصورة.

وسواء أكانت المرآة مستوية أم منحنية، فإنّ نظام العين – المخّ لا يستطيع التمييز بين الجسم وصورته المنعكسة. ولهذا فإنّ خداع وجود الصّورة خلف المرآة (أو في بعض الحالات، أمام المرآة المحدبة) هو بسبب حقيقة أنّ الضّوء يسقط من الجسم على العين بالطريقة نفسها تمامًا. فيزيائيًّا، يسقط الضّوء كما لو أنّ الجسم حقيقة في مكان الصورة.



الشّكل 13.11
أ- تكون الصورة الخيالية في المرآة المحدبة (المرآة التي يكون انحناؤها نحو (الخارج) مصغرة وقريبة من المرآة أكثر من الجسم.
ب- عندما يكون الجسم قريبًا من المرآة المقعرة (المرآة التي يكون انحناؤها إلى الداخل مثل «كهف») تكون الصورة خيالية مكبرة وبعيدة عن الجسم. وينطبق قانونا الانعكاس في الحالات كلّها.

تكون صورتك خلف المرآة المستوية كما لو أنّ توأمك قد وقف خلف لوح زجاج صافٍ على مسافة خلف اللوح بمقدار ما أنت عليه من أمامه.

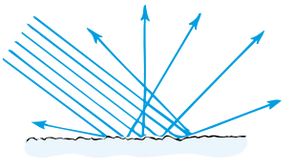
■ نقطة فحص

إذا كنت تريد التقاط صورة لظلك عندما تقف على بعد 5 أمتار أمام مرآة مستوية، فعلى أي بُعْدٍ تضع الكاميرا (آلة التصوير) لتحصل على أكبر تركيز؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ضع المسافة على بعد 10 أمتار، أي المسافة بين الكاميرا وصورتك.

ينعكس جزء فقط من الضّوء الذي يسقط على السّطح . فمثلًا، عن سطح زجاجيّ شفاف نظيف ونقيّ، فإنّ الضّوء السّاقط عموديًا على السّطح ينعكس منه 4% فقط عن كلّ سطح. في حين ينعكس نحو 90% من الضّوء السّاقط على سطح مصقول ونظيف من الألومنيوم أو الفضة.



الشّكل 14.11
الانعكاس غير المنتظم. على الرّغم من أنّ انعكاس كلّ شعاع مفرد يخضع لقانون الانعكاس، فإنّ العديد من زوايا السّطح المختلفة التي تتعرض لها أشعّة الضّوء عند سقوطها على سطح خشن تنتج انعكاسات في العديد من الاتجاهات.

الانعكاس غير المنتظم (Diffuse Reflection)

الشّكل 15.11
صحن شبكة الأسلاك مفتوح على شكل قطع مكافئ هو عاكس غير منتظم لأمواج الضّوء القصيرة، ولكنه عاكس مصقول للأمواج الرّاديويّة الطويلة.

ومقابل الانعكاس المنتظم هناك انعكاس غير منتظم يحدث عند سقوط الضّوء على سطح خشن. وينعكس في الاتجاهات جميعها (الشّكل 14.11). إذا كان السّطح أملس، والمسافات بين الارتفاعات المتتالية أقلّ من ($\frac{1}{8}$) طول موجة الضّوء السّاقط. فهناك فرصة ضئيلة للانعكاس غير المنتظم. ويقال إنّ السّطح مصقول. وعلى هذا يمكن أن يكون السّطح مصقولًا للإشعاعات ذات الأمواج الطويلة، وخشنًا للإشعاعات ذات الأمواج القصيرة. إنّ "صحن" شبكة الأسلاك المبين في الشّكل 15.11 خشن جدًّا للضّوء المرئيّ ولا يشبه المرآة، ولكنه في الوقت نفسه مصقول وعاكس ممتاز للأمواج الرّاديويّة الطويلة الموجة.

إنّ انعكاس الضّوء عن هذه الصفحة هو انعكاس غير منتظم. وقد تكون هذه الصفحة ملساء لأمواج الراديو، ولكنها خشنة لأمواج الضّوء. إنّ الملاسة شيء نسبي لأطوال موجات الإشعاعات المضيئة. تتعرض إشعاعات الضّوء السّاقطة على هذه الصفحة إلى الملايين من السّطوح المنبسطة في الاتجاهات كلّها. ولهذا فإنّ الضّوء السّاقط ينعكس في الاتجاهات جميعها. وهذا مفيد؛ لأنه يمكّننا من رؤية هذه الصفحة وأشياء أخرى، من اتجاهات ومواقع مختلفة. فمثلًا، تستطيع أن ترى الطريق أمام سيارتك في الليل بسبب الانعكاس غير المنتظم عن سطح الطريق الخشن. ولكن عندما تكون الطريق مبتلة فستكون ملساء أكثر، ويكون الانعكاس غير المنتظم ضئيلًا، ويتدنى مستوى الرؤية. إننا نرى معظم ما في بيئتنا نتيجة الانعكاس غير المنتظم.

الشّكل 16.11
منظر مكبر لسطح ورقة عادية.

■ 4.11 الانكسار

كما تعلمنا من البند 2.11، يتباطأ الضّوء عندما يخترق الزّجاج، وينتقل بسرعات مختلفة في المواد المختلفة* . إنه ينتقل بسرعة 300,000 كم/ث في الفراغ، وبسرعة أقلّ قليلًا في الهواء، في حين ينتقل بنحو ثلاثة أرباع هذه السّرعة في الماء. ويحدث انحناء للضّوء ما لم يكن سقوطه عموديًّا على سطح الاختراق، وتسمى هذه الظاهرة الانكسار

لفهم أفضل لانحناء الضّوء في أثناء الانكسار؛ انظر إلى زوج عجلات اللعبة المبينة في الشّكل17.11. يتدحرج الزّوج من جانب الممر الأملس إلى المرج الأخضر. إذا التقى الزّوج بالمرج عند زاوية، كما يبين الشّكل، فسينحرف عن طريق الخطّ المستقيم.

---

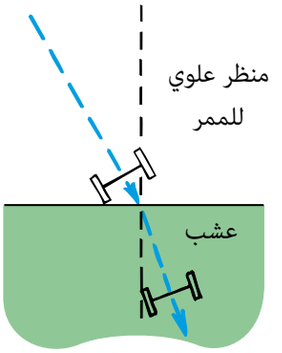
* يعبر عن الاختلاف بين سرعة الضّوء في الفراغ وسرعته في المواد بمعامل الانكسار للمادة (n):

n = سرعة الضّوء في الفراغ / سرعة الضّوء في المادة

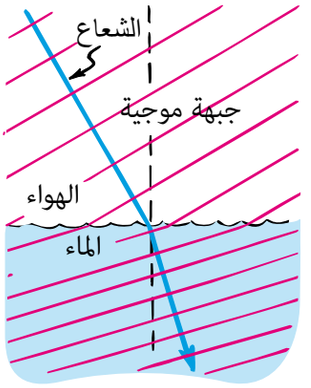
مثلًا، تبلغ سرعة الضّوء في الماس 124,000 كم/ث. وعليه، يساوي معامل الانكسار للماس (n)

$$n = \frac{300{,}000}{124{,}000} = 2.42$$

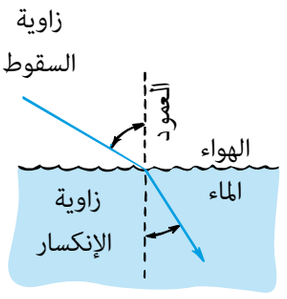
في حين يساوي معامل الانكسار للفراغ 1.



الشّكل 17.11
يتغير اتجاه انزلاق العجلتين عندما تتباطأ عجلة قبل أن تتباطأ الأخرى.



الشّكل 18.11
يتغير اتجاه موجات الضّوء عندما يتباطأ جزء من الموجة قبل أن يتباطأ الجزء الآخر.



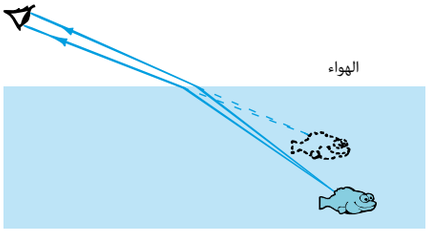
الشّكل 19.11
الانكسار. ترتبط زاويتا السّقوط والانكسار بقانون سنل (Snell's Law)(انظر الملحوظة).

لاحظ أنّ العجلة على الجانب الأيسر تتباطأ أوّلًا عند تفاعلها مع العشب على المرج. في حين تحافظ العجلة اليمنى على سرعتها العالية وهي على الممر. يتمحور التدحرج حول العجلة اليسرى لأنّه يكون في الاتجاه نفسه. وهكذا، فإنّ اتجاه تدحرج العجلتين ينحني في اتجاه عموديّ. وهو الخط الأسود المتقطع العموديّ على كلّ من حدود العشب والممر في الشّكل 17.11.

يبين الشّكل 18.11 كيف تنحني موجه الضّوء بطريقة مماثلة. لاحظ اتجاه الضّوء المشار إليه بالسهم الأزرق (شعاع الضّوء). ولاحظ أيضًا *الجبهة الموجية* المرسومة بزاوية قائمة على الشعاع. (إذا كان مصدر الضّوء قريبًا فستبدو الجبهة الموجية دائرية. ولكن إذا كان بعد المصدر كبعد الشّمس، فستكون الجبهات الموجية عمليًّا خطوطًا مستقيمة). تكون الجبهات الموجية عمودية دائمًا على أشعّة الضّوء. إن انحناء الموجة (صوت أم ضوء) هو نتيجة تغير السّرعة*.

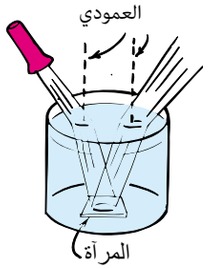
يبيّن الشّكل 20.11 حزمة من الضّوء تدخل الماء إلى اليسار وتخرج من اليمين. سيكون المسار هو نفسه لو أنّ الضّوء دخل من جهة اليمين وخرج من جهة اليسار. إنّ مسارات الضّوء تكون معكوسة لكلّ من الانكسار والانعكاس. إذا رأيت عيني أحدهم بجهاز انعكاسيّ أو انكساري، مثل المرآة أو المنشور، أمكن لذلك الشخص أن يراك أيضًا بالطريقة نفسها. (إلا إذا كان الجهاز الضوئيّ يعمل في اتجاه واحد).

يتسبب الانكسار في العديد من الأوهام؛ كظهور العصا منحنية عندما تكون مغمورة جزئيًّا في الماء. يظهر الجزء المغمور أقرب إلى السّطح مما هو عليه في الحقيقة. والشيء نفسه يحدث عندما تنظر إلى سمكة في الماء. تظهر السّمكة بجوار السّطح وأقرب مما هي عليه في الحقيقة (الشّكل 21.11). إذا نظرنا مباشرة إلى أسفل في الماء، فسيبدو الجزء المغمور على عمق 4 أمتار تحت سطح الماء، وكأنه على عمق 3 أمتار بسبب الانكسار. كما أنّ الأجسام المغمورة تبدو مكبرة.



الشّكل 21.11
بسبب الانكسار، يبدو الجسم المغمور أقرب إلى السّطح مما هو عليه في الواقع.

يكون شعاع الضّوء دائمًا على زاوية قائمة مع جبهته الموجية.

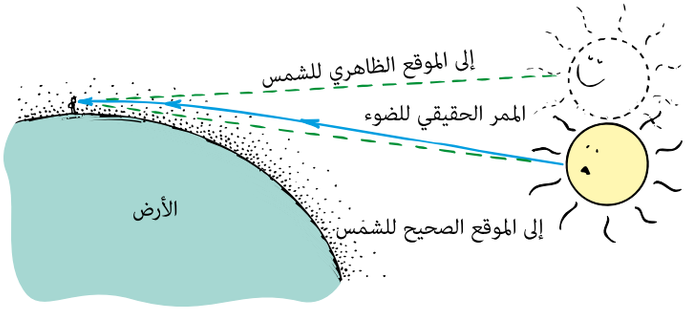


الشّكل 20.11
عندما يتباطأ الضّوء بانتقاله من وسط إلى آخر، كما يفعل عند انتقاله من الهواء إلى الماء، فإنّه يميل نحو العموديّ، ولكن عندما تزداد سرعته عند انتقاله من وسط إلى آخر، كانتقاله من الماء إلى الهواء، فإنّه يميل بعيدًا عن العموديّ.

على الرّغم من أنّ سرعة الموجة وطولها يتغيران عند تعرضهما للانكسار فإنّ التردد يبقى ثابتًا. لا يغير الانكسار لون الضّوء.

---

* يدعى قانونُ الانكسار قانونَ سنل؛ نسبة إلى العالم الفلكي الرياضي الدانمركي ويلبرود سنل Willebrord Snell الذي عاش في القرن السّابع عشر: $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$ حيث n_1 و n_2 معاملا الانكسار للوسطين على جانبي السّطح. أمّا θ_1 و θ_2 فهما زاويتا السّقوط والانكسار على الترتيب. إذا علمت مقادير ثلاثة من هذه المتغيرات. أمكنك حساب مقدار المتغير الرابع من هذه العلاقة. للتفسير الموجي للانكسار (والحيود) اقرأ عن مبدأ هايجنز *Huygens* ص558 – 560، الفيزياء المفاهيمية – الطبعة العاشرة (*Conceptual Physics – 10th edition*).



الشّكل 22.11
بسبب الانكسار في الغلاف الجوي، تبدو الشّمس أعلى في السّماء عندما تكون بالقرب من الأفق .

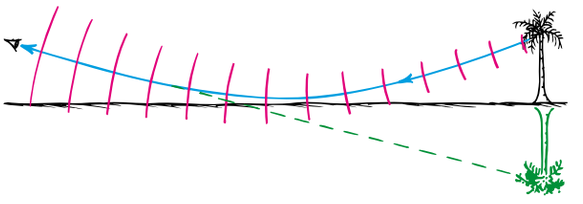
الشّكل 23.11
تتشوه الشّمس بالانكسار التفاضلي.

يحدث الانكسار في الغلاف الجويّ الأرضيّ. كلما راقبنا غروب الشّمس نرى الشّمس لعدة دقائق قبل أن تغيب تحت الأفق (الشّكل 22.11). يكون الغلاف الجويّ خفيفًا في الأعلى وكثيفًا في الأسفل. وبسبب انتقال الضّوء بسرعة أكبر في الهواء الخفيف من انتقاله في الهواء الكثيف فإنّ جزءا من الجبهات الموجية لضوء الشّمس تنتقل أسرع عند ارتفاعات عليا من الأجزاء القريبة من الأرض. تنحني أشعّة الضّوء بتغير كثافة الغلاف الجوي تدريجيًّا. ومن ثم تنحني أشعّة الضّوء تدريجيًّا وتتبع مسارًا منحنيًا أي، نكسب دقائق إضافية من النهار كلّ يوم. زد على ذلك، عندما تكون الشّمس أو القمر بالقرب من الأفق، وتنحني الأشعّة من الجانب السّفليّ أكثر من الأشعّة من الجانب العلويّ، فهذا ينقص القطر العمودي، وتبدو الشّمس بشكل إهليلجيّ (الشّكل 23.11).

يحدث السّراب عندما يبدو الضّوء المنكسر كضوء منعكس. إنّه منظر مألوف في الصحراء، عندما يبدو فوق خطّ البصر وكأنه انعكاس عن الماء من الرمال البعيدة. ولكن عندما تقترب مما بدا لك ماء تراه رملًا جافًّا. فما الذي حدث؟ يكون الهواء ساخنًا بالقرب من سطح الرمل، وباردًا أعلى منه. ينتقل الضّوء أسرع خلال الهواء الساخن الخفيف، بالقرب من سطح الرمل أكثر من انتقاله في الهواء البارد الكثيف الأعلى. ولهذا، فإنّ جبهات الموجة بالقرب من الأرض أسرع مما هي عليه فوق الرمل. وتكون النتيجة انحناء (الشعاع الضوئي) إلى الأعلى (الشّكل 24.11). وهكذا، نرى منظرًا مقلوبًا يبدو فيه وكأن انعكاسًا حدث على سطح الماء. نرى سرابًا يتكون من ضوء حقيقيّ ويمكن تصويره (الشّكل 25.11). السراب ليس حيلة عقلية كما يفكر العديد.

عندما ننظر إلى جسم فوق فرن ساخن أو فوق رصيف حار، نرى آثار وميض متموج. ويعزى هذا إلى اختلاف كثافة الهواء بسبب تغيرات في درجة الحرارة. تتلألأ النجوم من تغيرات متشابهة في السّماء. وعند مرور الضّوء من خلال الطبقات غير المستقرة في الغلاف الجويّ.

من الروائع العديدة للفيزياء حمرة الخسوف التام للقمر، الناجمة عن غروب الشّمس التي تحيط بالعالم وشروقها. إنّ هذا الانكسار يضيء القمر، ولولاه لكان القمر مظلمًا.

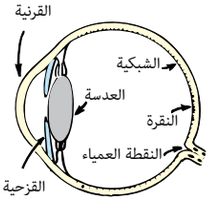


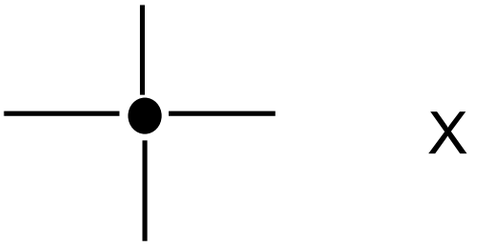
الشّكل 24.11
يكتسب الضّوءُ الصادر عن أعلى الشجرة في الهواء الساخن والأقلّ كثافة بالقرب من الأرض سرعةً. عندما يلامس الضّوء سطح الأرض ويميل إلى الأعلى، فسيرى الملاحظ سرابًا.

الشّكل 25.11
السّراب. ظهور الطّريق مبتلة ليس انعكاسًا للسماء من الماء، ولكنه انكسار ضوء السّماء خلال الهواء الساخن الأقلّ كثافة بالقرب من سطح الطّريق.

عيناك

مع التقنية الموجودة الآن كلّها، فإنّ أروع جهاز بصري معروف هو العينان. يدخل الضّوء من خلال القرنية، والتي تعمل نحو 70% من انحناءات الضّوء الضرورية قبل أن تمرره إلى البؤبؤ (الثقب، أو الفتحة في القزحية). ثم يمرّ الضّوء من خلال العدسة التي تزوده بقوة الميلان الإضافية اللازمة لتركيز الصورة للأجسام القريبة من الشّبكيّة الحسّاسة جدًّا. (حديثًا فقط تمّ تصنيع كواشف لها حساسية للضّوء أعلى من حساسية العين).





تظهر الصّورة في مجال النظر بعد خروجها من العين على الشّبكيّة.

كما أنّ هذه الشّبكيّة غير منتظمة. وتسمّى للنقطةُ التي في منتصفها النقرةَ (Fovea-). وهي المنطقة التي تكون فيها الرؤية حادّة جدًّا. وفيها سترى تفاصيل أكثر من أيّ جزء في الشّبكيّة. إضافة إلى وجود نقطة أخرى على الشّبكيّة حيث تحمل الأعصاب المعلومات الخارجة من العين جميعها في طريقها إلى المخّ: هذه هي نقطتك العمياء. ويمكنك البرهنة أنّ لك نقطة عمياء في كلّ عين. ببساطة، ضع هذا الكتاب على طول ذراعك، أغلق عينك اليسرى، انظر إلى النقطة المدورة وإلى إشارة × عن يمينها، بعينك اليمنى فقط. الآن، حرك الكتاب ببطء نحو وجهك، مع بقاء عينك مثبتة على النقطة، وستصل إلى موقع من 20 – 25 سم من عينك حيث تختفي الإشارة × . كرر الآن العملية نفسها مع بقاء العين اليسرى مفتوحة، انظر الآن إلى الإشارة × وستختفي النقطة. ولكن، لاحظ أنّ مخّك يغطي على الخطوط المتقاطعة.

من المدهش أنّ مخك يغطّي المنظر المتوقع حتى مع بقاء إحدى العينين مغلقة بدلًا من عدم رؤية شيء. يغطي مخّك الخلفية المناسبة كثيرًا.

إذا كرّرت ما سبق على أجسام صغيرة بخلفيات مختلفة، فسترى ما هو غير موجود وليس ما هو موجودا فقط!

لا ترتبط مستقبلات الضّوء في شبكيتك مباشرة بالعصب البصريّ، ولكنها ترتبط مع العديد من الخلايا الأخرى. ومن خلال هذه الوصلات، تدمج كميات معينة من المعلومات وتحلل على الشّبكيّة. وبهذه الطريقة، تُعالَج المعلومات قبل إدخالها إلى العصب البصريّ. ومن ثمَّ إلى الجسم الرّئيس للمخّ. وهكذا، فإنّ بعض أعمال المخّ تحدث في عينيك؛ من المدهش أن تقوم عيناك ببعض «تفكيرك».

نقطة فحص

إذا كانت سرعة الضّوء متماثلة في الهواء عند درجات حرارة وكثافات مختلفة، فهل يبقى النهار أطول قليلًا والنجوم متلألئة في الليل؟ وهل يبقى السّراب؟ وهل تبقى الشّمس منخفضة قليلًا عند الغروب؟

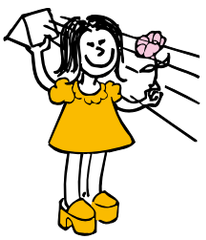
هل كانت هذه إجابتك؟

لا.

5.11 اللون

لون الورد الجوريّ أحمر، ولون البنفسج أزرق. تأسر الألوان الفنانين وعلماء الطبيعة أيضًا. أما للعلماء، فإنّ ألوان الأجسام ليست في موادها نفسها، ولا حتى في الضّوء الذي ينبعث منها أو تعكسه. اللون هو خبرة فسيولوجية. وهو كما تراه عين الناظر. وهكذا، فعندما نقول إنّ لون الورد الجوريّ أحمر فإنّنا نعني بدقة أنه يظهر بلون أحمر. إنّ العديد من الكائنات الحية ومنها الناس لديهم رؤية مشوّهة للون (عمى الألوان) أي أنّها لا ترى الورد الجوري أحمر اللون.

تُدرك التّرددات المختلفة للضّوء كألوان مختلفة. إنّ أقلّ تردد يراه معظم الناس هو اللون الأحمر، وأعلى تردد يظهر أنّ معظم الناس تراه هو البنفسجيّ، وبينهما عدد غير متناهٍ من تدرجات الألوان.



الشّكل 26.11

ينفصل ضوء الشّمس الذي يمرّ من خلال المنشور إلى طيف ملون. وتعتمد ألوان الأشياء على لون الضّوء الذي ينيرها.

الألوان التي تشكّل الطّيف الذي اتفق على تصنيف درجاته إلى سبعة ألوان هي: الأحمر، والبرتقالي، والأصفر، والأخضر، والأزرق، والنيلي، والبنفسجي. وإذا مزجت هذه الألوان معًا فستبدو بيضاء. إنّ اللون الأبيض من الشّمس هو لون مركب من الترددات المرئيّة جميعها.

إنّ معظم الأجسام من حولنا تعكس الضّوء بدل إطلاقه، ما عدا مصادر الضّوء مثل الشّمع، والليزر، أو أنابيب الغازات المفرغة. إنها تعكس جزءًا من الضّوء السّاقط عليها، إنّه الجزء الذي يعطيها لونها.

الانعكاس الانتقائيّ (Selective Reflection)

إنّ الورد الجوريّ لا يطلق الضّوء، بل يعكسه. وإذا مرّرنا ضوء الشّمس خلال منشور، ثم وضعنا بتلة الجوريّ الأحمر الغامق في عدة مناطق من الطّيف، فستظهر البتلة بلون بنّيّ أو أسود في مناطق الطّيف جميعها، ما عدا المنطقة الحمراء. وفي الجزء الأحمر من الطّيف تبدو البتلة حمراء، ولكن السّاق والأوراق الخضراء تبدو سوداء اللون. وهذا يبيّن أنّ للبتلة مقدرة على عكس الضّوء الأحمر، ولكنها لا تستطيع عكس بقية الألوان. والأوراق الخضراء تعكس اللون الأخضر. وبالمثل، لا تستطيع عكس بقية الألوان. وعند تسليط ضوء أبيض على الجوريّ، تظهر البتلة حمراء والأوراق خضراء؛ لأنّ البتلة تعكس اللون الأحمر، أمّا الأوراق الخضراء فتعكس الجزء الأخضر من الضّوء الأبيض. ولمعرفة سبب عكس الأجسام ألوان ضوء محددة سنركز اهتمامنا على الذرة.

ينعكس الضّوء على الأجسام بطريقة تشبه "انعكاس" الصّوت من شوكة رنّانة. عندما تجعل شوكة رنانة تهتز عند وضعها قرب شوكة مهتزة. وقد تهتزّ الشّوكة الرّنّانة حتى عندما لا يتساوى الاهتزازان، على الرّغم من السّعات القليلة للاهتزاز. وينطبق الشيء نفسه على الذرات والجزيئات؛ فقد تجبر الإلكترونات على الاهتزاز من المجالات الكهربائية للموجات الكهرومغناطيسيّة. وعندما تبدأ الإلكترونات في الاهتزاز فإنّها تبدأ في إطلاق موجاتها الكهرومغناطيسيّة، كإطلاق الشّوكات الرّنانة الأمواج الصّوتيّة.

من المدهش أنّ بتلات معظم الأزهار الصفراء كالنرجسيات تعكس حزمة واسعة من الترددات. إنّ الألوان المنعكسة عن معظم الأجسام ليست ألوانًا نقية وحيدة التّردّد ولكنها مزيج من التّردّدات.

يمكن أن يعكس الجسم ترددات موجودة أصلًا في ضوء الإنارة فقط. يطلق المصباح المتوهج ضوءًا بمعدل تردد أقلّ من الترددات التي في ضوء الشّمس، معززًا رؤية الاحمرار بهذا الضّوء. وفي نسيج يوجد به قليل من اللون الأحمر، يكون هذا اللون أكثر ظهورًا تحت مصباح متوهج. أكثر مما لو كان تحت مصباح فلوريّ. يكون ضوء المصباح الفلوريّ أكثر توافرًا على التّرددات العالية. ومن ثم يتعزز اللون الأزرق بهذا الضّوء. إنّ كيفية ظهور اللون يعتمد على مصدر الضّوء (الشّكل 30.11).

النّفاذ الانتقائيّ (Selective Transmission)

يعتمد لون الجسم الشّفاف على لون الضّوء الذي ينفذ منه. يبدو لونُ قطعة زجاج حمراء أحمرَ لأنها تمتص ألوان الضّوء الأبيض جميعه ما عدا الأحمر، وهكذا ينفذ اللون الأحمر. وبطريقة مشابهة يظهر لونُ قطعة زجاج زرقاء أزرقَ لأنها تنفذ بشكل رئيس اللون الأزرق وتمتص الألوان الأخرى. تحتوي هذه القطع الزّجاجية على أصباغ (*Pigments*) وخضب؛ جسيمات دقيقة تمتص الضّوء انتقائيًّا عند ترددات معينة، وتنفذه انتقائيًّا عند ترددات أخرى. يُمتص بعض ترددات الضّوء من هذه الأصباغ. ويُعاد إطلاق الباقي من ذرة إلى أخرى في الزّجاج. إنّ طاقة الضّوء الممتص تزيد الطّاقة الحركية للذرات، ويسخن الزّجاج. لا يوجد لون للزجاج العادي لأنه ينفذ ترددات الضّوء المرئيّ جميعها بالتساوي.

الشّكل 27.11

■ يعكس المربع الأعلى الألوان التي تنيره جميعها. يكون أبيض اللون في ضوء الشّمس. وعندما ينار بضوء أزرق يظهر بلون أزرق. يمتص المربع الآخر الألوان المنيرة له جميعها. ويكون أسخن من المربع الأبيض عند تعرضهما لضوء الشّمس.

لمعلوماتك

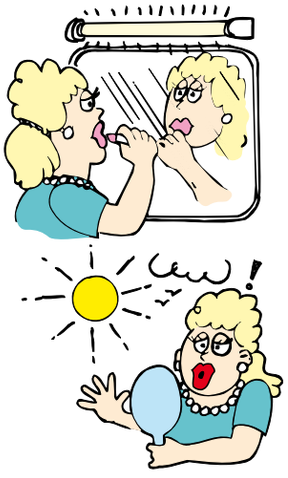
■ يكون الكربون في العادة أسود اللون، ولكن ليس عند ارتباطه بالماء في الغذاء كالخبز والبطاطس. يُزال الماء عند تحميص الخبز أكثر من اللازم، ولهذا يكون الخبز المحمص المحروق أسود اللون.

الشّكل 28.11

يمتصّ الفرو الأسود للأرنب الطّاقة الإشعاعية السّاقطة من ضوء الشّمس جميعها. ولهذا، يبدو أسود اللون. أمّا الجزء الأبيض من الفرو فإنّه يعكس الضّوء للترددات جميعها. لذا، يبدو أبيض اللون.

ينتج اللون الأبيض عند مزج الألوان جميعها. أي أنّ اللون الأسود يعني غياب الألوان كلّها.

الشّكل 29.11
الطّاقة التي لها تردد الضّوء الأزرق هي التي تنفذ فقط. طاقة الترددات الأخرى، أو طاقة اللون المتمم الأصفر، تمتص وتسخن الزّجاج.



الشّكل 30.11
يعتمد اللون على مصدر الضّوء.

■ نقطة فحص

1. لماذا تصبح أوراق الورد الجوري أكثر سخونة من البتلات عند إضاءتها بالضّوء الأحمر؟
2. عند إضاءة البتلات بالضّوء الأخضر. لِمَ تظهر بتلات الجوري الأحمر سوداء اللون؟

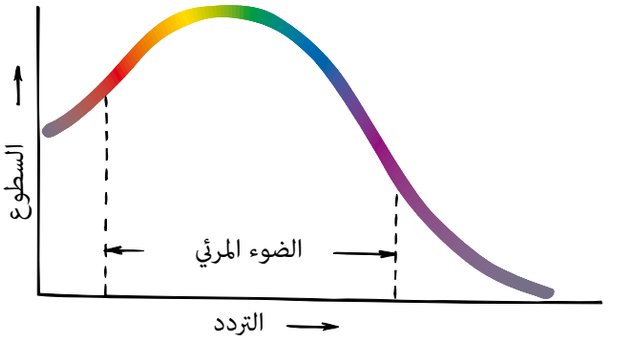
هل كانت هذه إجاباتك؟

1. تمتص الأوراق الضّوء الأحمر بدل عكسه. ولهذا تصبح الأوراق أسخن.
2. تمتص البتلات الضّوء الأخضر بدل عكسه. ولأنّ الأخضر هو اللون الوحيد الذي يضيء الجوري. ولا يحتوي على أيّ لون أحمر يعكسه. فإنّه لا يبقى هناك أي لون. لذا. تظهر البتلات بلون أسود.

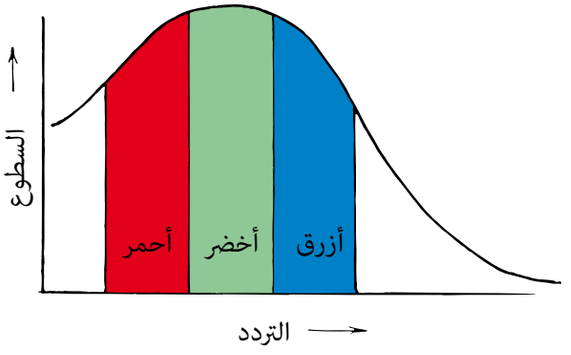
مزج ألوان الضّوء

يتحلّل الضّوء الأبيض بالمنشور إلى طيف ألوان قوس المطر. إنّ توزيع ضوء الشّمس غير متساو (الشّكل 31.11). ويكون الضّوء أكثر شدة في منطقة الجزء الأخضر من الطّيف. كم هو رائع أن أعيننا قد تطورت ليكون لها أعظم حساسية في هذا المدى! ولهذا يكون لون سيارة الإطفاء أصفر. ولون كرات التنس أخضر لكي نراهما بشكل أفضل.

تمتزج الألوان جميعها لإنتاج اللون الأبيض. ومن المثير أن هذا اللون ينتج عن اتحاد كلّ من الضّوء الأحمر والأخضر والأزرق فقط. ويمكننا فهم ذلك بتقسيم منحنى إشعاع الشّمس إلى ثلاث مناطق. كما في الشّكل 32.11. توجد ثلاثة أنواع من المستقبلات بشكل مخروطي في العين. لإدراك اللون. يحفز كلّ نوع ترددات معينة من الضّوء: فالضّوء ذو الترددات المنخفضة المرئيّة ينبه المخروط الحساس للترددات المنخفضة فيظهر أحمر اللون. في حين ينبه الضّوء المتوسط الترددات المخروط الحساس للترددات المتوسطة فيظهر باللون الأخضر. أمّا الضّوء العالي الترددات فينبه المخروط الحساس للترددات العالية فيظهر أزرق اللون. وإذا نبّهت هذه المخاريط الثلاثة بالتساوي فسنرى اللون الأبيض.

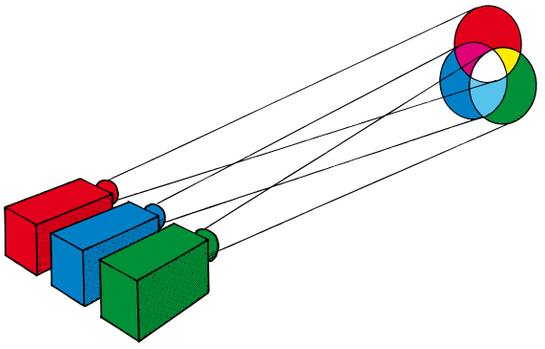


الشّكل 31.11
منحنى إشعاع ضوء الشّمس هو رسم السّطوع مقابل التردد. تكون ذروة سطوع ضوء الشّمس في منطقة الأصفر – الأخضر، والتي هي في وسط المدى المرئيّ.



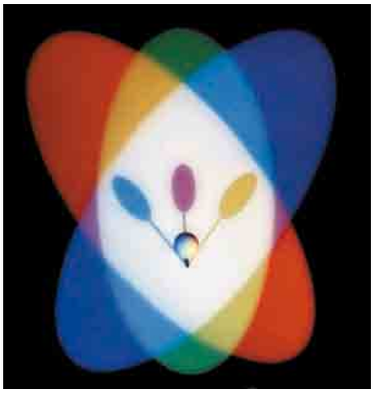
الشّكل 32.11
منحنى إشعاع ضوء الشّمس مقسم إلى ثلاث مناطق هي: الأحمر، والأخضر والأزرق. هذه هي الألوان الأولية المضافة.

من المثير ملاحظة أنّ "السّواد" الذي تراه من أكثر المشاهد ظلامًا على أنبوب التلفزيون هو ببساطة لون وجه الأنبوب نفسه، وعندما يضاء يكون رماديًّا أكثر من كونه أسود، ولكن بسبب حساسية أعيننا للمغايرة للأجزاء المضادة على الشّاشة فإنّنا نرى اللون الرّماديّ أسود.



الشّكل 33.11
إضافة اللون بمزج الأضواء الملونة. عند إشعاع الأضواء الأحمر والأخضر والأزرق من ثلاث آلات عرض على شاشة بيضاء، ينتج تداخل الأجزاء ألوانًا مختلفة. وينتج الأبيض عندما تتطابق الثلاثة.

أسقط كلًّا من اللون الأحمر والأخضر والأزرق على شاشة حيث تتداخل جميعًا لإنتاج اللون الأبيض. إذا تداخل لونان أو أضيفا فسينتج لون آخر. (الشّكل 33.11.) وإنْ أضفنا كميات مختلفة من الأحمر والأخضر والأزرق، فيمكننا عندئذ إنتاج أيّ لون في الطّيف. ولهذا، تسمى الألوانُ: الأحمر والأخضر والأزرق **الألوانَ الأساسية المضافة (Additive Primary Colors)**. إنّ الفحص عن قرب للصورة على معظم أنابيب التلفاز الملون يكشف أنّ الصورة هي تجميع لنقاط معينة صغيرة أبعادها أقلّ من ملمتر واحد. وعند إضاءة الشّاشة فإنّ بعض هذه النقاط تظهر حمراء، وبعضها الآخر خضراء، والآخر زرقاء، وينتج مزيج هذه الألوان الأساسية مدى واسعًا من الألوان عن بعد بالإضافة إلى اللون الأبيض.



الشّكل 34.11
تظهر كرة الجولف البيضاء بهذا اللون عندما تضاء بالأحمر والأخضر والأزرق بمقدار متساوٍ. لماذا تظهر ظلال زرقاء داكنة وبنفسجية وصفراء؟

الألوان المتممة (Complementary Colors)

هذا ما يحدث عند اتحاد لونين أو ثلاثة من الألوان الأساسية المضافة:

أحمر + أزرق = أرجوانيًّا
أحمر + أخضر = أصفر
أزرق + أخضر = سماويًّا

نقول إنّ البنفسجي هو عكس الأخضر، والأزرق الداكن عكس الأحمر، والأصفر عكس الأزرق. إنّ إضافة أيّ لون إلى عكسه ينتج اللون الأبيض.

البنفسجي + الأخضر = الأبيض (= الأحمر + الأزرق + الأخضر).
الأزرق الداكن + الأحمر = الأبيض (= الأزرق + الأخضر + الأحمر).
الأصفر + الأزرق = الأبيض (= الأحمر + الأخضر + الأزرق).

عند إضافة لونين معًا ينتج اللون الأبيض، ويسمى هذان اللونان **لونين متمّمَيْن**. ولكل لون لون متمّم، وإنْ مُزجا معًا ينتج اللون الأبيض.

تستخدم حقيقة وجود لون متمّم ولون آخر ينتجان الأبيض عند اتحادهما، في إضاءة المسارح وإضفاء البهجة على الأداء، عند تسليط الضوءين الأزرق والأصفر على الممثلين، مثلًا. ينتج أثر اللون الأبيض، ما عدا غياب لون أو اثنين، كما في الظلال. إنّ ظلال المصباح الأزرق المضاء بمصباح أصفر، تظهر أصفر اللون. وبالمثل، فإنّ الظّلّ السّاقط من اللون الأصفر يظهر بلون أزرق. يا لروعة هذه الظاهرة!

يمكننا رؤية هذا الأثر في الشّكل 34.11، حيث سلّط كلّ من الضّوء الأحمر والأخضر والأزرق على كرة جولف. لاحظ الظلال المسقطة من الكرة. يسقط الظّلّ الأوسط من نقطة الضّوء الأخضر، وهي غير معتمة لأنها مضاءة من الضوءين الأحمر والأزرق لإنتاج اللون البنفسجي. يظهر الظّلّ المسقط من الضّوء الأزرق أصفر؛ لأنه مضاء من الضّوءين الأحمر والأخضر. هل ترى سبب ظهور الظل السّاقط من الضّوء الأحمر بالأزرق الداكن؟

الشّكل 35.11
يعرض بول Paul ألوانًا مختلفة عند إضاءتها فقط بمصابيح؛ أحمر وأخضر وأزرق. هل يمكن تفسير ظهور ألوان أخرى ناتجة؟

حساب العلوم الطّبيعيّة

■ **حلّ مسائل**

عينات مسائل

1. من الشّكلين 33.11 و34.11، جد المتمم للأزرق الداكن والأصفر والأحمر.
2. أحمر + أزرق داكن = _____
3. أبيض - أزرق داكن = _____
4. أبيض - أحمر = _____

الحلول:

1. الأحمر والأزرق والأزرق الداكن
2. الأبيض
3. الأحمر
4. الأزرق الداكن، ومن المدهش معرفة أنّ لون البحر هو الأزرق الداكن، وهو نتيجة إزالة الأحمر من ضوء الشّمس الأبيض.

إنّ الترددات الطبيعية لجزيئات الماء تتطابق مع تردد الضَّوء تحت الأحمر. وعليه، فإنّ الضَّوء تحت الأحمر يمتص بالكامل من الماء - لذا، يظهر باللون الأزرق المخضر أو الأزرق الداكن.

مزج الأصباغ الملونة

يعرف كلّ فنان أنه عند مزج الدهانات ذات اللون الأحمر والأخضر والأزرق، لا يَنتج اللون الأبيض بل لون بنيّ داكن كلون الوحل. وبالتأكيد لا ينتج عن مزج اللونين الأحمر والأخضر اللون الأصفر. لذا، فإنّ قواعد إضافة الألوان الضّوئيّة لا تنطبق هنا. إنّ مزج الأصباغ اللونية في الدهانات يختلف تمامًا عن مزج الأضواء. إنّ الأصباغ جسيمات صغيرة جدًّا تمتص ألوانًا محددة. فمثلًا، الأصباغ اللونية التي تنتج اللون الأحمر، تمتص اللون المتمم الأزرق الداكن. لذا فإنّ أيّ شيء مدهون بالأحمر يمتص الأزرق الداكن. ولهذا السبب يعكس الأحمر. وأخيرًا، فقد تم طرح الأزرق الداكن من الضَّوء الأبيض. وإنْ دُهِن شيء باللون الأزرق فإنّه سيمتص اللون الأصفر. ولذا يعكس الألوان جميعها ما عدا الأصفر. وإذا أزلت اللون الأصفر من الأبيض فستحصل على اللون الأزرق. تسمى الألوان: البنفسجي، والأزرق الداكن، والأصفر **الألوانَ الأولية المطروحة (Subtractive Primary Colors)**. إنّ الألوان المختلفة التي تراها في الصور الملونة في هذا الكتاب أو غيره من الكتب هي نتيجة النقاط من الأرجواني والسماوي والأصفر. الضَّوء ينير هذا الكتاب، وضوء بعض الترددات مطروحًا منه الضَّوء المنعكس. إنّ قواعد طرح الألوان تختلف عن قواعد إضافة (ألوان) الضَّوء.

لماذا نرى السّماء زرقاء؟

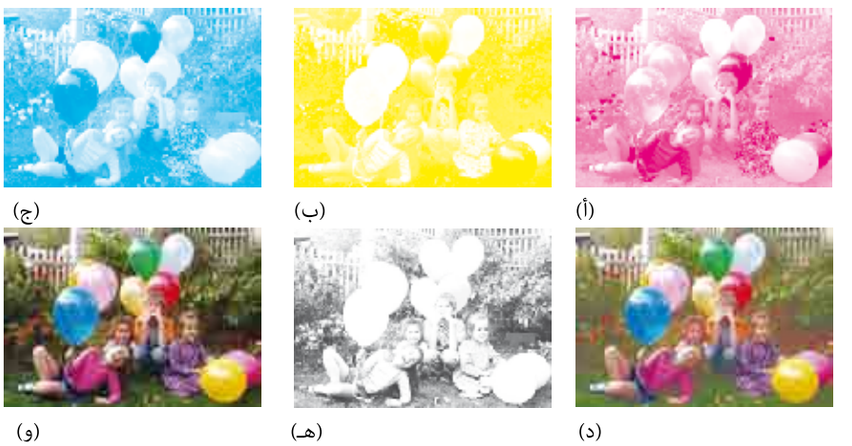
لا تنتج الألوان جميعها بإضافة الضَّوء أو طرحه. بعض الألوان مثل زرقة السّماء، هو نتيجة الاستطارة الانتقائية*. خذ الصّوت مثلًا مشابهًا: إذا وجهت حزمة من تردد صوت معين نحو شوكة رنانة لها تردد مشابه، فستبدأ الشوكة الرنانة الاهتزاز، وتعيد توجيه الحزمة في اتجاهات متعددة

الشّكل 36.11

النظر من خلال عدسة مكبرة، يُرى اللون الأخضر على صفحة مطبوعة كنقاط زرقاء داكنة وصفراء.

الشّكل 37.11

تمثل الألوان الجميلة للببغاء العديد من ترددات ألوان الضَّوء. ولكن الصورة هي مزيج من الأصفر والأرجواني والسماوي والأسود فقط.



(أ) (ب) (ج)

(د) (هـ) (و)

الشّكل 38.11

تستخدم ثلاثة ألوان فقط (إضافة إلى الأسود) لطباعة الصور الملونة - (أ) الأرجواني. (ب) الأصفر. (ج) الأزرق المخضر. إنّ اتحاد هذه الألوان ينتج الألوان المبينة في (د). ينتج إضافة الأسود (هـ) الصورة النهائية في (و).

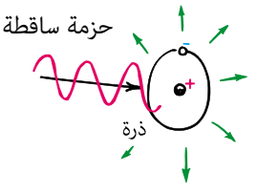
* يسمى هذا النوع من الاستطارة، *استطارة ريلي Rayleigh*، وهو يحدث كلما كانت الجسيمات المستطيرة أصغر من طول موجة الضَّوء السّاقط. ولها تردد رنيني على تردد أعلى من ذلك الذي للضَّوء المستطار..

تستطير الشّوكة الرنانة الصّوت. تحدث عملية مشابهة للضّوء المستطير من الذرات والجسيمات التي تكون بعيدة بعضها عن بعض. وهذا ما يحدث في الغلاف الجويّ.

نحن نعلم أنّ الذرات تسلك سلوك شوكات رنانة ضوئية صغيرة جدًّا؛ فهي تعيد بثّ موجات الضّوء التي تسلط عليها. تسلك الجسيمات المتناهية في الصّغر سلوكًا مشابهًا. كلما صغر الجسيم زاد تردد الضّوء الذي يبعثه. وهذا يشبه الطريقة التي تطلق بها الأجراس الصغيرة أصواتًا أعلى (حادة) من الأصوات التي تطلقها الأجراس الكبيرة. إنّ جزيئات النيتروجين والأكسجين التي تشكل معظم الغلاف الجوي هي كالأجراس الصغيرة التي ترن بترددات عالية عندما تعطى الطّاقة من ضوء الشّمس. ومثل صوت الأجراس، فإنّ الضّوء المعاد بثه يرسل الضّوء في الاتجاهات جميعها. ويقال للضّوء المعاد بثه بأنه *استطار* في الاتجاهات كافة.

من بين الترددات المرئيّة من ضوء الشّمس، يكون البنفسجي هو الأكثر استطارة من الأكسجين والنيتروجين في الغلاف الجويّ. وتكون استطارة الألوان الأخرى وفق الترتيب الآتي: الأزرق، ثم الأخضر، ثم الأصفر، ثم البرتقاليّ، ومن ثمَّ الأحمر. يستطير الأحمر بمقدار ($\frac{1}{10}$) استطارة البنفسجي، على الرّغم من أنّ البنفسجي يستطير أكثر من الأزرق. وبما أنّ أعيننا غير حساسة للضّوء البنفسجي، فإنّ الضّوء الأزرق المستطير هو الغالب على رؤيتنا. ولهذا، نرى السّماء زرقاء!

الإشعاع المستطير



الشّكل 39.11

تسقط حزمة من الضّوء على ذرة فتزيد الحركة الاهتزازية للإلكترونات في الذرة. وبدورها تعيد الإلكترونات المهتزة بث الضّوء إلى الاتجاهات كلّها. وهذا ما يسمّى باستطارة الضّوء.

الشّكل 40.11

تعطينا استطارة الضّوء ذي التردد العالي، في هواء نظيف سماء زرقاء. عندما يكون الهواء مليئًا بجسيمات أكبر من جزيئات الأكسجين والنيتروجين، يستطير الضّوء ذو الترددات المنخفضة التي تضاف إلى استطارة الضّوء ذي التردد العالي ليعطينا سماء مائلة للون الأبيض.

في يوم صاف وجافٍّ تكون السّماء زرقاء غامقة أكثر منها في يوم صاف ورطب. إنّ سماءَ المناطق التي يكون هواؤها في الطبقات العليا جافًّا جدًّا كإيطاليا واليونان- زرقاءُ جميلة. مما ألهم الرّسامين على مدى قرون. وفي المناطق التي يحتوي فيها الغلاف الجوي على جسيمات كثيرة من الغبار، وجسيمات أخرى أكبر من جزيئات الأكسجين والنيتروجين، فإنّ الضّوء ذا الترددات المنخفضة يتعرض لاستطارة كبيرة لا يستهان بها. وهذا يجعل السّماء تبدو أقلّ زرقة مع مظهر يميل إلى البياض. وبعد عاصفة سطحية كبيرة، حيث تترسب الجسيمات العالقة في الهواء وتُغسل، تظهر السّماء زرقاء داكنة.

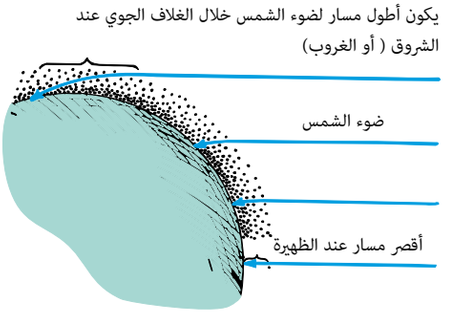
إنّ الغيوم الرّمادية فوق المدن الكبيرة هي نتيجة الجسيمات التي تطلقها عوادم السيارات، ومحركات الشاحنات، والمصانع. حتى في الوضع المثالي، فإنّ السيارة النموذجية تطلق أكثر من 100 بليون جسيم في الثانية. ومعظم هذه الجسيمات غير مرئية، ولكنها تتصرف كمراكز صغيرة تلتصق عليها الجسيمات الأخرى. هذه هي المستطيرات الأساسية للضّوء المنخفض التردد مع الجسيمات الكبرى. ومن هنا، يحدث الامتصاص بدل الاستطارة، وتظهر الغيوم الرمادية.

يسخّن السّناج (Soot) الغلاف الجويّ بامتصاص الضّوء، في حين يُبَرّد مناطق محلية أخرى بحجبه ضوء الشّمس من الوصول إلى الأرض. تسبب جسيماتُ السّناج الموجودة في الهواء الأمطارَ الشديدةَ في إحدى المناطق، وجفافًا وعواصف غبار في مناطق أخرى.

لماذا يكون غروب الشّمس أحمر اللون؟

إنّ الضّوء الذي لا يستطير هو الضّوء النافذ. ولأنّ الأضواء الأحمر والبرتقالي والأصفر هي الأقلّ استطارة في الغلاف الجويّ وذات ترددات منخفضة، فإنّها تنفذ الترددات من خلال الهواء. ولأنّ استطارة اللون الأحمر هي الأقلّ، فإنّه ينفذ خلال الغلاف الجوي أكثر من أي لون آخر. وعليه، فكلما كان الغلاف الجوي الذي تنتقل فيه حزمة ضوء الشّمس أكثر سمكًا، احتاج إلى وقت أطول ليستطير أجزاء الضّوء ذات الترددات العالية. ومن ثم ينتقل الضّوء الأحمر في الغلاف الجوي انتقالًا أفضل. كما يبين الشّكل 41.11. ينتقل ضوء الشّمس خلال الغلاف الجوي أفضل عند الغروب. ولهذا يبدو غروب الشّمس أحمر اللون.

تكون الألوان من المناطق البعيدة باهتة، وتزول الفروق بين الألوان. ولهذا، تكون الصور الملونة بصورة عامة أكثر تعبيرًا من صور الأبيض والأسود للمنظر نفسه.



يكون أطول مسار لضوء الشمس خلال الغلاف الجوي عند الشروق (أو الغروب)

عند الظهيرة، يقطع ضوء الشّمس أقلّ مسافة خلال الغلاف الجوي ليصل إلى سطح الأرض. وتستطير كمية قليلة فقط من الأزرق، وهذا يجعل الشّمس تظهر مائلة إلى الاصفرار. ومع تقدم النهار، تنحدر الشّمس إلى الأسفل في السّماء، كما يشير الشّكل 41.11. ويكون المسار خلال الغلاف الجوي أطول، ويستطير مزيدًا من فوق البنفسجي والأزرق من ضوء الشّمس. وتصبح الشّمس أكثر احمرارًا تدريجيا، وتنتقل من الأصفر إلى البرتقالي، وأخيرا إلى البرتقالي - الأحمر عند الغروب. ويكون غروب الشّمس وشروقها ملونًا بشكل غير عادي بعد الثوران البركاني بسبب وجود عدد كبير من الجسيمات في الغلاف الجوي.

الشّكل 41.11
يجب أن تنتقل أشعّة الشّمس كيلو مترات أكثر في الغلاف الجوي حين الغروب منها عند الظهيرة. ونتيجة لذلك، يستطير الأزرق أكثر حين الغروب منه عند الظهيرة. وفي الوقت الذي تصل فيه أشعّة الشّمس البيضاء الأرضَ، فإنّ الضّوء ذا التردد المنخفض فقط يبقى لينتج غروب شمس أحمر.

لماذا تبدو الغيوم بيضاء؟

تتكون الغيوم من عناقيد من قطرات الماء بأحجام مختلفة تنتج العديد من الألوان المستطيرة. تميل العناقيد الصغيرة إلى إنتاج الغيوم الزرقاء، أمّا الأكبر قليلًا فتنتج الغيوم الخضراء. في حين تنتج أكبر العناقيد الغيوم الحمراء، لتتكوّن الغيوم البيضاء أخيرًا. تهتز الإلكترونات القريبة بعضها من بعض في هذه العناقيد بالطور نفسه، وهذا يؤدي إلى شدة ضوء مستطير أعلى، مما لو كانت هذه الإلكترونات تهتز منفصلة بعضها عن بعض. وفي النهاية، تكون الغيوم ناصعة!

تمتص قطرات العناقيد الكبيرة معظم الضّوء السّاقط عليها، ولهذا، تكون شدة الاستطارة أقلّ. وهكذا تظهر الغيوم التي تحتوي على عناقيد كبيرة رمادية عميقة ومعتمة، تتسبب الزيادة في حجم هذه العناقيد إلى نزولها كقطرات مطر. وهكذا يتمّ الحصول على المطر.

في المرة القادمة عندما تجد نفسك مندهشًا من لون السّماء الأزرق الصافي، أو سررت من حجم الغيوم الناصعة، أو بمراقبة غروب الشّمس الجميل، فكر في الشّوكات الرنانة الضّوئيّة المتناهية الصغر المهتزة بعيدًا. ستتمتع بهذه الروائع الطبيعية اليومية أكثر!

الشّكل 42.11
تتكون الغيمة من قطرات ماء بأحجام مختلفة. تستطير أصغر القطرات الضّوء الأزرق، في حين تستطير القطرات المتوسطة الحجم الضّوء الأخضر، أمّا القطرات الأكبر فتستطير الضّوء الأحمر، لتكون النتيجةُ النهائية غيمةً بيضاء.

الشّكل 43.11
تظهر الموجة زرقاء داكنة بسبب امتصاص مياه البحر للضّوء الأحمر. يبدو الرذاذ عند قمة الموجة أبيض اللون كالغيوم؛ لأنه مكون من قطرات ماء بأحجام مختلفة وتستطير ترددات الضّوء المرئيّ جميعها.

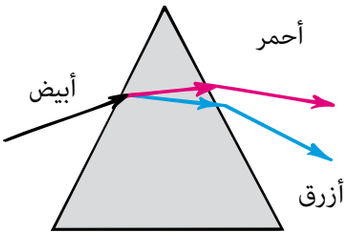
نقطة فحص

1. ما اللون الذي تظهر عليه السّماء، لو أنّ الجزيئات في السّماء تستطير مع الضّوء ذي التردد المنخفض أكثر من استطارتها من الضّوء ذي التردد العالي؟ ماذا يكون لون غروب الشّمس أيضًا؟
2. تبدو الجبال البعيدة المظلمة مائلة للزرقة، ما مصدر زرقتها؟ (مساعدة: ماذا يوجد بيننا وبينها على وجه الدّقة؟).

هل كانت هذه إجاباتك؟

1. إذا استطارت الترددات المنخفضة فإنّ السّماء تظهر مائلة إلى البرتقاليّ – الأحمر عند الظهر. ويستطير الأحمر أكثر حين الغروب بسبب المسافات الطويلة التي يقطعها ضوء الشّمس. وتظهر الشّمس مائلة إلى الأزرق وفوق البنفسجي. وهكذا سيبدو غروب الشّمس أزرقَ!
2. إذا نظرنا إلى الجبال البعيدة المظلمة، فإنّ القليل من ضوئها يصل إلينا. وتسيطر زرقة الغلاف الجوي بيننا وبين الجبال. إنّ الزرقة هي «السّماء» على ارتفاعات منخفضة بيننا وبين الجبال. ولهذا تظهر الجبال البعيدة زرقاء.

6.11 التّشتّت



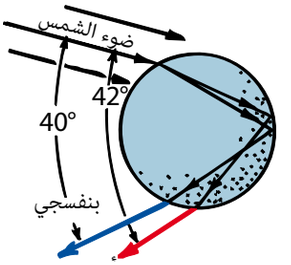
الشّكل 44.11
يجعل التّشتّت من المنشور مكونات الضّوء الأبيض واضحة.

رأينا أنّ الضّوء يُمتصّ حينما يكون له **نفس ذبذبات** الإلكترونات في الذرات والجزيئات للمادة. وتكون هذه المادة معتمة للضّوء. تذكر أنّ النفاذية تحدث للضّوء ذي الترددات بالقرب من ترددات الرّنين للمادة (وليس مساويًا لها). يتباطأ الضّوء نتيجة تتابع الامتصاص / وإعادة البثّ. وكلما كان تردد الضوء قريبًا من تردد الإلكترونات في الذرات تباطأ الضوء أكثر. هذا موضح في الشّكل 6.11. إنّ النتيجة المهمة هي أنّ الضّوء ذا التردد العالي يسير أبطأ من الضّوء ذي التردد المنخفض في الوسط الشفاف. يسير الضّوء البنفسجي أبطأ بمقدار 1% من الضّوء الأحمر في الزّجاج العادي. وتسير ألوان الضّوء من الأحمر إلى البنفسجي بسرعات نسبية لكلّ منها في الزّجاج.

وبسبب أنّ الضّوء الذي له ترددات مختلفة يسير بسرعات مختلفة في المواد الشّفّافة، فإنّ ألوان الضّوء المختلفة تنكسر بكميات متفاوتة. وعند انكسار الضّوء الأبيض مرتين، كما في المنشور، يكون تباعد ألوان الضّوء ملاحظًا بشكل جيد. يسمّى تباعدُ الضّوء إلى ألوان مرتبة وفق التردد **التّشتّت** (الشّكل 44.11). وبسبب هذا التّشتّت يظهر قوس المطر.

قوس المطر (Rainbow)

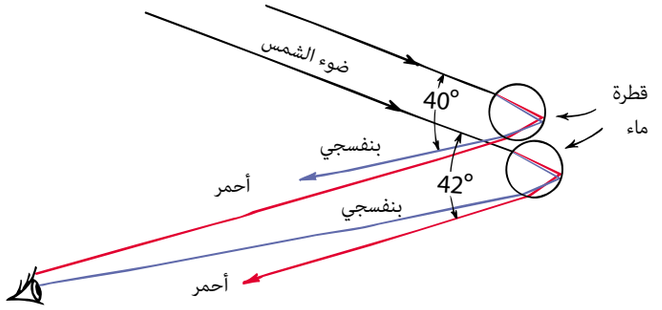
ولكي نتمكن من مشاهدة قوس المطر، يجب أن تشعّ الشّمس على قطرات من الماء أو على مطر ساقط. حيث تعمل القطرات مناشير تشتت الضّوء. وعندما تواجه قوس المطر، فإنّ الشّمس تكون خلفك في الجانب المقابل من السّماء. عند رؤيتك القوس من طائرة في منتصف النهار، يظهر القوس كدائرة كاملة. وكما سنرى، فإنّ أقواس المطر جميعها تظهر كدائرة كاملة لو لم تعترضها الأرض في طريقها.



الشّكل 45.11
تشتت ضوء الشّمس بقطرة مطر واحدة.

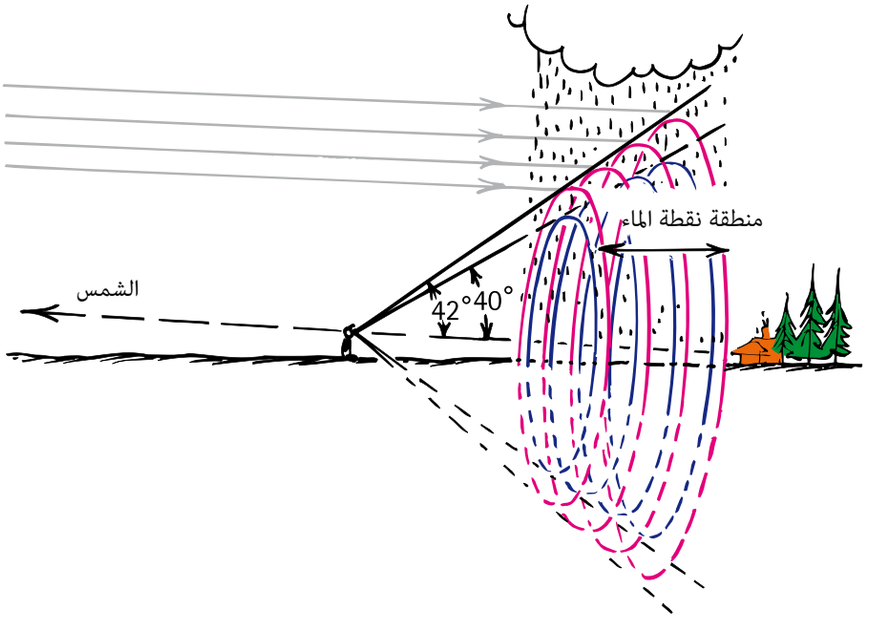
يمكنك رؤية كيف أنّ قطرة الماء تشتت الضّوء في الشّكل 45.11. اتبع شعاع الشّمس منذ دخوله القطرة عند سطحها العلوي. ينعكس بعض الضّوء (غير ظاهر)، في حين ينكسر الباقي في الماء. عند الانكسار الأول، يتشتّت الضّوء إلى ألوان الطّيف. يكون الأحمر أقلّ انحرافًا بعكس البنفسجي الأكثر انحرافًا. وعندما يصل الضّوء إلى الطرف المقابل للقطرة، ينكسر كلّ لون جزئيًّا إلى الهواء مرة أخرى (غير ظاهر) وينعكس جزئيًّا في الماء. وعند وصوله إلى السّطح السّفليّ للقطرة، فإنّ كلّ لون ينعكس جزء منه مرة أخرى وينكسر جزئيًّا مرة أخرى إلى الهواء. إنّ الانكسار عند السّطح الثاني، كما هو الحال في المنشور، يزيد من التّشتّت الذي حدث عند السّطح الأول* .

على الرّغم من أنّ كلّ قطرة تشتت كامل ألوان الطّيف، فإنّ الملاحظ يستطيع رؤية لون أحاديّ من أيّ قطرة (الشّكل 46.11).



الشّكل 46.11
ينتج عن سقوط ضوء الشّمس على قطرتين من المطر ضوء مشتت. يرى الناظر ضوءًا أحمرَ من القطرة العليا وضوءًا بنفسجيًّا من القطرة السّفلى. تنتج ملايين القطرات كامل الطّيف المرئيّ.

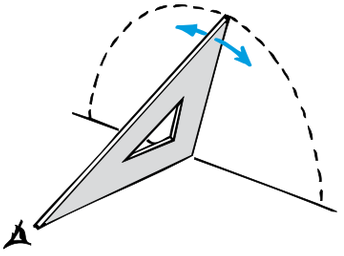
* للتسهيل: نشير إلى أنّ الشعاع الأحمر يتشتت عند 42°. وفي الحقيقة، يمكن أن تأخذ الزاوية بين الشعاعين السّاقط والمنعكس أي من 0 إلى 42° (تقابل الزاوية 0 عودة الشعاع على نفسه أي بانعكاس 180°) إنّ أكبر تركيز لشدة الضّوء للأحمر هي بالقرب من الزاوية العظمى 42°، كما في الشّكلين 45.11 و46.11.



الشّكل 47.11
عندما يكون موضع عينك بين الشّمس (بعيدًا إلى اليسار، غير ظاهرة) ومنطقة قطرات الماء، فإنّ قوس المطر الذي تراه هو طرف مخروط في ثلاثة أبعاد، يمتد خلال منطقة قطرات الماء. يتشتت البنفسجي من القطرات التي تصنع زاوية 40° مع السّطح المخروطي، يشاهد الأحمر من القطرات التي تصنع زاوية 42° مع السّطح المخروطي، وتظهر الألوان الأخرى بينهما على الترتيب. (يُشكل العدد الكبير من طبقات القطرات عددًا كبيرًا من الأقواس لاثنائية الأبعاد، مثل المجموعات الأربع الموضحة هنا.)

إذا وصل الضّوء البنفسجي من قطرة واحدة إلى عين الملاحظ، فسيقسط الضّوء الأحمر من القطرة نفسها في مكان آخر في اتجاه القدم. ولمشاهدة الضّوء الأحمر يجب أن ينظر المرء إلى قطرة عالية في السّماء. إنّه يرى اللون الأحمر عندما تكون الزاوية بين شعاع ضوء الشّمس والضّوء المتشتت هي 42°. أمّا اللون فوق البنفسجي فيراه عندما تكون الزاوية بين حزم الشّمس والضّوء المتشتت هي 40°.

لماذا يشكّل الضّوء المتشتت من القطرات قوسًا؟ تتطلب الإجابة عن هذا السؤال شيئًا من الهندسة. أولًا، إنّ قوس المطر ليس قوسًا مسطحًا في بعدين كما يبدو. في الواقع، إنه مخروط من الضّوء المتشتت في ثلاثة أبعاد. إنّ قمة المخروط هي عند عينيك. ولفهم هذا: خذ مخروطًا زجاجيًّا، مثل شكل المخاريط الورقية التي تراها عند صنابير الشرب. إذا أمسكت رأس هذا المخروط الزّجاجي مقابل عينيك، فماذا سترى؟ هل ترى الكأس كدائرة؟ وهكذا يتكوّن قوس المطر. إنّ القطرات التي شتّتت ضوء قوس المطر نحوك جميعها تقع على شكل مخروط من طبقات مختلفة. وقطرات تحرف الأحمر نحو عينيك من الخارج، والبرتقالي تحت الأحمر، والأصفر تحت البرتقالي وهكذا، إلى البنفسجي، إلى السطح المخروطي الداخلي (الشّكل 47.11). وكلما كانت المنطقة التي تحتوي على قطرات الماء أسمك كانت الأطراف المخروطية التي تنظر من خلالها أسمك، وكان قوس المطر أشد.



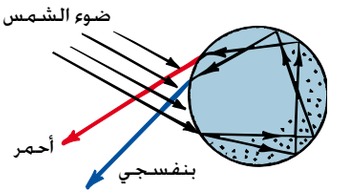
الشّكل 48.11
قطرات المطر على طول الخط المتقطع فقط تشتت الضّوء الأحمر للملاحظ عند زاوية 42°، ومن ثم يشكل الضّوء قوسًا.

الشّكل 49.11
ينتج عن انكسارات قطرات الماء وانعكاساتها ضوءٌ للزوايا حتى 42° جميعها، وبتركيز أكبر بين 40° و42°. لا يستطيع الضّوء النفاذ من قطرات الماء عند زوايا أكبر من 42° إلا إذا تعرض لانعكاسين أو أكثر داخل القطرة. لذا تظهر السّماء ساطعة داخل قوس المطر أكثر منها خارجه. لاحظ قوس مطر ثانويًّا ضعيفًا.

يتقاطع مخروط رؤيتك مع قطرات الغيمة لتكوّن قوسك. يختلف قوس المطر الذي تراه دائمًا عن القوس الذي يراه شخص بجوارك قليلا. وهكذا، فعندما يقول صديقك: انظر ما أجمل قوس قزح! فعليك الإجابة: نعم، ولكن تحرك جانبًا لكي أراه أيضا؛ كلّ شخص يرى / ترى قوس المطر الخاص به / بها.

وهناك حقيقة أخرى حول قوس المطر خاصتك وهي أنّه يواجهك دائمًا مباشرة. فعندما تتحرك، يظهر القوس وكأنه يتحرك معك. لذا، لا يمكن الاقتراب من جانب القوس أو رؤية نهاية له كما في المنظر المبالغ فيه (الشّكل 47.11). لا يمكنك الوصول إلى نهايته. وهكذا، فإنّ القول "فتش عن قدر الذهب في نهاية قوس المطر" يعني طلب شيء لا يمكن الوصول إليه.

غالبًا، يمكن رؤية قوس ثانوي أكبر تكون ألوانه معكوسة عند زاوية أكبر هو القوس الأولي. لن نتناول هذا القوس الثانوي هنا، ولكننا نقول إنه تشكل في ظروف مشابهة وأنه نتيجة انعكاس ثنائيّ ضمن قطرات الماء (الشّكل 50.11). وبسبب هذا الانعكاس الإضافي (وفقدان انكسار إضافي) يكون القوس الثانوي باهتًا ومعكوسًا.



الشّكل 50.11
ينتج الانعكاس الثنائي في قطرة قوس ثانوي.

نقطة فحص

1. افترض أنك تشير إلى حائط وذراعك ممدودة. ثم حركت ذراعك حولك، بزاوية مقدارها $42°$ في اتجاه الحائط. إذا أدرت ذراعك دورة كاملة مع الاحتفاظ بالزاوية نفسها، فما الشّكل الذي تصنعه ذراعك؟
2. إذا كان الضّوء ينتقل في قطرات المطر بالسّرعة نفسها في الهواء، فهل ترى قوس المطر؟

هل كانت هذه إجاباتك؟

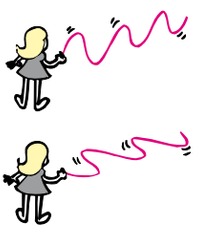
1. تصنع ذراعي مخروطًا، وحركة أصابعي دائرة كقوس المطر.
2. لا.

7.11 الاستقطاب

كما عرفنا في الفصل العاشر، فإما أنْ تكون الموجات طولية أو عرضية. إنّ موجات الصوت طولية، وهذا يعني أنّ الحركة الاهتزازية للوسط تكون في اتجاه انتقال الموجة. أمّا حقيقة أنّ أمواج الضّوء تظهر **استقطابًا** فهذا يشير إلى أنّ أمواج الضّوء عرضية.

إذا هززت حبلًا إلى الأعلى والأسفل من جانب إلى آخر، كما هو مبين في الشّكل 51.11، فأنت تنتج أمواجًا عرضية على طول الحبل. ويكون مستوى الاهتزاز هو نفسه مستوى الموجة. إذا هُزّ الحبل إلى الأعلى والأسفل فإنّ الموجة تتذبذب في مستوى عموديّ. ولكن إذا هُزّ الحبل إلى الأمام والخلف، فإنّ تذبذبات الموجة تكون في مستوى أفقيّ، وعندئذٍ نقول إنّ هذه الموجة مستقطبة استوائيًا، أي أنّ الموجة التي تنتقل عبر الحبل تكون محصورة في مستوى واحد. يعدّ الاستقطاب خاصية للموجة العرضية. (لا يحدث الاستقطاب للأمواج الطولية - لا يوجد شيء كالصوت المستقطب).

يمكن لإلكترون مهتز مفرد أن يطلق موجة كهرومغناطيسية تكون مستقطبة استوائيًا. يماثل مستوى الاستقطاب الاتجاه الاهتزازي الإلكتروني وهذا يعني أنّ الإلكترون المسرع عموديًا يطلق ضوءًا مستقطبًا عموديًا.



الشّكل 51.11
الموجة المستوية في المستوى المستقطب عموديًا، والموجة المستوية في المستوى المستقطب أفقيًا.

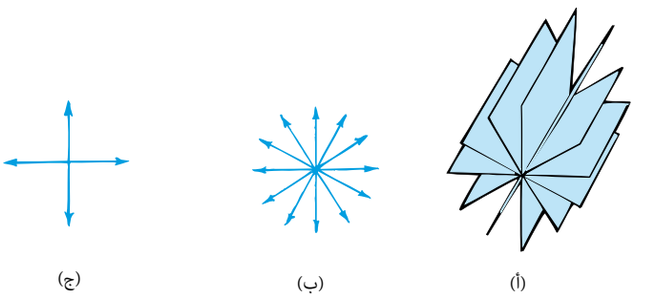
(أ) (ب)

الشّكل 52.11
(أ) الموجة المستقطبة في مستوى عموديّ من اهتزاز شحنة عموديًّا. (ب) الموجة المستقطبة في مستوى أفقيّ من اهتزاز شحنة أفقيًّا.

أمّا الإلكترون المسرع أفقيًّا فيطلق ضوءًا مستقطبًا أفقيًّا (الشّكل 52.11).*

تطلق مصادر الضَّوء المألوفة، كالمصباح المتوهج، والمصباح الفلوري، أو لهب شمعة، ضوءًا غير مستقطب، بسبب إطلاق الإلكترونات للضَّوء في اتجاهات عشوائية عديدة. وهناك عدد من مستويات الاهتزاز بعدد الإلكترونات المهتزة التي تطلقها. يبين الشّكل 53.11أ عدة تمثيلات لهذه المستويات. ويمكن تمثيل هذه المستويات بخطوط دائرية كالمبينة في الشّكل 53.11.ب (أو ببساطة أكثر، يمكن تمثيل المستويات بمتجهين متعامدين، كما في الشّكل 53.11.ج يمثل المتجه العموديّ المركبات العمودية للاهتزازات جميعها، في حين يمثل المتجه الأفقيّ المركبات الأفقية للاهتزازات جميعها. يمثل هذا النموذج البسيط في الشّكل 53.11 ضوءًا غير مستقطب. ويمثل الضَّوء المستقطب بمتجه مفرد.

يحدث الاستقطاب للأمواج العرضية فقط. وفي الحقيقة، إنها طريقة مهمة لفحص ما إذا كانت الموجة عرضية أم طولية.



(أ) (ب) (ج)

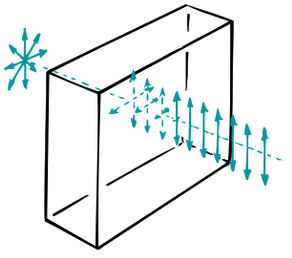
الشّكل 53.11
تمثيل للأمواج المستقطبة استوائيًّا.

تمتلك البلوراتُ الشّفّافة - والتي لها شكل طبيعيّ غير مكعب جميعُها - خاصيةَ استقطاب الضَّوء. تقسم هذه البلورات الضَّوء غير المستقطب إلى حزمتين داخليتين مستقطبتين بزوايا قائمة بعضها على بعض. تمتص بعض البلورات حزمة، في حين تنفذ الجزء الآخر (الشّكل 54.11)؛ مما يجعلها مستقطبات ممتازة. إنّ الهيراباثيت (Herapathite) مثال على هذه البلورة. ترتّب بلورات الهيراباثيت دون المجهرية وتحفظ في صفائح سليلوزية. إنها تشكّل مرشحات بولاريود Polaraoid مشهورة في الوقاية من الشّمس. تتكون صفائح البولاريود الأخرى من جزيئات مصفوفة بدلًا من البلورات الصغيرة.

إذا نظرت إلى ضوء غير مستقطب من خلال مرشح بولاريود، فيمكنك إدارة المرشح في أي اتجاه، ويظهر الضَّوء دون تغيير. ولكن إذا كان الضَّوء مستقطبًا، فإنّ إدارة المرشح يحجب الضَّوء من النفاذ تدريجيًّا إلى منعه من النفاذ بالكامل. يُنفذ مرشح البولاريود المثالي 50% من الضَّوء غير المستقطب السّاقط عليه، ويكون هذا هو الضَّوء المستقطب. وعند وضع مرشحين من البولاريود، بحيث يكون محورًا الاستقطاب لهما مصفوفين في الاتجاه نفسه، فإنّ الضَّوء يمرّ من خلالهما، كما هو مبين في مثال الحبل المناظر (الشّكل 55.11أ). وإذا كان محوراهما يصنعان زاوية قائمة معًا فسنقول إنّ المرشحين متعامدان، ومعظم الضَّوء لا ينفذ من هذين المرشحين (الشّكل 55.11ب). (هناك كمية قليلة من الأطوال الموجية القصيرة تنفذ عند استخدام مرشحات البولاريود المزدوجة، ويسمّى مثل هذا الوضع المستقطبَ الأوليّ، في حين يسمّى الثّاني محللَ الضَّوء المستقطب.

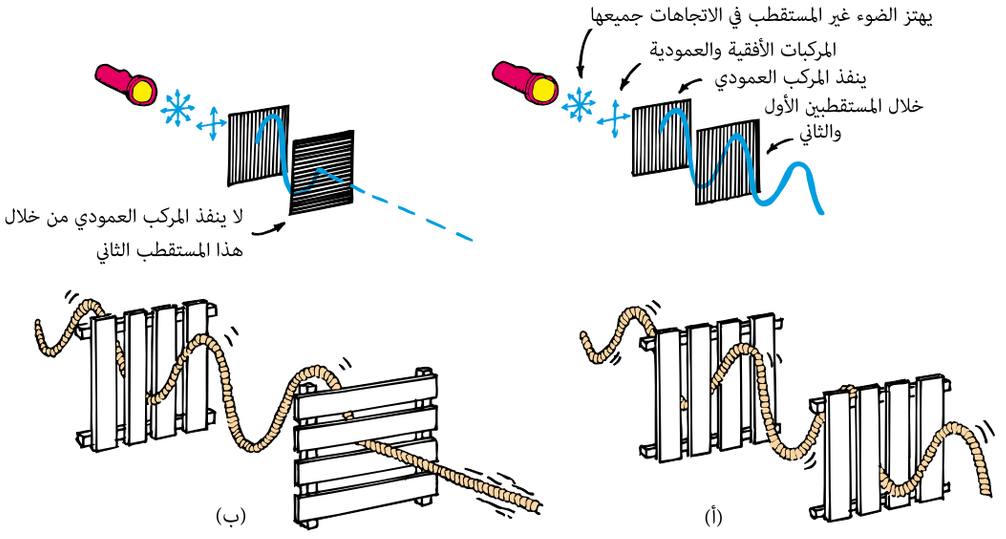
لمعلوماتك

تنتشر خلفية الأمواج الميكروية الكونية في الفضاء كلّه، وتقترب منا من الاتجاهات كافة. إنها صدى الانفجار العظيم الذي جعل عالمنا يبدأ في التّشكّل قبل نحو 14 بليون سنة. أظهرت الدراسات الحديثة أنّ هذه الإشعاعات مستقطبة. كما أنّ نتائج الاستقطاب لا تتأثر بالجاذبية، إضافة إلى أنّها تزودنا بنظرة واضحة وتفصيلية حول بدايات الكون.



الشّكل 54.11
يُمتص أحد مركبات الضَّوء السّاقط غير المستقطب، منتجًا ضوءًا نافذًا مستقطبًا.

* يمكن أن يستقطب الضَّوء دائريًا وإهليلجيًا، وكلاهما مستقطبان عرضيّان. ولكن لن نناقش هاتين الحالتين هنا.



الشّكل 55.11

يوضح تناظر الحبل أثر البولاروويد المتعامد.

الشّكل 56.11

تحجب نظارات الشّمس البولاريود الضّوء المهتز أفقيًّا. وعندما تنطبق العدسات بزوايا قائمة، فإنّ الضّوء لا ينفذ.

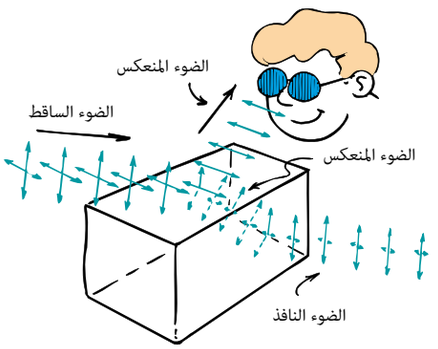
يكون معظم الضّوء المنعكس عن السّطوح غير الفلزّيّة مستقطبًا. ويعدّ الوهج من الزّجاج أو الماء مثالًا جيدًا على ذلك. وما عدا الضّوء السّاقط عموديًّا فإنّ اهتزازات الشّعاع المنعكس تكون موازية للسطح العاكس. إنّ اهتزازات جزء من الأشعّة التي تخترق السّطح تصنع زوايا قائمة للسطح (الشّكل 56.11). وتزودنا حركة الصخور المنزلقة إلى سطح بركة بتناظر مناسب: فعندما تضرب الصخور موازية للسطح، فإنها تنعكس بسهولة عنه. ولكن سطوحها تكون متعامدة مع السّطح، وتنكسر في الماء. وباستخدام نظارات البولاريود يمكننا جعل التوهج المنعكس من السّطوح خفيفًا. وتكون محاور الاستقطاب للعدسات عمودية لأنّ معظم التوهج ينعكس من السّطوح الأفقيّة.

■ **نقطة فحص**

أيّ هذه النظارات مناسب أكثر لسائقي السّيارات؟ (تبين الخطوط المستقيمة محاور الاستقطاب).

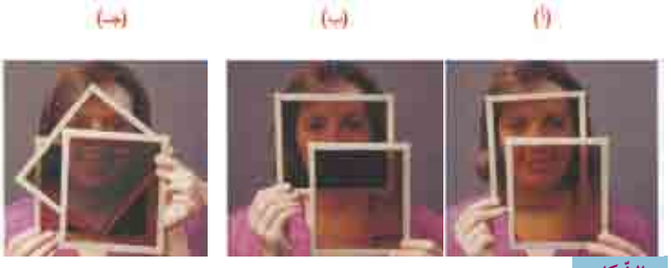
هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ النظارة أ هي الأفضل؛ لأنّ المحور العمودي يحجب الضّوء المستقطب أفقيًّا، والذي يكون فيه معظم التوهج من السطوح الأفقية. أمّا النظارة ج فهي الأفضل لرؤية الأفلام في ثلاثة أبعاد.



الشّكل 57.11

يكون معظم الوهج من السّطوح غير الفلزّيّة مستقطبًا. تنعكس مركبات الضّوء السّاقط والموازية للسّطح، وتنفذ مركبات الضّوء العمودية من خلال السّطح للوسط. ولأنّ معظم الوهج الذي نراه يأتي من السّطوح الأفقية، فإنّ محاور الاستقطاب لنظارات البولاروويد تكون عمودية.



الشّكل 58.11

ينفذ الضّوء عندما تكون محاور البولارويدات على الامتداد نفسه (أ-)، ولكنها تمتص عند إدارة أحد المحاور حتى يصبح بعضها متعامدًا مع بعض (ب). عند إدخال بولارويد ثالث بزاوية بين المستقطبين المتعامدين، ينفذ الضّوء مرة أخرى. (ج). (لمعرفة الجواب، بعد بعض التفكير، انظر الملحق ج- «مزيد عن المتجهات»).

ملخّص المصطلحات

الموجة الكهرومغناطيسيّة Electromagnetic wave: موجة حاملة للطاقة. تنبعث من اهتزازات الشحنات الكهربائية. (غالبًا إلكترونات) وتتكون من مجالين كهربائي ومغناطيسي متذبذبين. يولد أحدهما الآخر.

الطّيف الكهرومغناطيسيّ Electromagnetic spectrum: مدى من الموجات الكهرومغناطيسيّة تمتد في التردد من الأمواج الرّاديويّة إلى إشعاعات جاما.

شفاف Transparent: مصطلح يطلق على المواد التي يمرّ الضّوء من خلالها دون امتصاص. ويكون في خطوط مستقيمة على الأغلب.

معتم Opaque: خاصية امتصاص الضّوء دون إعادة انبعاثه (عكس الشّفاف).

الانعكاس Reflection: عودة أشعّة الضّوء عن سطح عاكس بطريقة بحيث تكون الزاوية التي يرجع بها شعاع معين مساوية للزاوية التي سقط بها على السّطح (يسمى انعكاس المرآة).

قانون الانعكاس Law of reflection: زاوية السّقوط = زاوية الانعكاس. يقع الشّعاعان السّاقط والمنعكس في مستوى عموديّ على السّطح العاكس.

الانعكاس غير المنتظم Diffuse reflection: انعكاس في اتجاهات غير منتظمة من سطح غير منتظم.

الانكسار Refraction: انحناء شعاع الضّوء المائل عندما يمرّ من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر. ويحدث هذا بسبب الفرق في سرعة الضّوء في الأوساط الشّفّافة. وعندما يكون التغير في الوسط فجائيًّا (من الهواء إلى الماء). يكون الانحناء مفاجئًا أيضًا. كما أنّ الانحناء يكون تدريجيًّا عندما يكون التغير في الوسط تدريجيًّا (من الهواء الساخن إلى الهواء البارد) وهذا ما يعزى إليه تكوّن السراب.

الألوان الأوّليّة المضافة Additive primary colors: هي الألوان الثلاثة: الأحمر والأخضر والأزرق. أي أنه يمكن إنتاج أيّ لون في الطّيف عند إضافتها بنسب معينة.

الألوان المتمّمة Complementary Colors: أيّ لونين ينتجان اللون الأبيض عند مزجهما .

الألوان الأوّليّة المطروحة Subtractive primary colors: الألوان الثلاثة التي تمتصها الأصباغ وهي: البنفسجي والأصفر والأزرق الداكن. أي أنّها تستطيع عكس أيّ لون في الطّيف عندما تُمزج بنسب معينة.

التّشتّت Dispersion: انفصال الضّوء إلى الألوان مرتبة بحسب التّردّد.

الاستقطاب Polarization: اصطفاف متجهات المجال الكهربائيّ العرضية التي تشكل الإشعاعات الكهرومغناطيسيّة. يسمّى اصطفاف هذه الاهتزازات لهذه الأمواج استقطابًا.

أسئلة مراجعة

1.11 الطّيف الكهرومغناطيسيّ

1. ما الفرق الرئيس بين أمواج الراديو والضّوء؟ وكذلك بين موجات الضّوء والأشعّة السّينية؟
2. كيف تقارن تردد الأمواج الكهرومغناطيسيّة مع تردد الإلكترونات المهتزة التي تنشئها؟

2.11 المواد الشّفّافة والمواد المعتمة

3. في أيّ منطقة من الطّيف الكهرومغناطيسيّ يقع تردد الرنين للإلكترونات في الزّجاج؟
4. ما مصير الطّاقة في الضّوء فوق البنفسجي السّاقط على الزّجاج؟
5. ما مصير الطّاقة في الضّوء تحت الأحمر السّاقط على الزّجاج؟ وما مصير الضّوء المرئيّ؟

6. كيف تقارن معدل سرعة الضّوء في الزّجاج بسرعة الضّوء في الفراغ؟
7. كيف تقارن سرعة الضّوء النافذ من لوح زجاجيّ بسرعة الضّوء السّاقط على الزّجاج؟

3.11 الانعكاس

8. ما قانون الانعكاس؟
9. بالنسبة إلى بعد الجسم أمام مرآة مستوية، كم يكون بُعْد الظل خلفها؟
10. هل ينطبق قانون الانعكاس على المرآة المنحنية؟ فسّر.
11. بأيّ معنى ينطبق قانون الانعكاس على الانعكاس غير المنتظم؟

4.11 الانكسار

12. ما الزاوية التي بين شعاع ضوئي وجبهته الموجبة؟
13. ما العلاقة التي بين الانكسار وسرعة الجبهة الموجبة؟
14. أين ينتقل الضّوء بشكل أسرع: في الهواء أم في الهواء الكثيف؟ ما أثر هذا الفرق في السّرعة لطول اليوم الضّوئيّ؟
15. ما السراب؟

5.11 اللون

16. أيّ الضوءين له تردد أعلى: الأحمر أم الأزرق؟
17. ما لون تردد الذروة للإشعاع الشّمسيّ؟ على أيّ لون تكون حساسية أعيننا أعلى ما يمكن؟
18. ما الألوان الأساسية الثلاثة؟ ما الألوان الثلاثة الأساسية المطروحة؟
19. لماذا يسمى اللونان الأحمر والأزرق الداكن ألوانًا متممة؟
20. لماذا تبدو السّماء ضاربة إلى البياض أحيانًا؟
21. لماذا تبدو الشّمس مائلة إلى الحمرة في الشروق والغروب، أمّا عند الظهيرة فلا؟
22. ما الدليل على أنّ الغيوم تتكون من جسيمات بأحجام مختلفة؟
23. ما الممتص من قبل الماء حتى يعطيه اللون الأزرق الداكن؟

6.11 التّشتّت

24. أيّ الضوءين ينتقل أبطأ في الزّجاج: الأحمر أم البنفسجي؟
25. ما الذي يمنع رؤية قوس المطر دائرة كاملة؟
26. لماذا يكون قوس المطر الثانوي أكثر تعتيمًا من القوس الرئيس؟

7.11 الاستقطاب

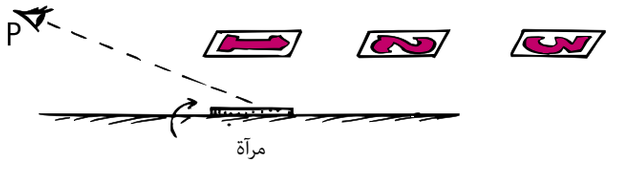
27. هل الاستقطاب خاصية للأمواج العرضية أم الطولية، أم لكليهما؟
28. كيف يكون اتجاه استقطاب الضّوء بالنسبة إلى اتجاه اهتزازات الإلكترونات المنتجة له؟
29. لماذا ينفذ الضّوء من خلال زوج من مرشحات البولاريود عندما يكون محوراهما متوازيين، ولكنه لا ينفذ عندما يكون المحوران متعامدين.
30. كم من الضّوء غير المستقطب ينفذ المرشح المثالي من البولاروید؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● ما المصدر الأساس للإشعاع الكهرومغناطيسيّ؟
2. ● أيّ مما يلي له طول موجة أكبر: الأمواج الضّوئيّة، أم الأشعّة السينية، أم الأمواج الرّاديويّة؟
3. ● أيهما له طول موجة أقصر: فوق البنفسجي أم تحت الحمراء؟ أيهما ذو تردد أعلى؟
4. ● نسمع الناس يتحدثون عن "فوق البنفسجي" و"تحت الحمراء". لِمَ تعدّ هذه المصطلحات مضللة؟ ولِمَ لا نسمع الناس يتحدثون كثيرًا عن الضّوء "الرّاديووي" وضوء "الأشعّة السّنيّة"؟
5. ● أيهما يحتاج إلى وسط فيزيائي للانتقال: الضّوء أم الصوت؟ أم أنّ كليهما يتطلب وسطًا فيزيائيًّا؟ فسّر.
6. ● هل تنتقل الأمواج الرّاديووية بسرعة الصوت، أم بسرعة الضّوء، أم بسرعة بين السرعتين؟
7. ● ما الشبه بين الأمواج الرّاديووية والضّوء؟ وما الاختلاف بينهما؟
8. ● ما دليلك على دعم فكرة أنّ الضّوء ينتقل في الفراغ؟
9. ● تتفاعل الأمواج القصيرة للضّوء المرئيّ عادة مع ذرات الزّجاج أكثر من الأمواج الطويلة. هل يميل زمن التفاعل هذا إلى زيادة معدل سرعة الضّوء في الزّجاج أم إلى تقليله؟
10. ● ما الذي يحدد ما إذا كانت المادة شفافة أم معتمة؟
11. ● يمكن أن تحدث حرقة الشّمس في يوم غائم، ولكنها لا تحدث في يوم مشمس إذا كنت خلف زجاج. فسّر.
12. ■ يقف بيتر *Peter* مقابل مرآة كبيرة ويثير الاهتمام باستعراض مضحك. كيف يستطيع الوقوف في منتصف الهواء ظاهريًا.

13. ● تنظر عين شخص عند النقطة أ إلى المرآة، أيّ البطاقات المرقمة تراها منعكسة في المرآة؟



14. • يرغب راعي بقر في إصابة مهاجمه بطلقة مرتدة من مرآة معدنية. لعمل هذا، هل عليه أن يصوب على صورة المهاجم في المرآة؟ فسّر.

15. • تضع الشاحنات عادة إشارة في الخلف تقول: إنْ لم ترَ مرآتي فلا يمكنني رؤيتك. فسّر هذه العبارة فيزيائيًّا.

16. • لماذا تكون الأحرف في مقدمة بعض السيارات مثلا "سيارات الإسعاف" بترتيب معكوس؟

تفاعلات الليد

17. ■ نرى المطر وانعكاسه. فَلِمَ لا نرى أرجل الطير في الانعكاس؟

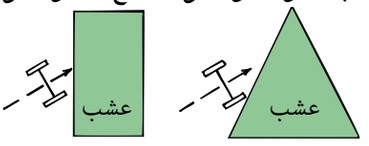
18. ■ ما أقلّ طول لمرآة مستوية حتى تستطيع رؤية كامل جسمك؟

19. ■ ما أثر بعدك عن المرآة المستوية في جوابك عن السؤال السّابق؟

20. ■ أمسك بمرآة جيب على بعد ذراع من وجهك، ولاحظ كم ترى منه. لرؤية المزيد من وجهك، هل من المفروض أن تكون المرآة أبعد عن وجهك أم أقرب إليه؟ أم هل يجب عليك تكبير المرآة؟ (جرّب وانظر).

21. ■ من مرآة يغطيها البخار، امسح ما يكفي منه لرؤية كامل وجهك. ما ارتفاع المنطقة الممسوحة مقارنة بأبعاد وجهك؟

22. ■ دَحْرِجْ زوجًا من عجلات لعبة بشكل مائل على سطح أملس على منطقتين من العشب: الأولى على شكل مثلث، والأخرى على شكل مستطيل، كما هو مبين. السطحان الأملسان مائلان بحيث إنه بعد التباطؤ تبدأ السّرعة في الازدياد عند خروجها نحو السطح الأملس مرة ثانية. أكمل الرسم بتوضيح مواقع العجلات داخل كل منطقة وعلى الوجه الآخر من المنطقة، لتحديد مساريهما.



23. ■ دخلت نبضة من الضَّوء الأحمر ونبضة أخرى من الضَّوء الأزرق إلى لوح زجاج في الوقت نفسه بشكل عمودي على سطحه. بدقة، أيهما سيخرج أولًا بعد مرورهما من خلال الزّجاج؟

24. ■ لا يكون القمر خلال الخسوف الهلالي مظلمًا بالكامل، ولكنه أحمر غامق اللون. فسّر ذلك بدلالة الانكسار لغروب الشّمس وشروقها حول العالم؟

25. • افترض أنّ أشعّة الشّمس سقطت على نظارتين: الأولى للقراءة والأخرى شمسية سوداء. أيّ النظارتين ستكون أسخن؟ علل إجابتك.

26. • في محل لبيع الملابس مُضاء بمصابيح فلورية فقط، أصرّ أحد الزبائن على أن يجرب الملابس خلال النهار في الخارج لفحص ألوان الملابس. هل هو محقّ في طلبه؟ فسّر.

27. ■ يبين منحنى إشعاع الشّمس (الشّكل 32.11) أنّ أشد سطوع لضوئها يكون في منطقة الأصفر – الأخضر. إذن، لماذا نرى الشّمس تميل إلى الأبيض بدلًا من الأصفر - الأخضر؟ (مساعدة: خذ في الحسبان عرض منحنى إشعاع الشّمس).

28. ■ إذا عُطيّ كشاف ضوئيّ بحيث لا ينفذ الضَّوء الأصفر من فتيلته السّاخنة البيضاء، فما لون الضَّوء النافذ؟

29. ■ كيف تستخدم الأضواء الكاشفة في المسارح لجعل الملابس الصفراء للممثلين تتغير فجأة إلى اللون الأسود؟

30. • ما لون الحبر الذي تستعمله الآلة الطابعة الملونة النفاثة لإنتاج الألوان جميعها؟ هل تتشكل الألوان بإضافة الألوان أم بطرحها؟

31. ■ تجد أدناه صورة لمؤلفة العلوم سوزان Suzanne مع ابنها الذي يلبس الأحمر وابنتها التي تلبس الأخضر. وفي الأسفل الصورة السلبية للصورة نفسها، والتي تظهر ألوانًا مختلفة. ما تفسيرك؟

32. • تأمّل الشّكل 33.11 لترى العبارات الثلاث الأولى التالية صحيحة، ثم أكمل الكلمة الناقصة في العبارة الأخيرة. (تنتج الألوان جميعها بإضافة الضَّوء):

الأحمر + الأخضر + الأزرق = الأبيض.
الأحمر + الأخضر = الأصفر = الأبيض – الأزرق
الأحمر + الأزرق = البنفسجيّ= الأبيض – الأخضر.
الأخضر + الأزرق = الأزرق الداكن = الأبيض - _____.

33. • ما البديل الصحيح فيما يلي: يبدو الموز الناضج أسود عندما يضاء بـ: (أ) الأحمر. (ب) الأصفر. (ج) الأخضر. (د) الأزرق.

34. ■ عندما يشعّ ضوء أبيض على حبر أحمر ناشف على لوح زجاجيّ صافٍ، فإنّ اللون النافذ هو الأحمر. ولكن اللون المنعكس ليس أحمر. كيف يكون هذا؟

35. • حدّق مدة ثلاثين ثانية في العلم الأمريكي، ثم أعد التحديق في حائط أبيض. ما الألوان التي تراها في ظلّ العلم الذي يظهر على الحائط؟

36. ■ لماذا لا ترى النجوم خلال النهار؟

37. ■ لماذا تبدو السّماء زرقاء داكنة عندما تنظر إليها من ارتفاع شاهق؟ (مساعدة: ما صورة "السّماء" على القمر؟).

38. ■ لماذا يظهر دخان نار مائل إلى الزرقة مقابل الأشجار بالقرب من الأرض، ولكنه مائل إلى الاصفرار مقابل السّماء؟

39. ■ تشتّت الجسيماتُ الصغيرة كالأجراس الصغيرة الأمواجَ العالية التردد. أمّا الجسيماتُ الكبيرة كالأجراس الكبيرة فتشتّت الأمواجَ المنخفضة التردد. في حين تشتّت الجسيماتُ ذات الحجم المتوسط والأجراس المتوسطة التّردّداتِ المتوسطةَ. ما علاقة هذا بميل الغيوم إلى اللون الأبيض؟

40. ● تمتص الأجسامُ الكبيرة جدّا كقطرات الماء إشعاعاتٍ أكثر مما تشتّت. ما علاقة هذا باللون الداكن للغيمة الماطرة؟

41. ■ إذا علمت أنّ سمك الغلاف الجويّ للمشتري أكثر من 1000 كم، هل تتوقع أن ترى الشّمس بيضاء من سطح هذا الكوكب؟

42. ■ في أثناء تفسيرك لشخص على الشاطئ للون الماء الأزرق الداكن، في حين يشير هو إلى رأس قمة موجة مرتدة بيضاء، ويسألك: لماذا هي بيضاء؟ ما جوابك؟

43. ■ إذا وقفت وظهرك نحو الشمس، فسترى قوس المطر دائريًّا. هل يمكن أن تتحرك جانبًا، وترى القوس كجزء من إهليلج بدلًا من جزء من دائرة (مثلما يقترح الشّكل 47.11).

44. ● لا يرى مراقبان يقفان بينهما مسافة قوسَ المطر نفسه. فسّر.

45. ■ يمكن أن يكون منظرُ قوس المطر من طائرة دائرةً كاملة. أين يظهر ظلّ الطائرة؟ فسّر.

46. ● ما نسبة الضَّوء النافذ من مرشحين مثاليين من البولاريود أحدهما فوق الآخر ومحور الاستقطاب لكلّ منهما مواز للآخر إذا كان محورا الاستقطاب متعامدين؟

47. ■ كيف يمكن استخدام مرشح بولاريود واحد ليبين أنّ السّماء مستقطبة جزئيًّا؟ (من المثير جدًّا على عكس البشر، أن النحل والعديد من الحشرات تميز الضَّوء المستقطب. وتستخدم هذه المقدرة في الملاحة).

48. ♦ لا ينفذ الضَّوء من خلال مستقطبين يكون محورا استقطابها متعامدين. ولكن إذا وضعنا مستقطبًا ثالثًا بينهما بحيث يكون محور استقطابه مصفوفًا في المنتصف بينهما (يصنع محوره زاوية 45° مع محور استقطاب كل منهما)، فإنّ بعض الضَّوء ينفذ. لماذا؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● تجبر الإلكترونات على الاهتزاز في برج محطة إذاعة إلى أعلى وإلى أسفل البرج 535,000 مرة في كلّ ثانية. ما طول موجة أمواج الرّاديو المتكونة؟

2. ● وُجهت نبضة ضوء ليزر إلى القمر ورجعت إلى الأرض. إذا علمت أنّ المسافة بين الأرض والقمر 3.8×10^{8} متر، فبيّن أنّ زمن الرحلة (ذهابًا وإيابا) للضَّوء 2.5 ثانية.

3. ● أقرب نجم بَعُد الشّمس هو ألفا سنتوري (Alpha centauri) وهو على بعد 4.2×10^{16} متر. إذا كنا نستقبل رسالة من هناك في هذا اليوم فبيّن أنّ هذه الرسالة قد أرسلت قبل 4.4 سنة.

4. ● يبلغ تردد الضَّوء الأزرق-الأخضر نحو 6×10^{14} هرتز. استخدم العلاقة $c = f\lambda$. وبيّن أنّ طول هذه الموجة في الهواء 5×10^{-7} متر؟ ما طول هذه الموجة مقارنة بحجم الذرة، وهي في حدود 10^{-10} متر؟

5. ■ تستخدم بعض تجهيزات الرادار لتعقب الطائرات، ببثّ إشعاعات كهرومغناطيسية بطول موجة مقداره 3 سم. (أ) بيّن أنّ تردّد هذا الإشعاع 10 جيجاهرتز. (ب) بيّن أنّ الزّمن اللازم لوصول نبضة موجات الرّادار إلى طائرة على بعد 5 كم ورجوعها 3.3×10^{-5} ثانية.

6. ● علق عنكبوت بخيط من الحرير على مستوى العين على بعد 20 سم من أمام مرآة مستوية. إذا كنت خلف العنكبوت، وعلى بعد 50 سم أمام المرآة، فبيّن أنّ المسافة بين عينيك وصورة العنكبوت في المرآة 70 سم.

7. ■ عند سقوط ضوء عموديًّا على الزّجاج، ينعكس نحو 4% منه عند كل سطح. بيّن أنّ كمية الضَّوء النافذ من لوح زجاج هي 92% تقريبًا.

8. ■ تتناقص سرعة الضَّوء في بعض أنواع البلاستيك لتصبح (0.75 c). (أ) ما التغير في تردد الضَّوء في البلاستيك؟ (ب) ما التغير في طول موجته؟

أنشطة استكشافية

1. أيّ العينين تستخدمها أكثر؟ لاختبار أيهما أفضل؟ ارفع إصبعًا وذراعك ممدودة، وعيناك مفتوحتان. انظر أبعد من الإصبع إلى جسم ما. والآن، أغمض عينك اليمنى. إذا بدا وكأن إصبعك قفز إلى اليمين، فأنت تستخدم عينك اليمنى أكثر.

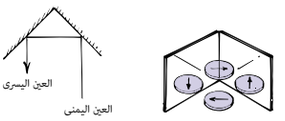
2. حدّق في قطعة من الورق الملوّن مدة 45 ثانية أو أكثر. ثم انظر إلى سطح أبيض مستو، ستجد أنّ المخاريط في مستقبلات شبكيتك تصبح مرهقة. لذا، فأنت ترى ما بعد الصورة للألوان المتتامة عندما تنظر إلى المنطقة البيضاء. ويعزى هذا إلى أنّ المخاريط المتعبة ترسل إشارات ضعيفة إلى المخّ. تنتج الألوان جميعها اللون الأبيض، في حين ينتج مزجُ الألوانِ جميعها ناقص أحد الألوان اللونَ المتممَ للون الناقص. جرّب وانظر!

3. قلّد غروب الشّمس: أضف عدة قطرات من الحليب إلى كأس ماء، وانظر إلى مصباح ضوء عبر الكأس. يبدو المصباح أحمر أو برتقاليًّا فاتحًا، في حين يبدو الضَّوء المتشتت من الجوانب أزرق. جرّب وانظر.

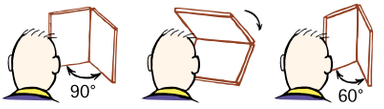
4. اكتب رسالة إلى أجدادك وأخبرهم عن أسباب زرقة السّماء، واحمرار شروق الشّمس وغروبها، وسبب لون الغيوم الأبيض في العادة. فسّر أنّ معرفة الأسباب تضيف إلى الإعجاب بالطبيعة ولا تنقص منها.

5. ضع مرآتين صغيرتين بحيث تصنعان زاوية قائمة معًا. ثم ضع قطعة نقدية بينهما. سترى أربع قطع نقدية. غيّر الزاوية بينهما وانظر إلى عدد صور القطع النقدية التي تراها. انظر إلى وجهك عندما تكون الزاوية عمودية، ثم اغمز. ماذا ترى؟ سترى نفسك كما

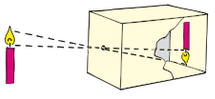
يراك الآخرون. ارفع صفحة مطبوعة إلى ارتفاع المرآتين وقارن مظهرها مع الانعكاس من مرآة واحدة.



6. أدر زوجًا من المرايا، واجعلهما متعامدتين. هل تدور صورتك أيضًا؟ ضع المرآتين بحيث تكون الزاوية بينهما 60° ويمكن رؤية وجهك. أدر المرآتين مرة أخرى وانظر ما إذا كانت صورتك تدور أيضًا؛ إنه لشيء مدهش!



7. صنع آلة تصوير بثقب صغير. الموضحة أدناه. اقطع أحد وجوه صندوق كرتون صغير، ثم غلّف هذا الوجه بورقة أو ورق مشمع. اثقب ثقبًا صغيرًا في الوجه المقابل. (إذا كان الكرتون سميكًا، اعمله من خلال قطعة من رقائق الألومنيوم موضوعة فوق فتحة في الصندوق.) وجّه آلة التصوير إلى جسم ساطع في غرفة مظلمة، سترى صورة مقلوبة على الورق الرقيق. إذا بدّلت الورق الرقيق في الغرفة المظلمة بفيلم تصوير غير مكشوف، فغطِّ الخلف بحيث لا يمر الضَّوء، ثم غطِّ الثقب بغطاء يمكن إزالته. أنت الآن جاهز لالتقاط صورة. تختلف أزمنة التعرض، ويعتمد ذلك في الأساس على نوع الفيلم وكمية الضَّوء. جرّب أزمنة تعرض مختلفة مبتدئًا بثلاث ثوانٍ. وجرّب أيضًا صناديق أخرى بأطوال مختلفة. سترى أنّ كلّ شيء تحت دائرة الضَّوء في صورتك، ولكن الصور لن تكون محددة وواضحة. إنّ العدسة في آلة التصوير التجارية هي أكبر كثيرًا من الثقب، لذا يدخل ضوء أكثر في زمن أقلّ. ومن هنا ظهر تعبير *لقطة خاطفة*.



اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيّدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقلّ. وإنْ لم تتمكن من ذلك فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصل اللاحق.

اختر أفضل إجابة لكلّ مما يأتي:

1. يغطي طيف الموجات الكهرومغناطيسيّة مدى يمتد من الترددات الأقلّ إلى الأعلى. إنّ أصغر جزء في الطّيف الكهرومغناطيسيّ هو:
أ. الأمواج الرّاديويّة.
ب. الأمواج الميكروويّة.
جـ. الضَّوء المرئيّ.
د. إشعاعات جاما.

2. بكلام دقيق، تكون فوتونات الضَّوء التي تسقط على الزّجاج هي:
أ. نفسها التي تنتقل خلال الزّجاج وتخرج من الجانب الآخر.
ب. ليست نفسها التي تنتقل خلال الزّجاج وتخرج من الجانب الآخر.
جـ. التي تُمتص وتتحول إلى طاقة حراريّة.
د. التي تحيد.

3. ينطبق قانون الانعكاس على:
أ. الضَّوء.
ب. الصّوت.
جـ. الضّوء والصوت.
د. لا شيء مما ذكر.

4. عند مرور شعاع ضوئيّ عند زاوية من الهواء إلى الماء، يميل الشّعاع داخل الماء:
أ. نحو العمود.
ب. بعيدًا عن العمود.
جـ. إما بعيدًا أو في اتجاه العمود.
د. موازيًا للعمود.

5. لا يظهر الجوري الأحمر أحمر عند إضاءته فقط بـ:
أ. الضَّوء الأحمر.
ب. الضَّوء البرتقالي.
جـ. الضَّوء الأبيض.
د. الضَّوء الأزرق الداكن.

6. يتداخل كلّ من الضَّوء الأحمر، والأخضر، والأزرق الداكن لتكوين الضّوء:
أ. الأحمر.
ب. الأخضر.
جـ. الأزرق.
د. الأبيض.

7. عندما ينتقل الضَّوء من وسط إلى آخر وتتغير السّرعة، نسمّي هذه العملية:
أ. انعكاسًا.
ب. تداخلا.
جـ. تشتّتًا.
د. لا شيء مما ذكر.

8. عندما يسقط ضوء على منشور ينفصل الضَّوء إلى طيف. ونسمّي هذه العملية:
أ. استقطابًا.
ب. تداخلا.
جـ. تشتّتًا.
د. لا شيء مما ذكر.

9. يوضح قوس المطر خصائص:

أ. الانعكاس.
ب. الانكسار.
جـ. التّشتّت.
د. جميع ما ذكر.

10. يحدث الاستقطاب للموجات:
أ. الانتقالية.
ب. الطولية.
جـ. الانتقالية والطولية.
د. لا شيء مما ذكر.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

10أ، 9د، 8ج، 7د، 6ج، 5د، 4أ، 3ج، 2ب، 1ج

الفصل 11 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية
- 11.2، 11.3، 11.10، 11.19، 11.33، 11.34، 11.41، 11.58

دروس تعليمية
- الضوء والتحليل الطيفي
- اللون

أشرطة فيديو
- الضوء والمواد الشفافة
- تكون الصور في المرآة
- نموذج الانكسار
- الظلال الملونة
- لون الشمس الأصفر- الأخضر عند الذروة
- لماذا تبدو السماء زرقاء في حين يكون غروب الشمس أحمر
- التداخل في فقاعة الصابون – قوس المطر
- الاستقطاب والعرض ثلاثي الأبعاد

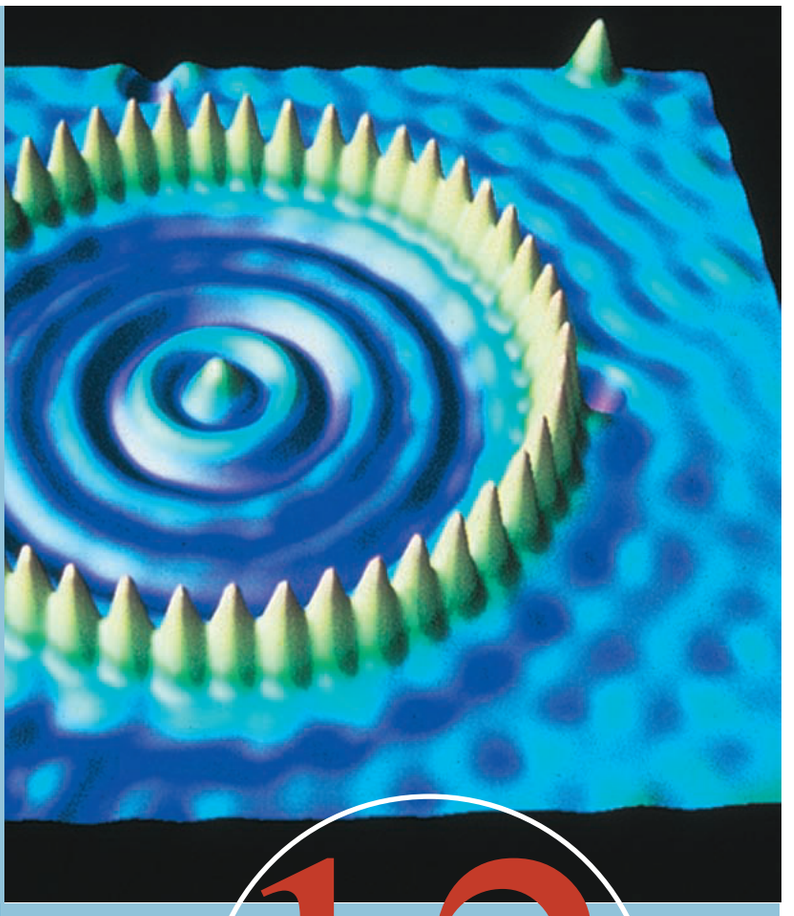
اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط

الجزء الثّاني

الكيمياء

أنا مكوّن من ذرّات كغيري. وهي صغيرة جدًّا وكثيرة حيث إنني أستنشق منها بلايين التريليونات في كل نَفَس من الهواء. كما أنني أخرج بعضها في الحال. في حين يبقى بعضها الآخر فترة ويصبح جزءًا مني. وقد أخرجه لاحقًا.

وبعض ذرّاتي هي في كلّ نَفَس تتنفسه. والتي تبقى لتصبح جزءًا منك (وبالمثل ذرّاتك تصبح جزءًا منّي). ويزيد عدد الذرّات في النفَس الواحد من الهواء على عدد البشر منذ الخليقة إلى الآن. وفي كلّ نَفَس تأخذه تعيد تدوير الذرّات التي كانت جزءًا من كلّ شخص كان على قيد الحياة. وعليه. واستنادًا إلى هذا المنطق. فكلنا واحد!



الذرّات وجدول التّرتيب الدوريّ

12

1.12 الذرّات قديمة وفارغة

2.12 العناصر

3.12 البروتونات والنيوترونات

4.12 الجدول الدوريّ

5.12 النماذج الفيزيائية والمفاهيمية

6.12 تشخيص الذرّات باستخدام المطياف

7.12 الفرضيّة الكمّية

8.12 أمواج الإلكترون

9.12 نموذج القشرة

■ نحن البشـر، نصنع المواد التي حولنا ونستخدمها لصالحنا منذ القدم. ومنذ عرفنا كيفية السّيطرة على النار، تمكّنّا من إيجاد مـواد جديدة. فمثـلًا، وجدْنا أنّ قوالب الطيـن الرّطبة تتصلب لتصبح خزفا عند شيِّها بالنار. لقد تطورت مواقد الخزافين قبل الميلاد بنحو 5000 سنة تقريبا إلى أفران ساخنة تكفي لتحويل نحـاس المناجم إلى فلزّ النحاس. وفي عام 1200ً قبل الميلاد، حولت الأفران الأكثر سـخونة حديد المناجـم إلى فلزّ الحديد، ومكّنت هـذه التقنية إنتاج الأدوات الفلزية والأسـلحة بكميات كبيـرة وصنعهـا، وجعلت الكثيـر من إنجـازات الحضارات القديمة الصينية والمصرية واليونانية ممكنة.

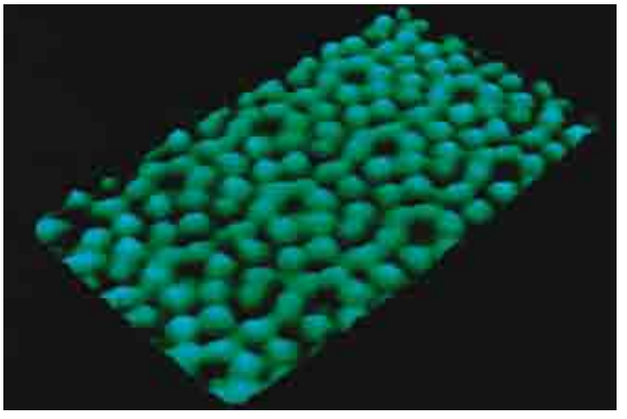
وبالدخول السريع إلى القرن الحادي والعشرين تعلمنا منذ فترة أنّ المـواد جميعها من حولنا تتكوّن من مواد متناهية في الصغر تسمى ذرّات،

كما عرفنا كيف نعالج هذه الذرّات لإنتاج العديد من المواد المفيدة والجديدة، بما فيها المواد الدوائية والصيدلانية التي أطالت فترة حياتنا بأمر الله تعالى، وعرفنا كذلك كيف نحرك الذرّات، الواحدة تلو الأخرى، إلى الأماكن المطلوبة؛ فعلى سبيل المثال، تبين الصورة الافتتاحية لهذا الفصل مجموعة من ذرّات التيتانيوم التي دفعها العلماء لتشكل دائرة. ويعدّ هذا العمل قمة التكنولوجيا المعاصرة التي مكّنتنا من بناء أجهزة نانوية ومواد جديدة ذرّة بذرّة. في هذا الفصل، سنكتشف كلًّا من طبيعة الذرّات، واللوحة المدهشة التي تروي قصتها؛ إنّه جدول التّرتيب الدوريّ.

1.12 الذرّات قديمة وفارغة

لو مددنا ذرّة عادية ليصبح قطرها 3 كم، أي ما يعادل مساحة مطارًا متوسط الحجم فستصبح النّواة بحجم كرة السلة؛ الذرّات هي فضاء فارغ في معظمه.

يعود أصل معظم الذرّات إلى لحظة خلق الكون. تعدّ ذرّة الهيدروجين، H، أخف ذرّة، وهي الذرّة الأصلية. وتشكل ذرّات الهيدروجين أكثر من 90% من الذرّات المعروفة في الكون. تنتج الذرّات الأثقل في النّجوم وهي تجمع كتلي هائل من ذرّات الهيدروجين يجذب بقوى الجاذبية . يعمل الضغط الهائل في أعماق النّجوم على اتحاد ذرّات الهيدروجين لتكوين ذرّات أثقل. وما عدا الهيدروجين، فإنّ الذرّات الموجودة طبيعيًّا على الأرض جميعها – بما فيها تلك التي في جسمك – هي من إنتاج النّجوم. إنّ جزءًا ضئيلًا جدًّا من هذه الذرّات تكون في جسمنا الشّمس، ولكن معظم الباقي أتى من نجوم انتهت منذ مدة بعيدة قبل أن يخلق نظامنا الشّمسيّ. فأنت مكوّن من غبار نجميّ، كما هي الأشياء جميعها من حولك. معظم الذرّات قديمة، وقد وجدت منذ عصور لا يمكن قياسها، ويعاد تدويرها في الكون بأشكال عديدة، في الأحياء وغير الأحياء. بهذا المعنى أنت لا تملك "ذرّاتك" التي يتكوّن منها جسمك – إنك، ببساطة، وكيلها الحالي. وهناك العديد من الوكلاء سوف يتبعون.



الشّكل 1.12
صورة لذرّات الكربون أخذت بالمجهر الماسح الإلكترونيّ.

الذرّات صغيرة إلى درجة أنّ كلّ زفير يحتوي على أكثر من 10 بلايين تريليونات منها، وهذا الرقم أكبر من عدد النفوس في الغلاف الأرضيّ. وخلال عدة سنوات، سوف تمتزج ذرّات الزفرات التي أخرجتها بانتظام خلال الغلاف الجوي. وهذا يعني أنّ أيّ شخص في أيّ مكان على الأرض يستنشق الهواء يأخذ عددًا كبيرًا من الذرّات التي كانت جزءًا منك. وبالطبع، فالعكس صحيح: فأنت تستنشق ذرّات كانت يومًا جزءًا من شخص كان حيًّا.

إنّ الذرّات صغيرة جدًّا بحيث لا يمكن رؤيتها بالضّوء المرئيّ، لأنها أصغر حتى من طول موجة هذا الضّوء المرئيّ. ويمكن وضع مجهر فوق مجهر ومع ذلك لا يمكننا رؤية ذرّة. تؤخذ صور للذرّات كالتي في الشّكل 1.12 بالمجهر الماسح الإلكترونيّ. سنناقش هذا في الجزء 5.12، إنه جهاز تصوير غير ضوئيّ، يتخطى الضّوء والبصريات معًا.

نحن نعلم اليوم أنّ الذرّة مكوّنة من أجزاء أصغر هي: جسيمات دون – مجهرية – *الإلكترونات، والبروتونات، والنيوترونات*. كما نعلم أيضًا، أنّ الذرّات يختلف بعضها عن بعض في عدد الجسيمات دون الذّريّة

(Atomic Nucleus) التي تحتويها فقط. وترتبط البروتونات والنيوترونات معًا في مركز الذرّة لتشكل جسمًا أكبر، هو نواة الذرّة، والتي هي جسم ثقيل نسبيًّا، وتشكّل معظم كتلة الذرّة. تحيط بالنواة **إلكترونات (Electrons)** بالغة في الصغر، كما يظهر في الشّكل 2.12 .

■ **نقطة فحص**

ادعى صديقك أنّ هناك ذرّات في مخّه كانت فيما مضى في مخّ ألبرت أينشتاين. هل ادعاء صديقك صحيح أم لا ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ ادعاءه صحيح. أضف إلى ذلك أنّ هناك ذرّات لصديقي من جسم أيّ إنسان كان حيًّا. وحتى من الأم تيريزا Teresa. وكلّ واحد آخر أيضا! ولكن ترتيب هذه الذرّات اليوم مختلف تمامًا. والأكثر من ذلك أنّ الذرّات التي تتكوّن منها. ويتكون منها جسم صديقي ستوجد في أجسام الناس على الأرض الذين سوف يأتون لاحقًا.

نحن. والمواد جميعها من حولنا. نُكوّن في معظمنا فضاءً فارغًا. كيف يكون ذلك؟ تتحرك الإلكترونات حول النواة محددة بذلك حجم الفضاء الذي تحتله الذرّة. ولأنّ هذه الإلكترونات صغيرة جدًّا. ويبتعد بعضها عن بعض وعن النّواة أيضًا. فإنّ الذرّات في معظمها فضاء فارغ.

إذن. وببساطة. لِمَ لا تعبر الذرّات بعضها إلى بعض؟ وكيف تقف فوق الأرضية رغم الطبيعة الفارغة لذرّاتها؟ على الرّغم من أنّ الجسيمات دون الذّريّة هي أصغر من حجم الذرّة. إلا أنّ مدى مجالها الكهربائيّ أكبر عدة مرات من حجمها. وفي المناطق الخارجية لأيّ ذرّة توجد الإلكترونات. والتي تتنافر مع إلكترونات الذرّات المجاورة. وهكذا تقترب ذرتان إحداهما من الأخرى إلى مسافة معينة ثم تبدآن التّنافر (إذا لم تتحدا في رابطة كيميائية. كما سنناقشه في الفصل 15).

عندما تدفع الذرّات في يدك مقابل ذرّات الحائط فإنّ التّنافر الكهربائيّ بين ذرّات يدك وإلكترونات الحائط تمنع يدك من العبور خلال الحائط. يمنعنا التّنافر الإلكترونيّ نفسه من السّقوط من خلال الأرضية الصلبة. وهي التي تمنحنا أيضًا الإحساس باللمس. ومن المثير أنّك عندما تلمس أحدهم. فإنّ ذرّاتك وذرّات الشخص الآخر لا تلتقي. إنّ الذرّات من كليكما تقترب بما فيه الكفاية. بحيث تحس بالتّنافر الكهربائيّ. هناك فجوة غير محسوسة بينكما (الشّكل 3.12).

■ 2.12 العناصر

أنت تعلم أنّ الذرّات تشكّل المواد من حولك. من النّجوم إلى الفولاذ إلى حلوى الشوكولاتة. وعليك التفكير في وجود أنواع عديدة من الذرّات. ولكن عدد الذرّات المختلفة قليل. وينتج التنوع الكبير للمواد من الطرق العديدة التي تتّحد بها أنواع قليلة من الذرّات. كما هو الحال عند مزج الألوان الثلاثة: الأحمر والأخضر والأزرق لتكوين أيّ لون على شاشة التلفاز. أو استخدام أحرف هجائية محدودة لتكوين الكلمات جميعها في القاموس. يتّحد القليل من الذرّات المختلفة بطرق عديدة لإنتاج المواد كلّها. حتى الآن. نعرف أكثر قليلًا من 100 نوع من الذرّات المتميزة. ومن هذا العدد. هناك نحو 90 نوعًا منها موجود في الطبيعة. أمّا بقية الذرّات فقد أعدّت في المختبر.

تصنّف أيّ مادة تتكوّن من نوع واحد من الذرّات على أنّها **عنصر**. تشاهد عدة أمثلة في الشّكل 4.12. الذهب الخالص. مثلًا هو عنصر خالص؛ لأنّه يتكون من ذرّات ذهب فقط. كما أنّ غاز النيتروجين يعدّ عنصرًا؛ لأنه يحتوي على ذرّات نيتروجين فقط. وكذلك الجرافيت الموجود في قلمك يتكون من عنصر الكربون. لأنّ الجرافيت يتكوّن كلّه من ذرّات الكربون.

الشّكل 2.12

يحوم الإلكترون حول النّواة بسرعة فائقة، وأفضل وصف لحركته هو الغيمة، وهي أكثر كثافة في المناطق التي يقضي الإلكترون فيها أغلب وقته. ولكن الإلكترونات غير مرئية لنا. ومن هنا فإنه يمكن تخيّل هذه الغيمة. وأكثر من ذلك، لو رسم هذا التوضيح كما هو، فإنّ نواة الذرّة تكون أصغر من أن ترى. وباختصار، فإنّ الذرّات غير مناسبة للرسوم التوضيحية.

الشّكل 3.12

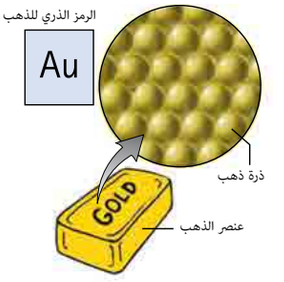
كما ترى في هذه الصورة مقدار قرب هذا الطفل من أمه، ولكن ذرّاتهما لا تتلامس. إنّ قرب بعضنا من بعض هو في مشاعرنا.

تتكوّن معظم المواد من أكثر من نوع ذرّات؛ فالماء مثلًا مكوّن من اتحاد ذرّات الهيدروجين والأكسجين. تسمى هذه المواد *مركبات*، وهذا ما سوف نناقشه في الفصل 14.

العناصر جميعها موجودة في جدول يسمّى **الجدول الدوريّ (Periodic Table)**، كما يبين الشّكل 5.12.

وكما ترى من الجدول الدوريّ، يعرف كلّ عنصر **برمزه الذّريّ**، والذي يُؤخذ من أحرف اسم العنصر؛ فمثلا، **الرّمز الذّريّ (Atomic Symbol)** للكربون هو C، وللكلور هو Cl. في العديد من الحالات، يُشتق الرّمز الذّريّ من الاسم اللاتيني؛ فالرمز الذّريّ للذهب Au، مشتقّ من الاسم اللاتيني *aurum*. إلى جانب الرصاص الذي رمزه الذّريّ Pb نسبة إلى اسمه اللاتيني *Plumbum* (الشّكل 6.12). ومن الجدير بالذكر أنّ العناصر التي رموزها الذّريّة مشتقة من أسمائها اللاتينية عادة ما تكون قد اكتشفت مبكرًا.

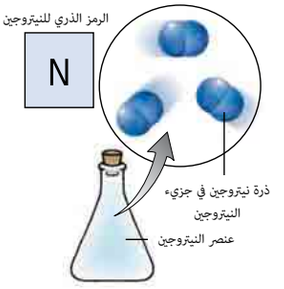
لاحظ أنّ الحرف الأول من الرّمز الذّريّ يُكتب بصورته الكبيرة؛ فالرّمز الذّريّ لعنصر الكوبالت مثلا هو Co، أمّا CO فهو اتحاد عنصرين هما: الكربون C، والأكسجين O.

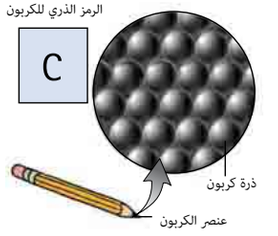


3.12 البروتونات والنيوترونات

دعنا نُلقِ نظرةً عن قرب على الذرّة، ونبحث في الجسيمات الموجودة في نواتها. يحمل **البروتون** شحنة موجبة، وهو ثقيل نسبيّا؛ نحو 2000 مرة كتلة الإلكترون. في حين أنّ كمية الشحنة للبروتون والإلكترون فهي نفسها، ولكنهما يختلفان في الإشارة. ويتساوى عدد البروتونات في نواة أيّ ذرّة مع عدد الإلكترونات التي تدور حول النّواة. وعليه، فإنّ إشارة الشّحنات المتعاكسة بين البروتونات والإلكترونات تعمل على معادلة كلّ منهما الآخر، منتجة محصلة شحنة تساوي صفرًا؛ فمثلا، تحتوي ذرّة الأكسجين على ما مجموعه 8 إلكترونات و8 بروتونات. لذا، فهي متعادلة كهربائيًّا.

اتفق العلماء على تعريف العناصر **بعددها الذّريّ *(Atomic Number)***، وهو عدد البروتونات الذي تحتويه ذرة عنصر معين. يرتب الجدول الدوريّ الحديث العناصر وفق أعدادها الذّريّة المتزايدة. يحتوي الهيدروجين على بروتون واحد في كلّ ذرّة، وعدده الذري 1، أمّا الهليوم فله بروتونان لكل ذرّة، وعدده الذّريّ 2، وهكذا.





الشّكل 4.12

يتكون أيّ عنصر من نوع واحد من الذرّات؛ فالذهب يتكون من ذرّات الذهب فقط، وغاز النيتروجين في الدورق يتكون من ذرّات النيتروجين فقط، كما أنّ كربون قلم الجرافيت يتكون من ذرّات كربون فقط.

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub						

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

الشّكل 5.12

يصنّف الجدول الدوريّ العناصر المعروفة جميعها.

الشّكل 6.12
(الشاقول)، وزن ثقيل مربوط بخيط، ويستخدم من قِبَلِ النجارين والمسّاحين ليتأكدوا من أنّ الخطّ عموديّ. وقد أخذ اسمه من الرّصاص (Pb) والذي ما يزال يستخدم كوزنه. السباكون أيضًا اكتسبوا اسمهم من الرصاص لأنهم يومًا ما كانوا يعملون بأنابيب الرّصاص.

نقطة فحص

ما عدد البروتونات في ذرّة الحديد Fe (العدد الذّريّ 26)؟

هل كانت هذه إجابتك؟

العدد الذّريّ للذرّة يساوي عدد البروتونات فيها. إذن، يوجد 26 بروتونًا في ذرّة الحديد. وهناك طريقة أخرى لوصفها، وهي أنّ الذرّات التي تحتوي على 26 بروتونًا جميعها هي ذرّات حديد.

عند مقارنة الشّحنات الكهربائيّة والكتل لذرّات مختلفة، ندرك أنّ نواة الذرّة يجب أن تتكوّن من أكثر من مجرد بروتونات؛ فالهليوم مثلًا، له ضعف الشحنة الكهربائية التي للهيدروجين، ولكن له أربعة أضعاف الكتلة. تعزى الكتلة الإضافية إلى وجود جُسيم دون ذريّ يوجد في النّواة، وهو النيوترون. النيوترون له كتلة البروتون نفسها تقريبًا، وليس له شحنة كهربائية. وأيّ جسيم ليس له شحنة كهربائية يقال إنه متعادل كهربائيًّا. ومن هنا حصل النيوترون على اسمه. وسنناقش الدور الذي يقوم به النيوترون في تماسك نواة الذرّة في الفصل 13.

تسمى كلّ من البروتونات والنيوترونات نُويّات *(Nucleons)*، وهو مصطلح يشير إلى مواقعها في النّواة الذّريّة. يلخّص الجدول 1.12 الحقائق الأساسية حول الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات.

الجدول 1.12 الجسيمات دون الذّريّة

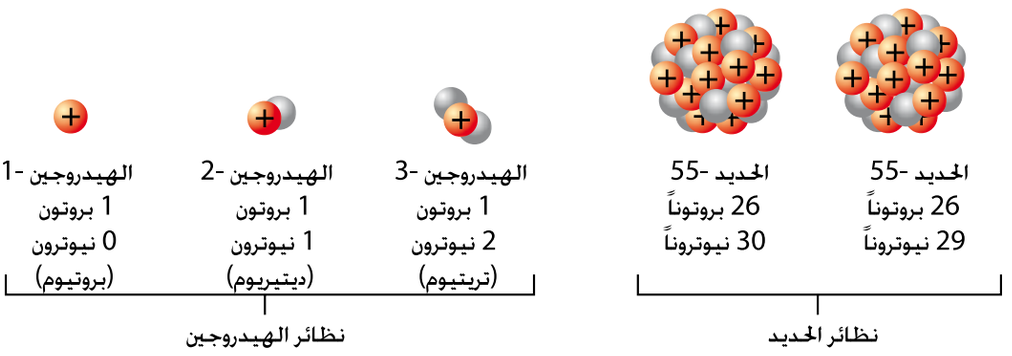
الجسيم	الشحنة	الكتلة مقارنة بالإلكترون	الكتلة الحقيقية (كجم)*
الإلكترون	1 -	1	9.11×10^{-31} **
البروتون	1 +	1836	1.673×10^{-27}
النيوترون	0	1841	1.675×10^{-27}

* لم تُقَس مباشرة. ولكنها محسوبة من النتائج التجريبية.
** 9.11×10^{-31} كجم = 0.000000000000000000000000000911 كجم.

النّظائر والكتلة الذّريّة

لا يوجد عدد ثابت للنيوترونات في أنوية العناصر؛ فمثلا، معظم ذرّات الهيدروجين (العدد الذّريّ 1) لا تحتوي على نيوترونات. ولكن هناك نسبة مئوية قليلة منها فيها نيوترون واحد. ونسبة مئوية أقلّ لها نيوترونان. وبالمثل، فإنّ معظم ذرّات الحديد (العدد الذّريّ 26) لها 30 نيوترونًا. ولكن نسبة مئوية أقلّ فيها 29 نيوترونًا. إنّ ذرّات العنصر الواحد التي تحتوي على أعداد مختلفة من النيوترونات هي **نظائر** العنصر.

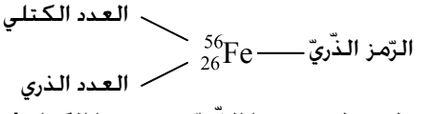
نُعّرف النّظائر بعددها الكتلي، وهو مجموع عدد البروتونات والنيوترونات في النّواة (مجموع النويّات). وكما يبيّن الشّكل 7.12، يسمى نظير الهيدروجين الذي يحتوي على بروتون واحد بهيدروجين -1؛ حيث يشير الواحد إلى العدد الكتلي. ونظير الهيدروجين الذي يحتوي على بروتون واحد ونيوترون واحد يسمى هيدروجين -2، في حين يسمى نظير الهيدروجين الذي يحتوي على بروتون واحد ونيوترونين هيدروجين 3-. وبالمثل، يسمّى نظير الحديد الذي يحتوي على 26 بروتونًا و30 نيوترونًا بالحديد -56 ، والذي له 29 نيوترونًا بالحديد 55-.



الشّكل 7.12

يكون لنظائر العنصر عدد البروتونات نفسه، ولكن يختلف في عدد النيوترونات مما يؤدي إلى اختلاف في العدد الكتلي. لنظائر الهيدروجين الثلاثة أسماء خاصة: الهيدروجين-1، ديوتيريوم للهيدروجين-2، وتريتيوم للهيدروجين -3. إنّ أكثر هذه النّظائر شيوعًا هو الهيدروجين -1. ولمعظم العناصر، مثل الحديد، لا يوجد للنظائر أسماء خاصة. لذا، يشار إليها بالعدد الكتلي فقط.

وهناك طريقة أخرى للتدليل على النّظائر، وهي كتابة العدد الكتلي كرمز دليليّ علويّ، وكتابة العدد الذّريّ كرمز دليليّ سفليّ إلى اليسار من الرّمز الذّريّ؛ فمثلا، يكتب نظير الحديد بالعدد الكتلي 56 والعدد الذّريّ 26:



ويمكن حساب عدد النيوترونات للنظير بطرح عددها الذّريّ من عددها الكتليّ:

العدد الكتليّ – العدد الذّريّ = عدد النيوترونات

مثلا، اليورانيوم – 238 له 238 نوية. العدد الذّريّ لليورانيوم هو 92، أي أنّ 92 من الـ 238 نوية هي بروتونات. أمّا الباقي 146 فهو عدد النيوترونات:

عدد البروتونات والنيوترونات = 238

عدد البروتونات 92

إذن، عدد النيوترونات = 238 – 92 = 146.

تتفاعل الذرّات معًا كهربائيًّا. ولهذا، فإنّ الطريقة التي تسلكها الذرّة في وجود ذرّات أخرى تتحدد بشكل كبير بشحنة الجسيمات التي تحتوي عليها، خاصة الإلكترونات. تختلف نظائر العنصر بالكتلة فقط، وليس بالشحنة الكهربائية. ولهذا، تتشارك نظائر العنصر في العديد من الخصائص. وفي الحقيقة - كما هو الحال في الكيماويات (المواد الكيميائية) - لا يمكن التمييز بينها. فمثلا، يهضم جزيء السكر الذي يحتوي على 7 نيوترونات لكل نواة كربون بالطريقة نفسها التي يهضم بها جزئ السّكر الذي يحتوي على نواة الكربون الذي له 6 نيوترونات. إنّ 1% فقط من الكربون الذي نأكله هو نظير الكربون -13، الذي يحتوي على 7 نيوترونات لكلّ نواة. أما البقية 99% من الكربون المتوافر في غذائنا فهو نظير الكربون -12، والذي يحتوي على 6 نيوترونات لكلّ نواة.

تتكوّن معظم جزيئات الماء، H_2O من ذرّات الهيدروجين دون نيوترونات. وبعض الماء يحتوي على ذرات هيدروجين فيها نيوترونات، وتكون أثقل، وبسبب هذا الاختلاف يمكن عزلها. ويسمى مثل هذا الماء "الماء الثقيل".

حساب العلوم الطبيعية

حساب الكتلة الذّريّة

99% تقريبًا من ذرّات الكربون هي نظير الكربون -12. ومعظم الباقي (1%) هي النظير الأثقل، الكربون -13. هذه الكمية الصغيرة تزيد معدل كتلة الكربون من 12.000 و.ك.ذ (وحدة كتلة ذرية) إلى أكثر من 12 قليلًا. أي إلى قيمة 12.011 و.ك.ذ. وللحصول على الكتلة الذّريّة الموجودة في الجدول الدوريّ، نضرب كتلة كلّ نظير موجود طبيعيًّا في نسبة توافره، ثم نجمع الأجزاء جميعها.

عينة مسألة 1

كتلة الكربون -12 هي 12.000 و.ك.ذ. ويكون 98.89% من الكربون الموجود طبيعيًّا. أما الكربون -13 وكتلته 13.0034 و.ك.ذ فيشكّل 1.11% من الكربون الموجود طبيعيًّا. استخدم هذه المعلومات لتبيّن أنّ الكتلة الذّريّة المبينة في الجدول الدوريّ (12.011 و.ك.ذ) صحيحة.

الحل:

بإدراك أنّ 99.98% و 1.11% يعبر عنهما كأرقام معنوية هي: 0.9889 و0.01111 بالتّرتيب.

الخطوة 1:

مساهمة الكتلة من الكربون 12 = 12.000 × 0.9889 = 11.867

مساهمة الكتلة من الكربون 13 = 13.0034 × 0.0111= 0.144

الخطوة 2:

الكتلة الذّريّة = 11.867 + 0.144 = 12.011 و.ك.ذ

والآن دورك

الكلور–35 له كتلة 34.97 و.ك.ذ. والكلور-37 له كتلة 36.95 و.ك.ذ. احسب الكتلة الذّريّة للكلور Cl العدد الذّريّ 17. إذا علمت أنّ 75.53% من ذرّات الكلور جميعها هي نظير الكلور -35. و24.4% هي نظير الكلور 37.

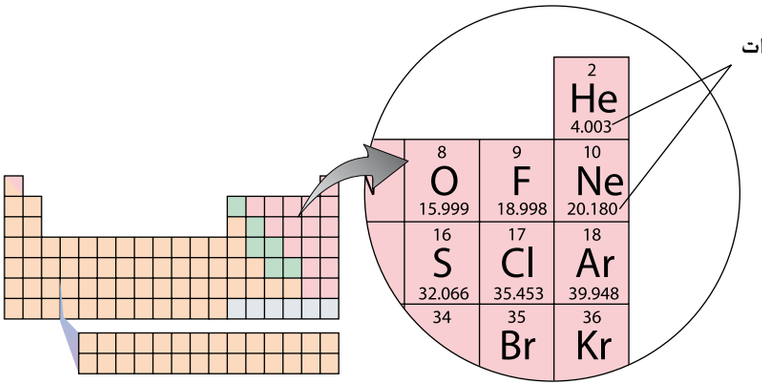
يسمّى مجموع كتلة الذرّة **الكتلة الذّريّة**. وهي مجموع كتل مكونات الذرّة جميعها (إلكترونات، وبروتونات ونيوترونات). وبسبب صغر كتلة الإلكترونات مقارنة بكتلة كلّ من البروتونات والنيوترونات، فإنّ مساهمتها في الكتلة الذّريّة ضئيلة. لقد طوّرت وحدة خاصة للكتل الذّريّة، وهي وحدة الكتل الذّريّة (و.ك.ذ) حيث و.ك.ذ تساوي 1.661×10^{-24} جرام، وهي أقلّ قليلًا من كتلة بروتون واحد. كما يبين الشّكل 8.12 الكتل الذّريّة الموجودة في الجدول الدوريّ بوحدات الكتل الذّريّة. وفي الواقع، الكتلة الذّريّة للعنصر كما هي موجودة في الجدول الدوريّ هي معدل الكتلة الذّريّة لمختلف النّظائر.

نقطة فحص

ميّز بين عدد الكتلة والكتلة الذّريّة.

هل كانت هذه إجابتك؟

كلا المصطلحين يحتوي على كلمة الكتلة، لذا يسهل الخلط بينهما. ركّز اهتمامك على الكلمة الثانية في كلّ مصطلح لتفهمها بشكل صحيح في كلّ مرة. عدد الكتلة هو حساب عدد النويّات للنظير. لا يتطلب عدد الكتلة للذرّة وحدات؛ لأنّ حساب الكتلة الذّريّة هي، ببساطة، مجموع كتلة الذرّة، والتي تعطى بوحدات الكتلة الذّريّة.



الشّكل 8.12

للهيليوم، He، كتلة ذرية تساوي 4.003 و.ك.ذ، والنيون، Ne، 20.180 و.ك.ذ.

يتشكل **الهيليوم** تحت الأرض بوصفه من نواتج الانحلال الإشعاعي.

He

ينتج **نحو** 50.000 رطل من النحاس من الكربون كل عام

C

Ti

سبائك التيتانيوم قوية نسبيًّا" ومقاومة **للتآكل** وهو ما يجعلها مناسبة للزراعة في الفخذ.

Ag

إذا امتلأ هذا الكوب من الفضة بالماء **الغالي** فإن المقبض يصبح سريعاً" فاراً" يصعب الإمساك به. لأن الفضة هي واحد من افضل الموصلات.

Si

تقطع **الأسطوانات** السليكون ذا النقاوة 99.9999% إلى رقاقات لتصنيع الدوائر التكاملية

Zn

للزنك درجة انصهار منخفضة ويستخدم عادة في صناعة العملات

Hg

يتجمد الزئبق على درجة 40 -°م و هو سائل على درجة حرارة الغرفة

Br

البروم سائل برتقالي غامق يتبخّر حاليًّا عند درجة حرارة الغرفة.

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub						

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

لا فلز شبه فلز فلز

الشّكل 9.12

الجدول الدوريّ بألوان تشير إلى كلّ من: الفلزّات، واللافلزّات، وشبه الفلزّات.

4.12 الجدول الدوريّ

إنّ الجدول الدوريّ هو فهرسة للعناصر المعروفة جميعها مع كتلها الذّريّة؛ أعدادها الذّريّة ورموزها الذّريّة. ولكنه يحتوي على معلومات إضافية أخرى. على سبيل المثال، تشير الطريقة التي نظم بها الجدول، إلى الكثير من خصائص العناصر. دعنا ننظر كيف تصنف العناصر في مجموعات: فلزّيّة، وغير فلزّيّة، وشبه فلزّيّة.

كما يوضح الشّكل 9.12، معظم العناصر المعروفة الفلزية، والتي تعرف بأنها عناصر لمّاعة، معتمة، وموصلة جيدة للكهرباء والحرارة. تكون الفلزات طبيعية، أي أنه يمكن طرقها (*malleable*) لتكوين أشكال مختلفة، أو ليّها دون أن تنكسر. كما أنّها قابلة للسحب (*Ductile*) أيضًا. وهذا يعني إمكانية صنع أسلاك منها. معظم الفلزات ما عدا القليل منها صلبة عند درجة حرارة الغرفة. والاستثناءات هي: الزئبق Hg، والجاليوم، Ga، والسيزيوم Sc، والفرانسيوم، Fr، وجميعها سوائل عند درجة حرارة الغرفة الدافئة أي نحو 30°س (86°ف). وهناك استثناء مثير آخر هو الهيدروجين، H الذي له خصائص الفلز السّائل فقط عند ضغط عالٍ جدّا (الشّكل 10.12). أمّا عند الظروف العادية فإنّه يسلك سلوك غاز غير فلزّيّ.

توجد العناصر غير الفلزية ما عدا الهيدروجين على الجانب الأيمن من الجدول الدوريّ. وهذه العناصر غير الفلزية موصل ضعيف للكهرباء والحرارة، ويمكن أن تكون شفافة. إنّ المواد الصلبة غير الفلزية لا تكون لينة، ولا قابلة للسحب، ولكنها قاسية عند طرقها. وعند درجة حرارة 30°س (86°ف) تكون بعض اللافلزات صلبة (كربون C)، وبعضها سائلة (البروم Br)، والأخرى غازية (هيليوم He).

هناك ستة عناصر تُصنّف على أنّها شبه فلزّيّة هي: البورون B؛ والسّليكون، Si، والجرمانيوم Ge، والزرنيخ، As، والأنتيمون، Sb، والتيليريوم، Te. أمّا أشباه الفلزات فتقع بين الفلزات وغير الفلزات في الجدول الدوريّ. ولها خصائص كلّ من الفلزات وغير الفلزات؛ فمثلًا، هذه العناصر ضعيفة التوصيل للكهرباء، مما يجعلها مفيدة كأشباه موصلات في الدارات المتكاملة والحواسيب. لاحظ من الجدول الدوريّ أنّ الجرمانيوم Ge، (العدد الذّريّ، 32) أقرب إلى الفلزات منه إلى اللافلزات. وبسبب هذا الموقع يمكننا الاستنتاج أنّ الجرمانيوم له خصائص فلزية أكثر من السّليكون Si (العدد الذّريّ 14). وهو موصل أفضل قليلا للكهرباء. وهكذا، نجد أنّ الدارات المتكاملة المصنوعة من الجرمانيوم أسرع من الدارات المتكاملة المصنوعة من السّليكون. ولأنّ السّليكون متوافر أكثر من الجرمانيوم، وأقلّ تكلفة منه، فإنّ رقاقات الحاسوب ما تزال تصنع من السّليكون.

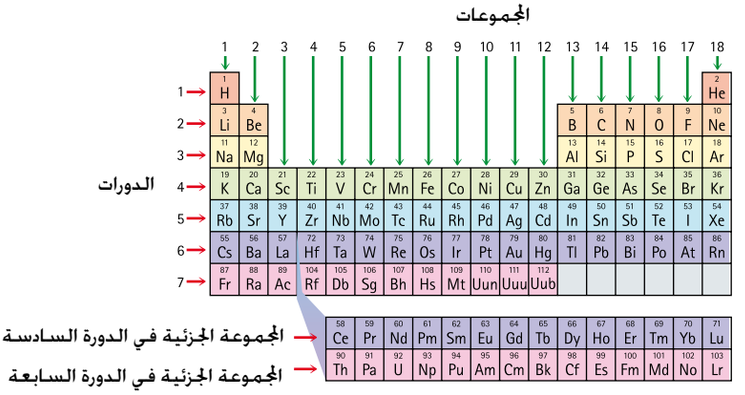
الدّورات (Periods) والمجموعات (Groups)

هناك طريقتان مهمتان تنظم بهما العناصر في الجدول الدوريّ، وهي في سطور أفقية وصفوف عمودية. يسمى كلّ سطر أفقيّ **دورة** ويسمّى كلّ صفّ عموديّ **مجموعة** (أو *عائلة* أحيانًا). وكما هو مبين في الشّكل 11.12، هناك 7 دورات و18 مجموعة.

إنّ خصائص العناصر تتغير تدريجيًّا عبر أيّ دورة. ويسمّى هذا التغير التدريجي بالميل الدوريّ، كما هو مبين في الشّكل 12.12. أحد هذه الميول الدوريّة هو تناقص الحجم الذّريّ عندما تنتقل من اليسار إلى اليمين عبر أيّ دورة. لاحظ أنّ هذا الميل يتكرر من سطر أفقيّ إلى آخر.

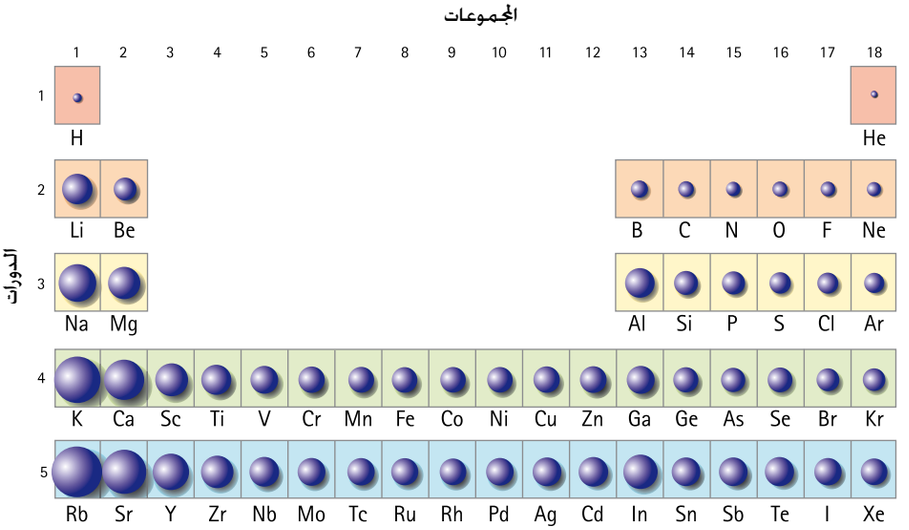
الشّكل 10.12

يوحي النموذج الجيوكوكبي بأنّ الهيدروجين يوجد على هيئة فلز سائل تحت أعماق سطح كلّ من المشتري (المبين هنا) وزحل. وتتكوّن هذه الكواكب في معظمها من الهيدروجين. يزيد الضغط داخل هذه الكواكب على 3 ملايين مرة على الضغط الجويّ الأرضيّ. تحت هذا الضغط الهائل، يضغط الهيدروجين ليصور في طور الفلز السّائل.



الشّكل 11.12

الدّورات السبع (الصفوف الأفقية) والمجموعات الثماني عشر (الأعمدة العمودية) للجدول الدوريّ. لاحظ أنّ عدد العناصر يختلف من دورة إلى أخرى. لاحظ أيضًا، ولأسباب ستوضح لاحقًا، أنّ الدّورتين السادسة والسابعة تتضمن كلّ منهما مجموعات جزئية من العناصر وضعت في قوائم منفصلة عن الجسم الرئيس للدورتين.



الشّكل 12.12

يتناقص حجم الذرّات تدريجيًّا من اليسار إلى اليمين عبر أيّ دورة. الحجم الذّريّ صفة دورية (تكرار).

وتُعرَف ظاهرة تكرار الميول هذه بالدوريّة. ويستخدم هذا المصطلح للدلالة على الحدوث في دورات. يسمّى كلّ سطر أفقيّ بالدورة لأنها تقابل دورة كاملة من الميل.

لمعلوماتك

■ *القيراط* وحدة مألوفة تستخدم لوصف كتلة الأحجار الكريمة. فكتلة قيراط واحد من الماس مثلا، 0.2 جم. *والقيراط* وحدة مألوفة تستخدم لوصف نقاوة الفلزّ الثمين، كالذهب. فخاتم الذهب من 24 قيراطًا هو ذهب نقيّ قدر الإمكان (ذهب خالص). وخاتم ذهب 12 قيراطًا هو نقيّ بمقدار 50% .

■ **نقطة فحص**

أيهما أكبر: ذرّات السيزيوم Cs (العدد الذّريّ 55)، أم ذرّات الرادون Rn (العدد الذّريّ 86)؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ربما حاولت النظر إلى الشّكل 12.12 للإجابة عن هذا السؤال. ولكنك أحبطت بسرعة لأنّ عناصر الدورة السادسة غير مبينة. حسنًا، اهدأ. انظر إلى الميل، فسترى في أيّ دورة، الذرّات إلى اليسار جميعها أكبر من الذرّات التي إلى اليمين. وهكذا، فالسيزيوم يقع إلى أقصى يسار الدورة السادسة. وعليه، يمكنك التنبؤ بأنّ ذرّاته أكبر من ذرّات الرادون التي تقع إلى أقصى اليمين من الدورة السادسة. يعدّ الجدول الدوريّ خارطة طريق لفهم العناصر.

تميل خصائص العناصر أسفل كلّ مجموعة (الصّفّ العموديّ) إلى التشابه بشكل مدهش. ولهذا، يقال إنّ هذه العناصر "مجموعة" أو "في عائلة". كما يبين الشّكل 13.12، يوجد للعديد من المجموعات أسماء تقليدية تصف خصائص هذه العناصر. ومبكرًا في التاريخ البشري، اكتشف الناس أنّ مزج الرّماد مع الماء يُنتج محلولًا لزجًا يفيد في إزالة الدهون. ووصف هذا المزيج في العصور الوسطى على أنه قلويّ، وهو مصطلح مشتق من اللغة العربية للرّماد، *القلي*. وللمخاليط القلوية عدة استخدامات، خاصة في تحضير الصابون (الشّكل 14.12). والآن، نعلم أنّ الرّماد القلويّ يحتوي على مركبات مجموعة العناصر 1، وأكثرها كربونات البوتاسيوم والمعروفة أيضًا بالبوتاس. وبسبب هذا التاريخ، تسمى مجموعةُ العناصر التي هي فلزات، *الفلزاتِ القلويةَ (Alkali Metals)*.

تشكّل عناصر المجموعة الثانية أيضًا محاليل قلوية عند مزجها بالماء. والأكثر من ذلك، فقد لاحظ كيميائيو العصور الوسطى أنّ مادة معينة (نعلم الآن أنها من المجموعة الثانية) لا تذوب ولا تتغير عندما توضع فوق النار. تعرف هذه المواد المقاومة للنار، للكيميائيين "بالأرض". وقد حافظت على دورها من العصر القديم، وتسمى عناصر المجموعة الثانية *بالفلزات الأرضية القلوية (Alkaline - Earth Metals)*.

إلى أقصى اليمين من الجدول الدوريّ، توجد عناصر المجموعة 16 والمعروفة بالجالكوجينات (*Chalcogens*)("صناعة المنجم" باليونانية) لأنّ العنصرين في الأعلى هما الأكسجين والكبريت الموجودان عادة في المناجم. تعرف عناصر المجموعة 17 *بالهالوجينات (Hologens)* ("تكوين الملح" في اليونانية) بسبب نزوعها إلى تكوين أملاح مختلفة. إنّ عناصر المجموعة 18جميعها غازات غير متفاعلة، ولا تميل إلى الاتحاد مع العناصر الأخرى. ولهذا السبب سميت *غازات نبيلة (Noble gases)*.

الشّكل 13.12

الأسماء المألوفة للمجموعات المختلفة من العناصر.

لمعلوماتك

■ عندما تسخّن فتيلة التنجستن داخل المصباح، تتبخر جسيمات صغيرة جدًّا من التنجستن. ومع الزمن، تترسب هذه الجسيمات على السّطح الداخليّ للمصباح، مسببة اسوداده. وبفقدان فتيلة التنجستن، ينكسر في النهاية و«يحترق» المصباح. يصلّح هذا بتبديل الهواء داخل المصباح بغاز الهالوجين، مثل اليود أو البروم. في مصباح الهالوجين هذا، يتّحد التنجستن المتبخر مع الهالوجين بدلًا من الترسب على المصباح، والذي يبقيه صافيًا. زِدْ على ذلك أنّ التنجستن يصبح غير مستقر وينفصل عن الهالوجين عندما يلمس الفتيل الساخن. ويعود الهالوجين إلى حالته الغازية، في حين يترسب التنجستن على الفتيلة، وبذلك تسترجع الفتيلة. ولهذا السبب تدوم مصابيح الهالوجين طويلا.

على افتراض أنّ النبلاء في العصور القديمة كانوا أرفع من أن يتعاملوا مع عامة الشّعب.

إنّ عناصر المجموعات من 3 إلى 12 جميعها فلزات. ولا تشكّل محاليل قلوية مع الماء. تكون هذه الفلزات أصلب من الفلزات القلوية وأقل ميلًا إلى التفاعل مع الماء. لذا، فهي تستخدم في الأعمال البنائية. وهي معروفة بالفلزات الانتقالية؛ اسم يدلّ على مركزية موقعها في الجدول الدوريّ. تتضمن الفلزات الانتقالية (*Transition Metals*) ومن أكثر العناصر ألفة وأهمية: الحديد، Fe، والنحاس، Cu، والنيكل، Ni، والكروم، Cr، والفضة، Ag، والذهب، Au، كما تتضمن عناصر أقلّ ألفة، ولكنها مهمة في التكنولوجيا الحديثة. يُثمّن الذين لديهم أطراف مزروعة العناصر الانتقالية كالتيتانيوم، Ti، والموليبديوم، Mo، والمنجنيز، Mn؛ لأنّ هذه العناصر تستخدم في أجهزة الاستزراع بسبب عدم تآكلها.

الشّكل 14.12

يصنع الرماد والماء محلولًا قاعديًّا لزجًا عندما يستخدم لتنظيف اليدين.

■ نقطة فحص

عناصر النحاس Cu، والفضة Ag، والذهب Au هي ثلاثة فلزات من العناصر القليلة التوافر في الطبيعة بحالتها العنصرية. لقد وجدت هذه الفلزات الثلاثة استعمالات عظمى في النقود والمجوهرات لعدة أسباب، منها مقاومتها للتآكل وألوانها الرائعة كذلك. فكيف يفسر الجدول الدوريّ حقيقة الصّفات المتشابهة لهذه الفلزات؟

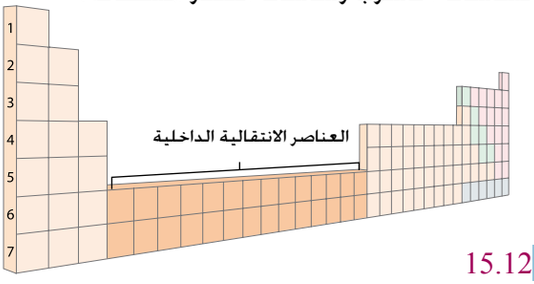
هل كانت هذه إجابتك؟

العدد الذّريّ للماس 29، وللفضة 47، وللذهب 79، وكلّها في المجموعة نفسها من الجدول الدوريّ (المجموعة 11).

ذرّة اليورانيوم أثقل من ذرّة الليثيوم 40 مرة، ولكنها أكبر قليلًا في الحجم؛ لأنّ نواتها المشحونة بشحنة كبيرة تسحب الإلكترونات بقوة. ونظرًا لأنّ لديها إلكترونات أكثر لتسحب فإنّ هذا يؤدّي إلى توازن يغيّر قليلًا من حجمها.

يوجد ضمن الدورة السادسة المجموعة الجزئية المؤلفة من 14 عنصرًا فلزيًّا (تتراوح أعدادها الذّريّة من 58 وحتى 71) لا تشبه أيًّا من الفلزات الانتقالية. ومجموعة جزئية مشابهة (أعدادها الذّريّة 90 – 103) توجد ضمن الدورة السابعة. هاتان المجموعتان الجزئيتان هما الفلزات الانتقالية الداخلية (*Inner Transition Metals*). إنّ دمج الفلزات الانتقالية الداخلية في الجسم الرئيس للجدول الدوريّ كما في الشّكل 15.12 يُنتج جدولًا طويلًا ومزعجًا. ولا يمكن كتابة الجدول على صفحة من الحجم العادي وبشكل أنيق. توضع هذه العناصر عادة أسفل الجسم الرئيس للجدول، كما في الشّكل 16.12.

تسمى العناصر الانتقالية للدورة السادسة الداخلية اللانثنايدات (*Lanthanides*) لأنها تقع خلف عنصر اللانثانيوم، La. وبسبب تشابه خصائصها الفيزيائية والكيميائية توجد بشكل مختلط معًا في الموقع نفسه على الأرض. وأيضًا بسبب هذا التشابه فإنه يصعب تنقيتها. لقد ازدادت الاستخدامات التجارية للانثانيدات. وحديثًا، يستخدم العديد من عناصر اللانثانيدات في صناعة الصمامات الباعثة للضوء (LEDs) لشاشات الحاسوب وشاشات التلفاز المسطحة.

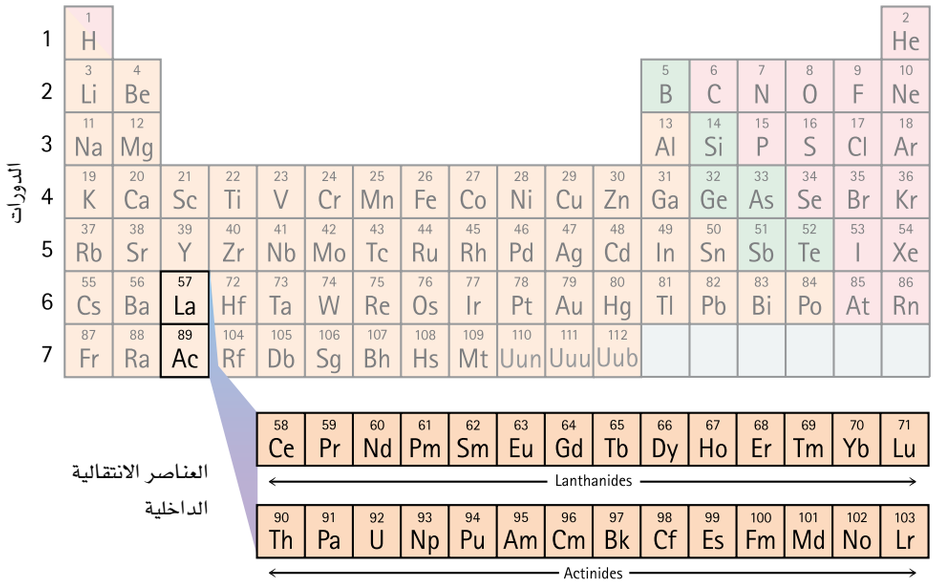


الشّكل 15.12

دمج الفلزات الانتقالية الداخلية بين المجموعتين الذّريّتين الثالثة والرابعة في الجدول الدوريّ، والتي ليس من السهل مواءمتها في صفحة قياسية.

لمعلوماتك

■ منذ عام 1943 وحتى عام 1986، تمكنت هيئة هانفورد النووية في وسط ولاية واشنطن من إنتاج 72 طنًّا من البلوتونيوم، أي ثلثي احتياط الولايات المتحدة تقريبًا. وقد ولّد إنتاج هذا المقدار من البلوتونيوم ما مقداره 450 بليون جالون من المواد المشعة والسوائل الخطرة، والتي ضخّت في البيئة المحلية. والآن، هناك نحو 53 مليون جالون من المواد ذات المستوى العالي من الإشعاع والمخلفات الكيميائية مخزنة في 177 مخزنًا تحت الأرض، ويتسرب العديد منها إلى المياه الجوفية.



الشّكل 16.12
الموقع الطبيعي للفلزات الانتقالية الداخلية. يبدأ العدّ للعناصر في الدورة السّادسة من اللانثانيوم (La, 57) إلى السيريوم (Ce, 58) وحتى اللوتيسيوم (Lu, 71)، ثمّ العودة إلى الهافنيوم (Hf, 72). وهناك قفزة مماثلة في الدورة السابعة.

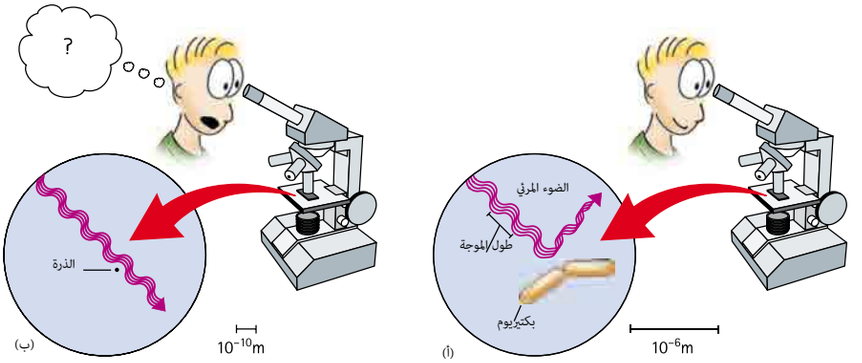
تسمى عناصر الدورة السّابعة الداخلية الأكتنايدات actinides لأنها تقع خلف الأكتينيوم Actinium, Ac. ولها خصائص متشابهة. ولهذا، لا يعدّ أمرًا سهلا. وتواجه صناعة المحطات النووية هذه العقبة بسبب متطلبات تنقية العنصرين المشهورين: اليورانيوم، U، والبلوتونيوم، Pu. الأكتنيدات الأثقل من اليورانيوم غير متوافرة في الطبيعة، إلا أنها تصنع في المختبر.

■ 5.12 النماذج الفيزيائية والمفاهيمية

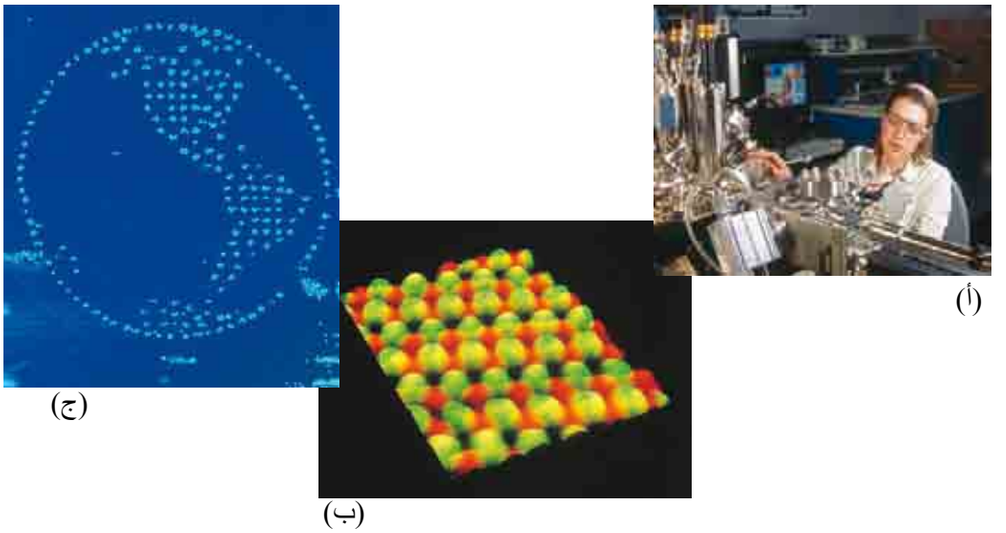
إنّ الذرّات صغيرة جدًّا بحيث إنّ عدد الذرّات الموجودة في كرة القاعدة يساوي عدد كرات التنس اللازمة لملء كرة بحجم الكرة الأرضية تقريبًا، كما يوضح الشّكل 17.12.
يعدّ هذا الرقم كبيرًا بشكل غير معقول، إنّه أكبر من إدراكنا البديهي. إنّ الذرّات صغيرة جدًّا بحيث لا يمكن

الشّكل 17.12
لو ملئت الأرض بكرات تنس-طاولة فقط، فإنّ عدد هذه الكرات يساوي عدد الذرّات في كرة القاعدة تقريبًا. أي أنّه إذا كان حجم كرة القاعدة يعادل حجم الأرض فإنّ إحدى ذراتها تكون بحجم كرة تنس-الطاولة.

رؤيتها بالحواس العادية؛ لأنّ الضّوء يسير في أمواج، والذرّات أصغر من أطوال الموجات المرئيّة، وهذا هو الضّوء الذي يمكننا من الرؤية كما يوضح الشّكل 18.12. يجب أن يكون قطر الجسم المرئيّ عند أعلى تكبير أكبر من أطول موجات الضّوء المرئيّ.



الشّكل 18.12
يمكن رؤية الأجسام المجهرية من خلال المجهر الذي يعمل بالضّوء المرئيّ، ولكن لا يمكن رؤية الجسيمات دون المجهرية به. (a) البكتيريا المفردة مرئية لأنها أكبر من طول موجة الضّوء المرئيّ. نستطيع رؤية البكتيريا من خلال الميكروسكوب؛ لأنّ البكتيريا تعكس الضّوء المرئيّ. (b) لا يمكن رؤية الذرّة لأنها أصغر من طول موجة الضّوء المرئيّ ، لذا لا تعكس الضّوء نحو أعيننا.



(أ) (ب) (ج)

الشّكل 19.12
(أ) مجاهر المجسّ المسحي أجهزة بسيطة نسبيًّا تستخدم لالتقاط صور دون مجهرية.
(ب) صور لذرّات الجاليوم والزرنيخ أخذت بمجهر مجس مسحي. (ج) تتكوّن كلّ نقطة على أصغر خريطة عالمية من عدة آلاف من ذرّات الذهب، وتتحرك كل ذرّة إلى الموقع المناسب بمجس المجهر الماسح.

على الرّغم من أننا لا نستطيع رؤية الذرّات مباشرة، إلا أنه يمكن لنا أخذ صور لها بطريقة غير مباشرة. في منتصف عام 1980م، طوّر الباحثون مجهر المجس الماسح *Scanning probe micro-scope* والذي ينتج صورًا عن طريق غرز إبر رفيعة ذهابًا وإيابًا فوق سطح العينة. يعمل الاصطدام والذي يكون بحجم الذرّات على سطح العينة على تحريك الإبرة إلى الأعلى والأسفل، تكشف وتترجم هذه الحركة العمودية عبر جهاز الحاسوب إلى صورة طوبوغرافية والتي تقابل مواقع الذرّات على السّطح (الشّكل 19.12).

يستخدم المجهر الماسح أيضًا لدفع الذرّات المفردة إلى الأماكن المطلوبة. وقد فتحت هذه المقدرة إمكانات هائلة من التقنيات الثانوية؛ حيث تم تصنيع دارات كهربائية ومحركات صغيرة جدًّا ذرّة بذرّة.

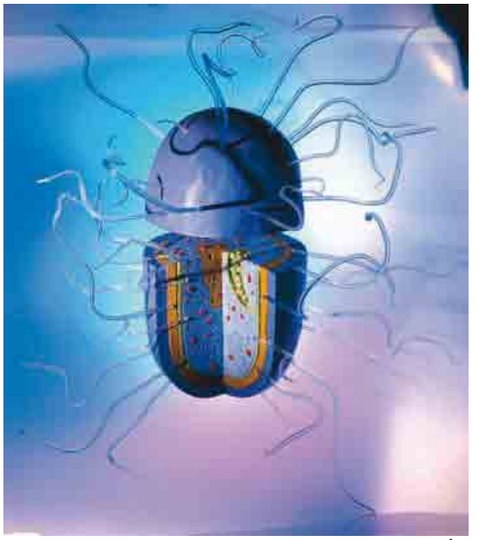
■ **نقطة فحص**

الذرات غير مرئية. لماذا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

الذرّة المفردة أصغر من أطوال موجات الضّوء المرئيّ، وبهذا فهي غير قادرة على عكس هذا الضّوء. إذن، فالذرّات غير مرئية لأنّ الضّوء المرئيّ يمرّ منها. إنّ الصور المكوّنة من المجهر الماسح ليست صورًا ملتقطة بالكاميرا. بل هي تمثيل حاسوبي متولد من حركة الإبرة الرفيعة جدًّا.

يمكن تمثيل الجسم الصغير جدًّا وكذلك الكبير جدّا بنموذج فيزيائيّ، وهو نموذج يمثل الأجسام بمقاييس ملائمة تمامًا. يبين الشّكل 20.12 مثلًا **نموذجًا فيزيائيًا (Physical Model)** بمقياس كبير لكائن حيّ صغير مجهريّ (microorganism) يستعمله طلبة علوم الحياة لدراسة التركيب الداخلي لهذه الكائنات المجهرية. ولأنّ الذرّات غير مرئية، فإنّنا لا نستطيع استخدام النموذج الفيزيائيّ لتمثيلها. أي، لا نستطيع تكبير الذرّة إلى حجم أكبر كما نفعل مع الكائنات المجهرية الدقيقة. يبين المجهر الماسح مواقع الذرّات وليس صورتها الحقيقية، ولا يوجد لها سطح صلب متضمن في صورة الماسح الشّكل (19.12)، وبدلًا من وصف الذرّة بنموذج فيزيائيّ، يستخدم الكيميائيون ما يعرف بالنموذج المفاهيميّ، والذي يصف نظامًا ما. كلما كان النموذج المفاهيمي (*Conceptual Model*) دقيقًا كانت قدرته على التنبؤ بسلوك النظام أدق. إنّ أفضل وصف للطقس هو بنموذج مفاهيمي كالذي يظهر في الشّكل 20.12ب. يبين هذا النموذج مختلف مركبات النظام - الرطوبة، والضغط الجوي، ودرجة الحرارة، والشحنة الكهربائية.



(أ)

(ب)

الشّكل 20.12

(أ) نموذج المقياس – الكبير هذا للكائن الحي الميكرووي هو نموذج فيزيائي. (ب) يعتمد متنبئو الطّقس على النماذج المفاهيمية كالتنبؤ بأحوال أنظمة الطّقس.

وحركة الكتل الكبيرة من الهواء - والتي يتفاعل بعضها مع بعض. وهناك أنظمة أخرى يمكن وصفها بنماذج مفاهيمية كالاقتصاد، والنّموّ السّكانيّ، وانتشار الأمراض، والفرق الرياضية.

■ **نقطة فحص**

يصف مدرب كرة السلة استراتيجية اللعب لفريقه بطريقة الرسوم على اللوح. فهل تعدّ هذه الرسوم نموذجًا فيزيائيًّا أم نموذجًا مفاهيميًّا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

هذه الرسوم هي نموذج مفاهيمي يستخدمه المدرب لوصف نظام ما (اللاعبون في الملعب) على أمل التنبؤ بالنتيجة (الفوز في المباراة).

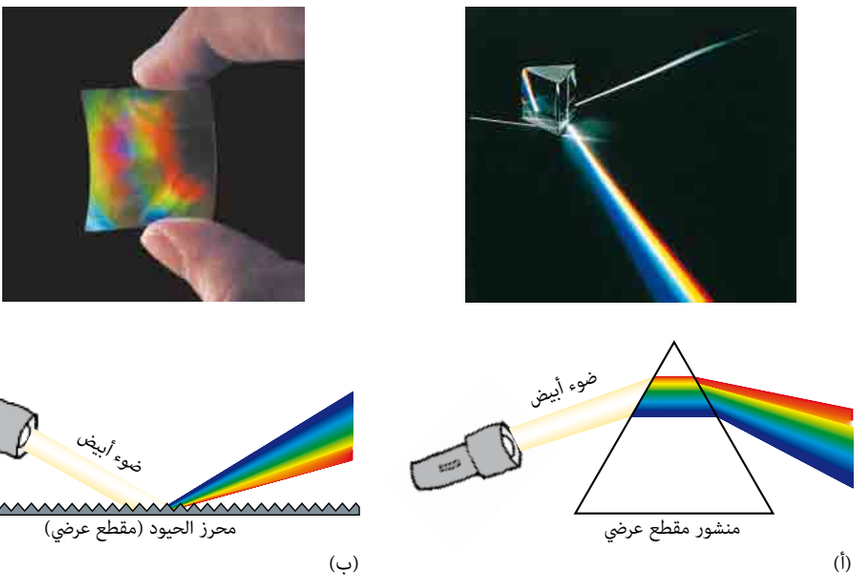
مثل الطّقس، فإنّ الذرّة نظام معقد من المركبات المتفاعلة، والتي يمكن وصفها على نحو أفضل بالنموذج المفاهيميّ. وعليه، يجب أن تكون حذرًا في تفسير أيّ تمثيل صوريّ للذرّة لنموذج مفاهيمي لها على أنه تجسيد للذرّة الحقيقية. فمثلًا، ستدرس نموذج القشرة للذرّة في الجزء 7.12، حيث تظهر الإلكترونات وهي تدور حول نواة الذرّة كدوران الكواكب حول الشّمس. إنّ النموذج الكواكبي محدود، حيث فشل في تفسير العديد من خصائص الذرّات. لقد تم تقديم نماذج مفاهيمية جديدة وأكثر دقة للذرّة (وأكثر تعقيدًا). في هذه النماذج، تبدو الإلكترونات غيومًا تحوم حول نواة الذرّة. ولكن هذه النماذج أيضًا ذات عيوب. وفي النهاية، فإنّ أفضل نماذج للذرّة هي رياضية بحتة.

في هذا الكتاب، سيكون تركيزنا على النماذج الذّريّة المفاهيمية والتي يمكن تمثيلها بسهولة بصور مرئية، بما في ذلك النموذج الكواكبي، والنموذج الذي تتجمع فيه الإلكترونات في وحدات تسمى القشور. وعلى الرّغم من عيوبها، فإنّ هذه النماذج أدلة ممتازة للتعلم حول سلوك الذرّات، خاصة للطلبة المبتدئين كما سنناقش في الأجزاء اللاحقة. لقد طور العلماء هذه النماذج للمساعدة على تفسير كيفية بثّ الذرّات الضّوء.

لا نستطيع رؤية الذرّات لأنها صغيرة جدًّا، كما أنّنا لا نستطيع رؤية النجم البعيد أيضًا. وهنالك أشياء كثيرة لا نستطيع رؤيتها. ولكن هذا لا يمنعنا من التفكير فيها أو حتى تجميع أدلة غير مباشرة.

■ 6.12 تشخيص الذرّات باستخدام المطياف

تذكّر من الفصل 11، أننا نرى اللون الأبيض عندما تصل إلى أعيننا ترددات اللون الأبيض جميعها في الوقت نفسه. إذا مرّرنا الضّوء الأبيض عبر منشور أو محزز الحيود، فإنّ مكونات اللون للضوء تنفصل



الشّكل 21.12
فصل الضَّوء الأبيض إلى مكوناته بكلّ من:
(أ) المنشور. (ب) محزّز الحيود.

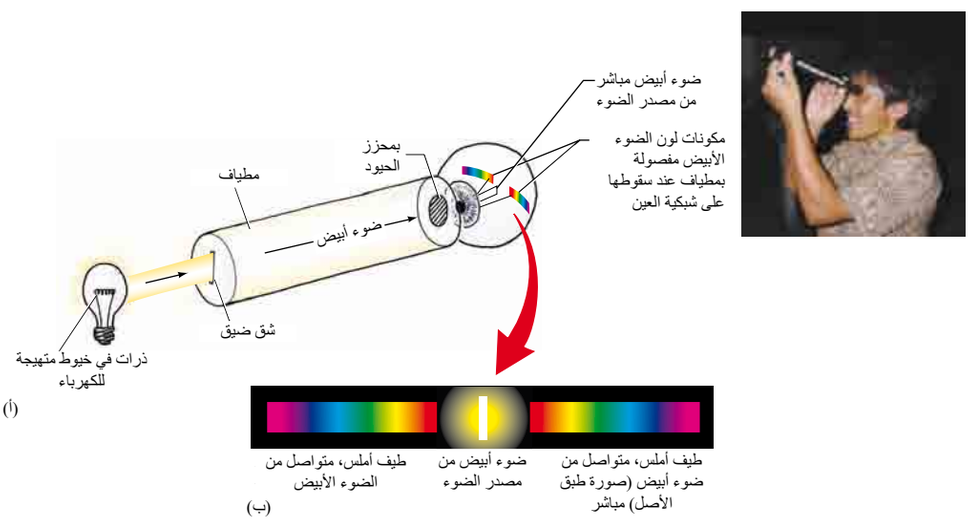
كما هو مبين في الشّكل 21.12. (تذكر أنّ كلّ لون في الضَّوء المرئيّ يقابل ترددًا معينًا). **المطياف *(Spectroscope)***، المبين في الشّكل 22.12 هو جهاز يستخدم في تحديد مكونات اللون لأيّ مصدر ضوئيّ. يُمكّننا المطياف من تحليل الضَّوء المنبعث من العناصر المتوهجة.

ينبعث الضَّوء من الذرّات التي تتعرض لمختلف أشكال الطاقة، مثل الحرارة والكهرباء. ولكن ذرّات عنصر معين تبث ترددات معينة فقط من الضَّوء. وبناءً عليه، فإنّ كلّ عنصر يبثّ توهّجًا مميّزًا عندما يزود بالطاقة. تبث ذرّات الصوديوم ضوءًا أصفر لامعًا، والذي يجعله مفيدًا في إنارة الشوارع بسبب حساسية أعيننا للضوء الأصفر. ومثال آخر على ذلك، تطلق ذرّات النيون ضوءًا أحمر برتقاليًّا لامعًا يجعلها مفيدة في مصادر الضَّوء في لافتات النيون.

عندما ننظر إلى الضَّوء النّاتج عن الذرّات المتوهجة من خلال المطياف، نرى أنّ الضَّوء يتكون من ترددات محددة عديدة (بعضها مفصول عن بعض) بدلًا من طيف مستمر كالذي يُشاهد في الشّكل 22.12. إنّ أنماط الترددات المتكوّنة من عنصر معين - يرى بعضها في الشّكل 23.12 يطلق عليها الطيف الذّريّ (*Atomic Spectrum*) للعنصر. ويعدّ هذا الطيف الذّريّ بصمة للعنصر. ويمكن تحديد العناصر في مصدر ضوئيّ بتحليل الضَّوء من خلال مطياف. ومن ثمّ البحث عن أنماط مميزة. إنْ لم يتسنّ لك استعمال مطياف في المختبر، فتفحص الأنشطة الواردة في نهاية هذا الفصل.

لمعلوماتك

■ يستدل على عمر نجم بالعناصر المكوّنة له. تتكوّن أولى النّجوم وأقدمها من الهيدروجين والهيليوم لأنّ هذين العنصرين هما المتوافران في ذلك الوقت. أنتجت العناصر الأثقل بعد أن انفجرت هذه النّجوم الأولى في المتجدد الأعظم. ودمجت العناصر الأثقل في تكوين النّجوم اللاحقة. عمومًا، كلما كان النجم أحدث، أي أقل عمرا، كبرت كمية العناصر الثقيلة التي يحتويها.



الشّكل 22.12
شكل تفاعلي (أ) في المطياف، يمرّ الضَّوء المنبعث من الذرّات عبر فتحة ضيقة قبل انفصاله إلى ترددات محددة بالمنشور (كما هو مبين هنا) أو بمحزز الحيود. (ب) هذا ما تراه العين عندما تشير الفتحة الضيقة لمحزز الحيود للمطياف نحو مصدر الضَّوء الأبيض. تظهر أطياف الألوان إلى اليسار واليمين من الفتحة.

إستـرانشيـوم , Sr

بوتاسيوم, K

باريوم , Ba

نحاس , Cu

الشّكل 23.12
يتوهج لهب العنصر المسخن بألوانه الخاصة. يسمّى هذا عادة اختبارَ اللهب، ويستخدم لفحص وجود عنصر ما في العينة. عندما ينظر إليه من خلال المطياف، يتألّف لون كلّ عنصر من نمط مميز من الترددات تعرف بالطّيف الذّريّ.

■ **نقطة فحص**

كيف يمكنك تحديد المكونات العنصرية لنجم ما؟

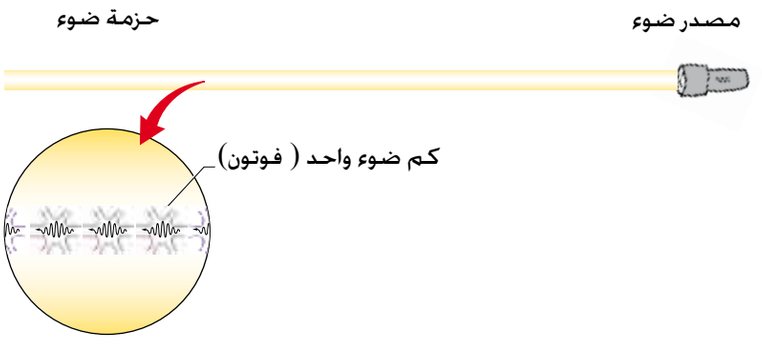
هل كانت هذه إجابتك؟

وَجِّه مطيافًا جيد الصّنع نحو النّجم، وادرس أنماطه الطيفية. في أواخر عام 1800م حصل هذا مع نجمنا الشّمس. تم ملاحظة الأنماط الطبيعية للهيدروجين وبعض العناصر الأخرى المعروفة، بالإضافة إلى نمط لم يُعرف. استنتج العلماء أنّ النمط الذي لم يحدّد يعود إلى عنصر لم يكتشف على الأرض بعد. وسمّي هذا العنصر الهيليوم نسبة إلى الكلمة اليونانية التي تعني "الشّمس" هيليوس Helios.

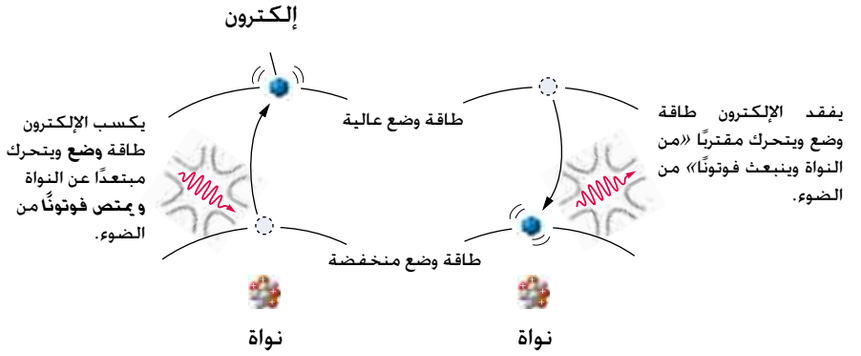
■ 7.12 الفرضيّة الكمّية

لقد أسهم عالم الفيزياء الألماني ماكس بلانك (Max Planck 1858-1947) بخطوة مهمة نحو فهمنا الحالي للذرّات وأطيافها. في عام 1900م افترض بلانك أنّ طاقة الضّوء مكمّاة بالطريقة نفسها للمادة. فعلى سبيل المثال، تساوي كتلة سبيكة من الذهب عددًا صحيحًا من مضاعفات كتلة ذرّة واحدة من الذهب. وبالمثل، تساوي الشحنة الكهربائية دائمًا مضاعف عددٍ صحيح من شحنة إلكترون مفرد. لذا، يقال إنّ الكتلة والشحنة مكمّاتان، لأنهما مكمّاتان من عدد صحيح من وحدات أساسية.

ما فعله بلانك بالفرضيّة الكمّية هو إدراك أنّ طاقة شعاع الضّوء ليست طاقة تنساب باستمرار (*غير مكمّاة*) كما نعتقد، بل يتكون الشعاع من زليون (*Zillions*) عدد كبير لا متناه من حزم صغيرة من الطاقة (*Packets*) كل حزمة تسمى مكمًّى (*Quantum*)، كما هو ممثل في الشّكل 24.12. وبعد عدة سنوات، أدرك أينشتاين أنّ هذه المكميات تتصرف كجسيمات مادية متناهية في الصغر. ولتأكيد الطبيعة الخاصة بها أطلق مصطلح فوتون على كلّ كمّ ضوء لتماثله مع المصطلحات: *إلكترون، وبروتون، ونيوترون*. وباستخدام نظرية الكمّ لبلانك، فسّر العالم الدنماركي نيلز بور (Niels Bohr 1885-1962) الأطياف الذّريّة كما يلي: 1- يكون للإلكترون البعيد عن النّواة طاقة وضع أكبر. وهذا مشابه لطاقة الوضع الكبيرة لجسم عندما يكون على ارتفاع عالٍ عن الأرض. 2- أدرك بور أنه عند امتصاص الذرّة الفوتون من الضّوء، فإنها تمتص طاقة. يستحوذ على هذه الطاقة أحد الإلكترونات. ولأنّ هذا الإلكترون قد اكتسب طاقة، فعليه التّحرّك بعيدا عن النّواة.



الشّكل 24.12
الضّوء مكمّى، وهذا يعني أنه مكون من سيل رزم صغيرة من الطاقة. تسمّى كلّ رزمة كمًّا. وتعرف أيضًا بالفوتون.



الشّكل 25.12
يرتفع الإلكترون مبتعدًا عن النّواة عندما تمتص الذرّة فوتونًا من الضّوء وينزل مقتربًا من النّواة عندما تطلق الذرّة فوتونًا من الضّوء.

كما أدرك بور أنّ العكس صحيح: عندما يفقد إلكترون (في ذرّة) ذو طاقة عالية بعض طاقته فإنّه ينتقل قريبًا من النّواة. أمّا الطاقة التي يفقدها الإلكترون فتنبعث من الذرّة على هيئة فوتون ضوئيّ. يوضح الشّكل 25.12 كلًّا من الامتصاص والانبعاث.

نقطة فحص

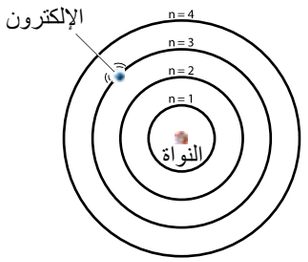
أيهما ذو طاقة أكبر: فوتون الضّوء الأحمر أم فوتون تحت الحمراء؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ تردد الضّوء الأحمر أعلى من تردد الضّوء تحت الأحمر. وهذا يعني أنّ طاقة فوتون الضّوء الأحمر أكثر من طاقة فوتون الضّوء تحت الأحمر. تذكر أنّ الفوتون رزمة متصلة واحدة (كمّ) من الطاقة المُشَعّة.

استنتج بور أنه لأن طاقة الضّوء مكمّاة، فإنه يجب أن تكون طاقة الإلكترون في الذرّة مكمّاة أيضًا، أي، لا يمكن أنّ تأخذ طاقة وضع الإلكترون مجرد أيّ كمية. ولكن ضمن الذرّة، يجب أن يكون هناك عدد متميز من مستويات الطاقة، مثل العتبات على الدرج. يتحدد موقعك على الدرج بتحديد موقع الدرجة. فلا يمكنك الوقوف على ارتفاع يقع بين منتصف درجتين متجاورتين. وبالمثل، يوجد للذرّة عدد محدود من مستويات الطاقة المسموح بها، ولا يمكن أن تمتلك كمية طاقة بين مستويات الطاقة المسموح بها. وقد خصص بور لكلّ مستوى طاقة رقمًا كميًّا رئيسًا (n *Principal Quantum Number*) حيث n دائمًا رقم صحيح. تكون قيمة الرقم الكمّيّ الرئيس لأقل مستوى طاقة 1. والإلكترون الذي له $n = 1$ يكون أقرب قدر الإمكان من النّواة، والإلكترون الذي يكون $n = 3$، $n = 1$ وهكذا تبتعد عن النّواة.

وباستعمال هذه الأفكار، طوّر بور نموذجًا مفاهيميًّا، حيث تتقيد حركة الإلكترونات حول النّواة بمسافات معينة عنها، وتحدد هذه المسافات بكمية الطاقة التي يمتلكها الإلكترون. ورأى بور أنّ حركة الإلكترونات تشبه حركة الكواكب في مدارات حول الشّمس على مسافات معينة منها. ويمكن تمثيل مستويات الطّاقة المسموح بها لأيّ ذرّة كمدارات حول النّواة، كما هو مبين في الشّكل 26.12. عُرف نموذج بور الكميّ للذرّة *بالنموذج الكواكبيّ*.



الشّكل 26.12
نموذج بور الكواكبيّ للذرّة، والذي يدور فيه الإلكترون حول النّواة كما تدور الكواكب حول الشّمس، تمثيل بالرسم لمساعدتنا على فهم كيف أنّ الإلكترونات تمتلك كميات مكمّاة فقط من الطاقة.

استخدم بور نموذجه الكواكبيّ لتفسير سبب احتواء الطّيف الذّريّ على عدد محدود من ترددات الضّوء. ووفقًا لهذا النموذج، تنبعث الفوتونات من الذرّات حين تنتقل الإلكترونات من المدارات الخارجية التي طاقتها أعلى إلى مدارات داخلية طاقتها أقلّ. تساوي طاقة الفوتون المنبعث الفرق في طاقة المدارين. وبسبب أنّ الإلكترون مقيد إلى مدارت محددة، فإنّ ترددات معينة فقط هي التي تنبعث، كما تبين الأطياف الذّريّة.

ومن المثير للاهتمام أنّ الانتقال بين أيّ مدارين يكون آنيًّا، أي أنّ الإلكترون لا "يقفز" من مدار أعلى إلى مدار أدنى كما يقفز السنجاب من فرع أعلى لشجرة ما إلى فرع أدنى. وبدلًا من ذلك، يتحرك الإلكترون بين مدارين بزمن قدره صفر. لقد كان بور جادًّا حين أكّد أنّ الإلكترون لا يمكن أن يوجد بين مدارين مسموحين له من الطاقة.

تذكر من الفصل 11، أنّ الفوتون يسلك سلوك الجسيم عندما ينبعث من الذرّة، أو يمتص من غشاء فوتوغرافيّ، أو غيرها من الكواشف، ولكنه يسلك سلوك الموجة عندما ينتقل من المصدر إلى المكان الذي يكشف عنه.

■ **نقطة فحص**

هل يعدّ نموذج بور للذرّة فيزيائيًّا أم مفاهيميًّا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يعدّ نموذج بور نموذجًا مفاهيميًّا. إنه ليس نسخة بمقياس أكبر عن الذرّة، ولكنه تمثيل يفسر سلوكها.

لقد أثبت نموذج بور الكواكبيّ أنه نجاح باهر. وباستخدام فرضية بلانك الكمّيّة، فقد حلّ نموذجُ بور لغزَ الأطياف الذّريّة. وعلى الرّغم من نجاحاته، فقد كان محدودًا، لأنه لم يفسر سبب أن مستويات الطاقة في الذرّة مكمّاة. لقد كان بور مبادرًا للإشارة إلى أنّ نموذجه تقريبيّ وابتدائيّ. وأنّ دوران الإلكترونات حول النّواة مثل الكواكب حول الشّمس يجب ألا يؤخذ بالمعنى الحرفيّ للكلمة (تنويه: لا يأخذه في الحسبان مَنْ يتعامل مع العلوم بسطحيّة).

■ 8.12 أمواج الإلكترون

إذا كان للضوء خصائص كلّ من الموجة والجسيم، فلِمَ لا يكون للجسيم المادي، كالإلكترون، تلك الخصائص معًا؟ طرح هذا السؤال الفيزيائي الفرنسي لويس دي بروي Louis de Broglie (1892 – 1987) حينما كان طالب دراسات عليا في عام 1924م. لقد كان جوابه الباهر أنّ لكلّ جسيم ماديّ موجة مصاحبة ترشده في أثناء انتقاله. وكلما كانت حركة الإلكترون بطيئة، كانت صفاته أقرب إلى سلوك الجسيم ذي الكتلة. ولكن، كلما كانت حركته سريعة، اقترب سلوكه من سلوك الموجة، التي لها طاقة. إنّ هذه الازدواجية هي امتداد لمعادلة أنشتاين الشهيرة $E = mc^2$، والتي تشير إلى أنّ المادة والطاقة يمكن تحويل أيّ منهما إلى الأخرى. سنتحدث أكثر حول هذه العلاقة في الفصل اللاحق.

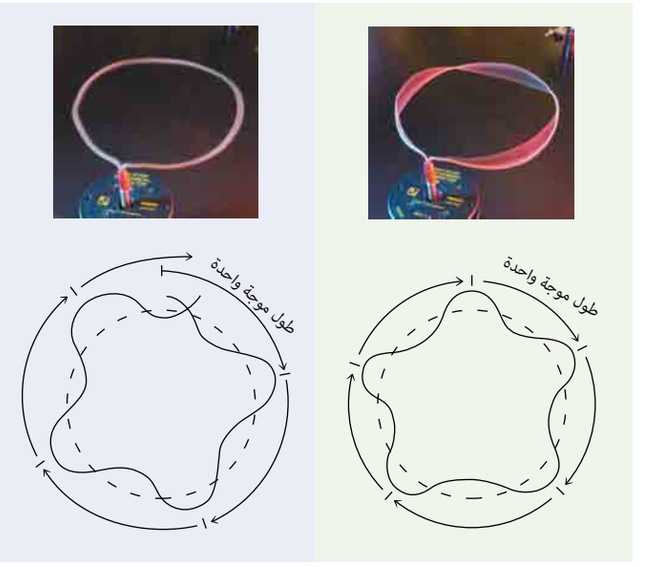
وكتطبيق عمليّ على الخصائص الموجية للإلكترونات المتحركة بسرعة، نأخذ المجهر الإلكترونيّ الذي يركّز على موجات الإلكترون وليس على موجات الضّوء المرئيّة. ولأنّ موجات الإلكترون أصغر كثيرًا من موجات الضّوء المرئيّ، فإنّ المجهر الإلكترونيّ يبيّن تفاصيل أدق كثيرًا من المجاهر البصرية. كما يوضح الشّكل 27.12.

الشّكل 27.12

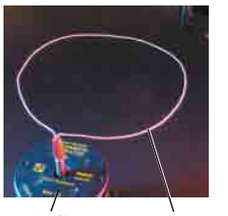
(أ)يستخدم المجهر الإلكترونيّ الطبيعة الموجية للإلكترونات. وعادة ما تكون الأطوال الموجية لحزم الإلكترون أصغر من الأطوال الموجية للضوء المرئيّ نحو 1000 مرة. لذا، فإنّ المجهر الإلكترونيّ يميز التفاصيل التي لا يمكن التمييز بينها بالمجاهر الضوئيّة. (ب) تفاصيل رأس بَعوضة كما يرى بالمجهر الإلكترونيّ عند تكبير "منخفض" بمقدار × 200 مرة. لاحظ القدرة التحليلية الرائعة

(أ)

(ب)



(ب) طول موجة معززة ذاتيًا (ج) طول موجة تنتج عن الحركة الفوضوية



(أ)

الشّكل 28.12
لمحيط ثابت كحلقة سلك، هنا فقط بعض الأطوال الموجية تعزز ذاتيًا. (أ) الحلقة موصولة بهزاز ميكانيكي في وضع السكون. ترسل الأمواج عبر السلك عندما يهتز العمود. (ب) الموجات الناتجة بمعدلات معينة هي فقط التي تعزز ذاتيًا. (ج) الموجات التي تنتج بمعدلات أخرى لا تعزز ذاتيًا.

يتحرك الإلكترون بسرعة عالية جدًّا في الذرّة؛ نحو 2 مليون م/ث. ولهذا، فهو يمتلك العديد من صفات الموجة. يمكن استخدام طبيعة موجة الإلكترون لتفسير سبب تقيّد الإلكترونات في الذرّة بمستويات طاقة معينة. إنّ مستويات الطاقة المسموح بها هي نتيجة طبيعية لانطباق موجات الإلكترون على بعضها بطريقة متزامنة.

وبالمثل، تأمل حلقة السلك المبين في الشّكل 28.12. إذا أضفنا هذه الحلقة إلى هزاز ميكانيكي معاير لإنتاج موجات ذات أطوال موجية مختلفة، فإنّ الموجات العابرة للسلك تلتقي مع نفسها كما في الشّكل 28.12ب، مكوّنة نمط موجة ساكنة تسمى الموجة الواقفة. وقد نتج هذا النمط بسبب التماثل التام للقمم والقيعان لموجتين متتابعتين. وهذا يجعل الموجات تعزز الواحدة منها الأخرى. وبالنسبة للأطوال الموجية الأخرى كما في الشّكل 28.12ج، فإنّ الموجات المتتابعة لا تكون متزامنة. ويترتب على ذلك ألّا يكون لهذه الموجات سعة كبيرة.

إنّ الموجات الوحيدة التي يمتلكها الإلكترون وهو ضمن حدود الذرّة هي تلك التي تعيد تعزيز نفسها. وهذه تشبه الموجة الواقفة التي مركزها نواة الذرّة. تقابل كلّ موجه واقفة مستويات طاقة مسموح بها. إنّ ترددات الضّوء التي تماثل تمامًا الفرق بين أيّ مستويي طاقة مسموح بهما يمكن أن تمتص أو تشعّ من الذرّة فقط.

تفسر الطبيعة الموجية للإلكترونات سبب عدم تحرّك الإلكترون بشكل حلزونيّ مقتربًا أكثر من النّواة الموجبة التي تجذبه إليها. وبالنظر إلى مدار كلّ إلكترون كموجة تعزز نفسها، نرى أنّ أصغر محيط مدار لا يمكن أن يكون أصغر من طول موجة واحدة.

لمعلوماتك

■ موجات الإلكترونات ثلاثية الأبعاد، مما يجعلها صعبة التصور، ولكن العلماء تمكّنوا من إيجاد طرق لتصورها. وهذا يتضمّن غيومًا احتمالية ومدارات ذرية، وهذا ما سوف ندرسه في مادة الكيمياء.

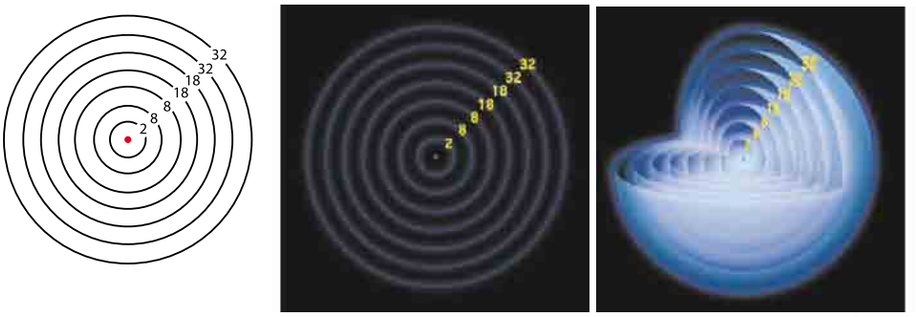
تعتمد جودة الأغنية على ترتيب النوتات الموسيقية. وبطريقة مشابهة، تعتمد خصائص العنصر على ترتيب الإلكترونات في الذرّات.

■ **نقطة فحص**

كيف يجب أن يكون سلوك الإلكترون ليصبح له صفات موجية؟

هل كانت هذه إجابتك؟

استنادا إلى دي بروي، تسلك الجسيمات المادية سلوك الموجات من خلال حركتها. لذا، يجب أن يكون الإلكترون متحركًا حتى تصبح له صفات موجية. تتحرك الإلكترونات في الذرّة بسرعة تبلغ نحو مليوني متر/ثانية، وهكذا تكون طبيعته الموجية أوضح ما يمكن.



الشّكل 29.12
(أ) منظر مقطع للقشور السبع، مع الإشارة إلى عدد الإلكترونات التي تستطيع أن تستوعبها كلّ قشرة. (ب) منظر لمقطع عرضي في بعدين لمنظر القشور. (ج) منظر مقطع عرضي سهل الرسم يشبه نموذج بور الكواكبي.

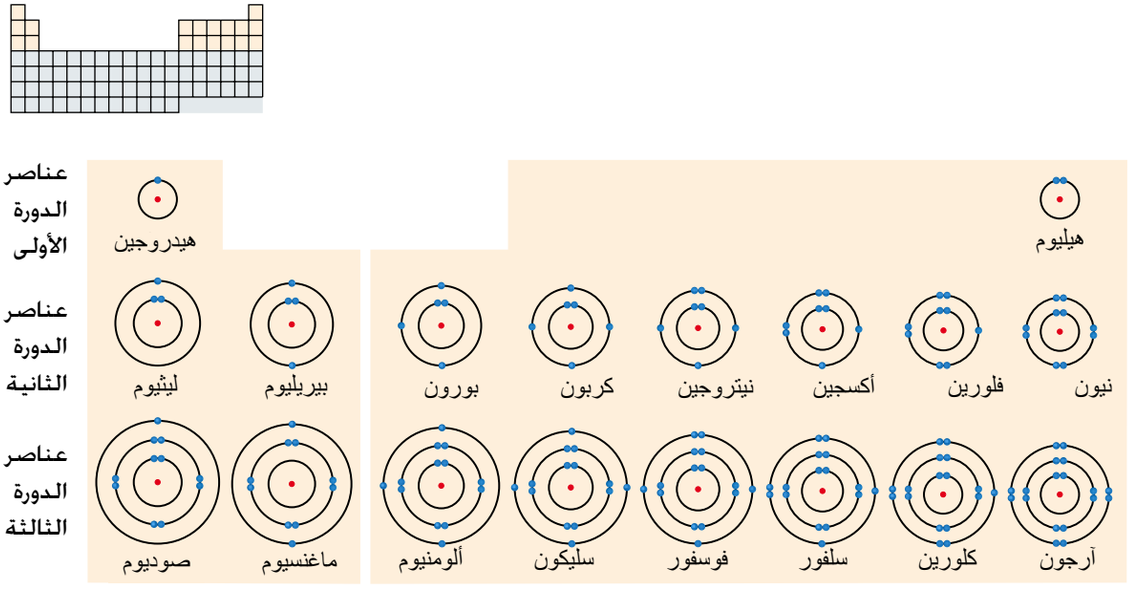
9.12 نموذج القشرة

لأسباب السرعة في فهم كيفية سلوك الذرّات، نلجأ إلى نموذج القشرة. يشبه هذا النموذجُ النموذجَ الكواكبيّ لبور من حيث البساطة، ولكننا سنستخدمه لمساعدتنا على فهم تنظيم الجدول الدوريّ.

وفقًا لنموذج القشرة، تكون الإلكترونات كأنها مرتبة في سلسلة من القشور متحدة المركز. تُعرف القشرة على أنها منطقة في الفضاء حول نواة الذرّة تقيم فيها الإلكترونات. إنّ المظهر المهم لهذا النموذج هو وجود 7 قشور على الأقل، وكلّ منها تتسع لعدد محدود من الإلكترونات كما يوضح الشّكل 29.12؛ فالقشرة الأعمق تتسع لإلكترونين، أمّا القشرتان الثانية والثالثة، فتسع كلّ منهما لـ 8 إلكترونات، في حين تسع كلّ من القشرتين الرابعة والخامسة لـ 18 إلكترونًا، إلى جانب القشرتين السادسة والسابعة التي تتسع كلّ منهما لِـ 32 إلكترونًا.

تفسر سلسلة القشور المتحدة المركز السبع وجود سبع دورات في الجدول الدوريّ. وزدْ على ذلك أنّ عدد العناصر في كلّ دورة يساوي عدد سعة القشرة من الإلكترونات. فعلى سبيل المثال، تتسع القشرة الأولى لإلكترونين. ولهذا، نجد عنصري الهيدروجين والهيليوم، في الدورة الأولى، الشّكل 30.12. إنّ الهيدروجين هو العنصر الذي تتكوّن ذرته من إلكترون واحد، يقيم هذا الإلكترون في القشرة الأولى، وهي

الشّكل 30.12
الدّورات الثلاث الأولى بحسب نموذج القشرة. يكون للعناصر في الدورة نفسها الإلكترونات في القشور المتماثلة. تختلف العناصر في الدورة نفسها بعضها عن بعض في عدد الإلكترونات في القشرة الخارجية.



القشرة الأقرب إلى النواة. ولكل ذرّة هيليوم إلكترونان يوجدان في القشرة الأولى أيضًا. وعليه، فهي معبأة بسعتها القصوى. وبالمثل، سعة القشرتين التاليتين 8 إلكترونات. ولهذا، يوجد 8 عناصر في كلّ من الدورتين الثانية والثالثة.

لقد اقترح لينوس بولنج (Linus Pauling (1901- 1994، الحاصل على جائزة نوبل مرتين، لأول مرة تدريس نموذج القشرة لطلبة الكيمياء المبتدئين، حيث يمكن من خلاله وصف تنظيم الجدول الدوريّ في هذا النموذج، كما هو موصوف هنا. يمكن تجميع المدارات وفقًا لمستوى الطاقة، ولكن نموذج القشرة هذا يختلف عن ذلك الموجود في كتب الفيزياء والكيمياء المتقدمة، والذي يرى أنّ القشرة هي مجموعة من المدارات، التي لها الرقم الكميّ الرّئيس نفسه.

تتعرض الإلكترونات الموجودة في المدارات الخارجية الأربعة للاتصال المباشر مع البيئة الخارجية، وهي أول من يتفاعل مع الذرّات الأخرى. ومن المعروف جيدًا أنها هي التي تشترك في الروابط الكيميائية، كما سيناقش في الفصل 15. ولهذا، فإنّ الإلكترونات في القشرة الأبعد مهمة جدًّا. تسمى **إلكترونات التكافؤ *(Valence Electrons)***، المصطلح تكافؤ مشتق من اللاتينية (Valentia) وتعني "الشدة" وتدل على القوة المتحدة للذرّة.

انظر جيدًا إلى الشّكل 30.12. هل ترى أنّ إلكترونات التكافؤ للذرّات من فوق وتحت بعضها (ضمن المجموعة نفسها) تكون متشابهة التنظيم. على سبيل المثال، ذرّات المجموعة الأولى وهي: الهيدروجين، والليثيوم، والصوديوم، لكلّ منها إلكترون تكافؤ واحد، في حين أنّ لذرّات كلّ من المجموعة الثانية: البريليوم، والماغنسيوم إلكتروني تكافؤ. وبالمثل، فإنّ الغلافَ الخارجي الأبعد لذرّات المجموعة الأخيرة: الهيليوم، والنيون، والأرجون معبأٌ بالكامل بإلكترونات التكافؤ، 2 للهيليوم، و8 لكلّ من النيون والأرجون. وعلى العموم، فإنّ إلكترونات التكافؤ للمجموعة نفسها في الجدول الدوريّ متشابهة التنظيم. وهذا يفسر سبب تشابه صفات عناصر المجموعة نفسها . وقد طُرح هذا المفهوم أولًا في الجزء 5.12.

لينوس بولنج

ما الشيء المشترك بين الشعراء والعلماء؟ كلاهما يستخدم المجاز لمساعدتنا على استيعاب المفاهيم المجردة والعلاقات. "القشرة" مثلًا، هي مصطلح مجازي يساعدنا على التصور الحقيقي غير المرئيّ، وما النماذج العلمية أساسًا إلا لغة مجازية تستخدم في الشِعْر.

■ نقطة فحص

هل حقيقة أنّ الذرّات تتكوّن من قشور تشبه تلك المصورة في الشّكل 29.12؟

هل كانت هذه إجابتك؟

نموذج القشرة ليس صورة "لمظهر الذرّة". والصحيح أنه نموذج مفاهيميّ يسمح لنا بتفسير السّلوك الملاحظ. وعليه، فالذرّة لا تتكوّن في الحقيقة من قشور متحدة المركز، بل تسلك كما لو كانت كذلك.

تذكر أنه لا يجب تفسير نموذج القشرة على أنه تمثيل حقيقي للتركيب الفيزيائيّ للذرّة. إنه يخدم كأداة لمساعدتنا على فهم سلوك الذرّات والتنبؤ به. وسنرى في الفصل 15 نسخة مبسطة لهذا النموذج لمعرفة كيفية اتحاد الذرّات معًا لتشكيل الجزئيات، والتي هي مجموعات ذرية مرتبطة معًا بقوة. وسوف نكتشف في الفصل الآتي تفاصيل أكثر عن نواة الذرّة، والتي تمثل مصدرًا محتملًا هائلًا للطاقة.

لمعلوماتك

■ وفق نظرية أينشتاين في نظرية النسبية الخاصة، عند سرعة 60% من سرعة الضّوء، تختبر إلكترونات الذهب الداخلية الأقرب للنواة 52 ثانية لكلّ دقيقة، بحسب توقيتنا. ويمكن أن يكون الزّمن لإلكترونات الماس غير متناهٍ. ولكن الإلكترونات الأكثر قربًا من النّواة في الذهب تتأخر 8 ثوانٍ لكلّ دقيقة!

ملخّص المصطلحات

نواة الذرّة Atomic nucleus: مركز كثيف موجب الشحنة لكل ذرّة.

الإلكترون Electron: جسيم صغير جدًّا، دون مجهري، مشحون بشحنة سالبة، موجود خارج نواة الذرّة.

العنصر Element: أيّ مادة تتكوّن من نوع واحد فقط من الذرّات.

الجدول الدوريّ Periodic table: رسم يضم العناصر المعروفة جميعها بترتيب وفق العدد الذّريّ.

الرّمز الذّريّ Atomic symbol: اختصار للعنصر أو الذرّة.

البروتون Proton: جسيم دون مجهري له شحنة موجبة في نواة الذرّة.

العدد الذّريّ Atomic number: مجموع عدد البروتونات في نواة الذرّة.

نيوترون Neutron: جسيم دون مجهري متعادل كهربائيًّا في نواة الذرّة.

النّويّة Nucleon: أيّ جسيم دون مجهري يوجد في نواة الذرّة. وهي اسم آخر لكلّ من البروتون والنيوترون.

النّظائر Isotopes: أيّ عضو في مجموعة الذرّات للعنصر نفسه والتي تحتوي أنويتها على العدد نفسه من البروتونات، ولكن باختلاف عدد النيوترونات.

الكتلة الذريّة Atomic mass: كتلة ذرّات العنصر الموجودة في قائمة الجدول الدوريّ بوصفها قيمة وسطية على أساس التوافر النسبي لنظائر العنصر.

الدّورة Period: السّطر الأفقيّ في الجدول الدّوريّ.

مجموعة Group: الصّفّ العموديّ في الجدول الدّوريّ، وتعرف بعناصر العائلة أيضًا.

نموذج مفاهيميّ Conceptual model: تمثيل للجسم على مقياس مناسب.

المطياف Spectroscope: جهاز يستخدم المنشور أو المحزز لفصل الضّوء إلى مكوناته.

الطيف الذّريّ Atomic spectrum: نمط ترددات الإشعاعات الكهرومغناطيسية المنبعثة من ذرّة العنصر، وتعدّ "بصمة" العنصر.

فرضية الكمّ Quantum hypothesis: أي أنّ طاقة الضّوء موجودة في رزم منفصلة تسمى كمّات.

الكمّ Quantum: رزمة صغيرة محددة من طاقة الضّوء.

العدد الكمّيّ الرّئيس Principal quantum number: عدد يحدد مستوى الطاقة المكمّى للمدار الذّريّ.

القشرة Shell: مجموعة من المدارات المتداخلة لها مستوى الطاقة نفسه؛ أي منطقة في الفضاء تكون نسبة وجود الإلكترونات المتماثلة في مستوى الطاقة في الذرّة 90%.

إلكترون التكافؤ Valence electron: الإلكترون الموجود في المدار الأخير من القشرة في الذرّة، والذي يشترك في الرابطة الكيميائية.

أسئلة مراجعة

1.12 الذرّات قديمة وفارغة

1. ما أقدم عنصر؟
2. هل يمكن رؤية الذرّة باستخدام الضّوء المرئيّ؟
3. ما مركز كلّ ذرّة؟

2.12 العناصر

4. كم نوعًا من الذرّات تتوقع رؤيته في عينة نقيّة لأيّ عنصر.
5. ما الفرق بين الذرّة والعنصر؟
6. ما الرّمز الذّريّ لعنصر الكوبالت؟

3.12 البروتونات والنيوترونات

7. ما الدور الذي يقوم به العدد الذّريّ في الجدول الدوريّ؟
8. ما الفرق بين العددين الذّريّ والكتليّ؟
9. ما الفرق بين عدد الكتلة والكتلة الذّريّة؟

4.12 الجدول الدوريّ

10. هل معظم العناصر فلزّيّة أم غير فلزّيّة؟
11. ما عدد الدّورات في الجدول الدوريّ؟ ما عدد المجموعات؟
12. ماذا يحدث لخصائص العناصر عبر أيّ دورة في الجدول الدوريّ؟

5.12 النماذج الفيزيائية والمفاهيمية

13. إذا كانت كرة القاعدة بحجم الأرض، فماذا يكون حجم الذرّة؟
14. عندما نستخدم المجهر الماسح، هل نرى الذرّة مباشرة أم غير مباشرة؟
15. ما الفرق بين النموذجين الفيزيائي والمفاهيمي؟

6.12 تشخيص الذرّات باستخدام المطياف

16. ما أثر المطياف في الضوء الآتي من الذرّة؟
17. ما الذي يجعل الذرّة تبثّ ضوءًا؟
18. لماذا نقول إنّ الطّيف الذّريّ كبصمة العنصر؟

7.12 الفرضيّة الكميّة

19. ما فرضية الكم لبلانك؟
20. أيهما له طاقة وضع أكبر؛ إلكترون قريب من نواة الذرّة، أم آخر بعيد عنها؟
21. هل فكّر بور في نموذجه الكواكبيّ على أنه تمثيل دقيق لما تكون عليه الذرّة؟

8.12 أمواج الإلكترون

22. مَنْ أول من اقترح أنّ للإلكترون خصائص الموجة؟
23. ما سرعة الإلكترون في الدوران حول نواة الذرّة؟
24. كيف تغير سرعة الإلكترون طبيعته الأساسية؟

9.12 نموذج القشرة

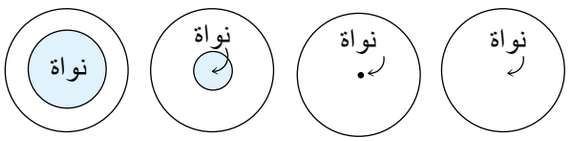
25. أيّ النموذجين يفسره الجدول الدوريّ: القشرة، أم الغلاف؟
26. ما الإلكترونات الأكثر مسؤولية عن خصائص الذرّة؟
27. ما العلاقة بين العدد الأقصى الذي يمكن أن تحتويه القشرة وعدد العناصر في كلّ دورة من الجدول الدوريّ؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● تتمشى قطة في خلفية بيتك. بعد ساعة استطاع كلب تتبعها بشمه الأرض. فسّر ما حدث من وجهة نظر جزيئية؟
2. ● إذا كانت جزيئات الجسم جميعها تبقى جزءًا منه، فهل تظهر للجسم أيّ رائحة؟
3. ■ ما منشأ الذرّات المكوّنة للطفل المولود حديثًا؟
4. ● ما مصدر ذرّات الكربون في شعر المؤلفة (التي تظهر في الصورة بعمر 16)؟

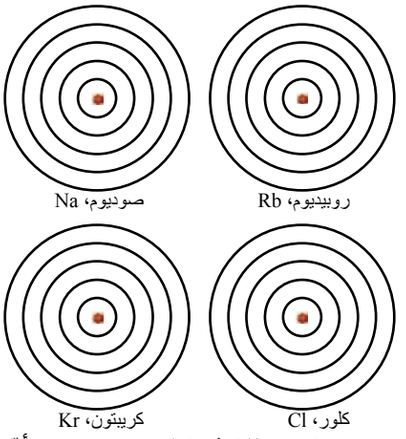
5. ■ بأيّ منطق تتحدث حين تدّعي صادقًا أنك جزء من كلّ شخص حولك؟
6. ● آخذا في الحسبان حجم الذرات الصغير، ما احتمالات أن تكون على الأقل أحد الذرّات التي تزفرها في أول تنفس لك هي آخر تنفس لك؟
7. ● هل صحيح أنّ رأس السياسي يكون فضاءً فارغًا بنسبة 99.9999999999%؟
8. ● إذا أخذ بروتونان ونيوترونان من نواة ذرّة الأكسجين -16، فما العنصر الناتج؟
9. ● تتكوّن ذرّة من 43 إلكترونًا، و56 نيوترونًا، و43 بروتونًا. ما الكتلة الذّريّة التقريبية لهذه الذرّة؟ ما اسم هذا العنصر؟
10. ● تحتوي نواة ذرّة الحديد المتعادلة كهربائيًّا على 26 بروتونًا. ما عدد الإلكترونات التي تحتويها هذه الذرّة؟
11. ● لم يأت الدليل على وجود النيوترونات إلا بعد عدة سنوات من اكتشاف الإلكترون والبروتون. علل ذلك.
12. ■ أيهما لديه ذرّات أكثر: 1 جم عينة من الكربون – 12 أم 1 جم عينة من الكربون – 13؟ لماذا؟
13. ■ لماذا تكون الكتل الذّريّة المثبتة في الجدول الدوريّ أعدادًا صحيحة غير كاملة؟
14. ● ما الذي يسهم أكثر في كتلة الذرّة: الإلكترونات أم البروتونات؟ أيهما يسهم أكثر في حجمها؟
15. ● ما الكتلة التقريبية لكتلة ذرّة أكسجين بوحدة الكتل الذّريّة؟ ما الكتلة التقريبية لذرتي أكسجين؟ ماذا عن كتلة جزيء الأكسجين؟
16. ● ما الكتلة التقريبية لذرّة الكربون بوحدة الكتل الذّريّة؟ ماذا عن كتلة جزيء ثاني أكسيد الكربون؟
17. ● ما الكتلة التقريبية لذرّة الهيدروجين بوحدة الكتل الذّريّة؟ ماذا عن كتلة جزيء الماء؟
18. ♦ عندما تتنفس، تستنشق الأكسجين وتزفر ثاني أكسيد الكربون، وبخار الماء. أيهما كتلته أكبر: الهواء الذي تستنشقه، أم الهواء الذي تزفره، عند تساوي الحجمين؟ هل يكسب التنفس وزنًا أم يفقده؟
19. ■ حين تقوم الشجرة بعملية البناء الضوئي تأخذ ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء من الهواء وتطلق الأكسجين. هل تفقد الشجرة أم تكتسب وزنا حينما تقوم بهذه العملية؟ فسر.
20. ● إنّ الذرّات التي يتكون منها جسدك هي في معظمها فضاء فارغ. كما أنّ التراكيب مثل الكرسي الذي تجلس عليه هو أيضًا مكوّن من ذرّات هي الأخرى في معظمها فراغ. فلِمَ إذن لا تسقط عن الكرسي؟
21. ● هل من المنطقي القول إنّ هذا الكتاب هو 99.9% فراغ؟
22. ■ أيّ الرسوم التالية يمثّل أفضل حجم نواة الذرّة بالنسبة إلى حجمها:



23. ● حزمتان، الأولى من البروتونات والأخرى من النيوترونات لهما الطاقة نفسها ضارتان بالأنسجة الحية، ولكن النيوترون هو الأقل ضررًا. فسّر السبب.
24. ■ كما هو موضح في الشّكل 19.12، هل حقًّا ذرّات الجاليوم حمراء وذرّات الزرنيخ خضراء؟
25. ■ بتكنولوجيا مجهر المجس الماسح، لا نرى الذرّات فعلًا، بل نرى صورًا لها. فسّر.
26. ■ لماذا لا نستطيع رؤية صور لداخل النواة بالمجهر الماسح نفسه؟
27. ● ما المشترك بين مركبات النموذج المفاهيميّ؟
28. ● أيّ النموذجين: الفيزيائيّ أم المفاهيمي تستعمل لوصف الآتي: عملة ذهبية، ورقة دولار، محرك سيارة، هواء ملوث، فيروس، انتشار مرض جنسي معدٍ ؟

29. ● ما دور النموذج الذّريّ؟
30. ● ما العلاقة بين الضَّوء المنبعث من ذرّة وطاقات الإلكترون في الذرّة؟
31. ● كيف يمكنك التمييز بين إنارة شارع ببخار - صوديوم وإنارة آخر ببخار - زئبق؟
32. ■ كيف يمكن لذرّة هيدروجين والتي لها إلكترون واحد أن تصنع العديد من خطوط الطيف؟
33. ■ أي ألوان الضَّوء يأتي من انتقال طاقة أكبر: الأحمر أم الأزرق؟
34. ♦ كيف يفسر نموذج الموجة للإلكترونات التي تدور حول النواة حقيقة أنّ للإلكترونات قيم طاقة محددة فقط؟
35. ■ ماذا يمكن أن يكون عليه طيف الذرّة لو لم تكن إلكترونات الذرّة مقيدة بمستويات طاقة محددة؟
36. ♦ تهتز بعض السيارات القديمة بصوت عالٍ عند سرعات معينة. فمثلًا، عند سرعة 65 ميلًا في الساعة، يكون صوت السيارة ناعمًا. ولكن عند سرعة 60 ميلًا في الساعة، فإنّ السيارة تُصدر صوتًا مزعجًا. كيف يقارن ذلك بمستويات الطاقة المكمية للإلكترون في الذرّة؟
37. ♦ هل يجب أن تحتوي القشرة على إلكترونات حتى تكون موجودة؟

38. ■ ضع العدد المناسب من الإلكترونات في كلّ غلاف:



39. ■ استخدم نموذج القشرة لتفسير سبب أنّ ذرّة البوتاسيوم K أكبر من ذرّة الصوديوم Na.
40. ■ استخدم نموذج القشرة لتفسير سبب أنّ ذرّة الليثيوم L أكبر من ذرّة البريليوم Be.

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ■ كتلة نظير الليثيوم -7 هي 7.0160 و.ك.ذ. ونظير الليثيوم -6 كتلته 6.0151 و.ك.ذ. إذا علمت أنّ 92.58% من ذرّات الليثيوم الموجود في الطبيعة هي ليثيوم -7، و 7.42% هي ليثيوم -6، فبين أنّ الكتلة الذّريّة لليثيوم هي 6.941 و.ك.ذ.

2. ■ لعنصر البروم، Br (العدد الذّريّ 35) نظيران رئيسان متشابها الوجود، كل منهما نحو الـ 50%. الكتلة الذّريّة المسجلة للبروم في الجدول الدوريّ هي 79.904 و.ك.ذ. اختر إحدى المجموعات الأكثر احتمالًا لأعداد الكتلة لنظيري البروم: (أ) $^{81}Br, ^{80}Br$ ، (ب) $^{79}Br,$ ^{80}Br، (جـ) $^{81}Br, ^{79}Br$.

أنشطة استكشافية

1. اشترِ نظارات "ملونة" من محل ألعاب. إنّ عدسات هذه النظارات هي محززات حيود. وبالنظر من خلال هذه العدسات، سترى الألوان المكوّنة للضوء. بعض مصادر الضَّوء المعينة مثل القمر وضوء السيارة الأمامي، ينفصل إلى طيف مستمر؛ أي أنّ ألوان قوس المطر جميعها تظهر بترتيب مستمر من الأحمر إلى البنفسجي. ولكن بعض مصادر الضَّوء الأخرى تبعث عددًا مميزًا من الألوان المتقطعة. تتضمن الأمثلة إضاءة الشوارع، وإشارات النيون، والألعاب النارية. إن الأنماط الطيفية التي تراها من مصادر هذه الأضواء هي أطياف ذرية لعناصر سُخنت بمصادر الضَّوء. يمكن رؤية الأنماط بشكل أفضل عندما تكون على بعد 50 مترًا على الأقل من مصدر الضَّوء. عند هذه المسافة، يظهر الطّيف على شكل سلسلة نقاط تشبه سلسلة الخيوط المبينة في الشّكل 23.12.
2. شدّ مطاطة بين إبهاميك، ثم انقرها في مكان ما. لاحظ أنه بغض النظر عن المنطقة التي تنقر بها عليها، فإنّ أكبر اهتزاز يكون دائمًا في منطقة الوسط. تكون هذه موجة معززة ذاتيًّا، وتحدث من تداخل الأمواج الذاهبة والراجعة من الإبهام إلى الآخر.
يصعب تحت إنارة الضَّوء العادي أن نرى الأمواج ذاهبة وراجعة. ولرؤية منظر أفضل: انقر المطاطة أمام شاشة حاسوب أو شاشة تلفاز تستخدم أنبوب المهبط (النوع القديم غير المستوي). فهذا يجعل الضَّوء من هذه الأجهزة والذي يسلك سلوك ستروبوسكوب للضوء، الأمواجَ تظهر بطيئة.
3. يمكنك "تكمية" صفيرك بالتصفير عبر أنبوب، كأنبوب من ورق اللف. أولًا، صفر ابتداء من النغمة العالية إلى النغمة المنخفضة دون الأنبوب. صفِّر بِنَفَس واحد وبأعلى ما تستطيع، ثم جرّب الشيء نفسه والأنبوب على شفتيك. لاحظ أنّ بعض الترددات لا تخرج مهما حاولت؛ لأنّ هذه الترددات غير مسموح بها بسبب أنّ أطوالها الموجية ليست من مضاعفات طول الأنبوب.

جرب استخدام أنابيب لها أطوال مختلفة. لسماع الصفير بوضوح أكثر؛ استخدم أنبوبًا من البلاستيك المرن. واثنِ طرفه الخارجي نحو أذنك. عند حصر صافرتك في الأنبوب. تكون النتيجة تكمية لترددتها. ولكن عندما تنحصر موجة إلكترون في ذرّة فإنّ النتيجة هي تكمية لطاقته.

لا يمكن للناس الذين يراقبونك تمارس هذا النشاط. أن يصدقوا أن الخطوات المسموعة لصفيرك عبر الأنبوب غير مقصودة. فسر لهم التكمية قبل أن يحاولوا تجريب هذا النشاط.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا. فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك. فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصل الآتي.

اختر الإجابة المناسبة لكلّ ما يلي:

1. أيهما أطول عمرًا؛ الذرّات: في جسم كهل. أم تلك التي في جسم طفل؟
أ. ذرّات الطفل أكبر؛ لأنّ هذا السؤال مخادع بالتأكيد.
ب. ذرّات الكهل؛ لأنّ الشخص موجود منذ فترة أطول.
ج. للذرّات العمر نفسه في الحالتين. والتي هي أقدم كثيرًا من النظام الشّمسيّ.
د. يعتمد على غذاءيهما.

2. يمكنك ابتلاع كبسولة من الجرمانيوم Ge (العدد الذّريّ 32). دون آثار مرضية ملموسة. ولكن إذا أضيف بروتون لكلّ نواة جرمانيوم. فلا تبتلع الكبسولة لأنّ الجرمانيوم:
أ. يصبح زرنيخًا.
ب. يصبح مشعًّا.
ج. يتمدد. وعلى الأغلب يسكن في الحنجرة.
د. وتتغير نكهته.

3. إذا كان حجم الذرّة مساويًا لحجم كرة القاعدة. فإنّ نواتها تكون بحجم:
أ. جوزة. ب. حبة زبيب.
ج. برغوث. د. ذرّة.

4. لماذا لا تكون الكتل الذّريّة المثبتة في الجدول الدوريّ أرقامًا صحيحة؟
أ. على العلماء أن يقوموا بقياسات دقيقة.
ب. إنها مجرد مصادفة.
ج. الكتل الذّريّة هي متوسط كتل ذرية.
د. تستطيع الأدوات اليوم قياس الكتل الذّريّة إلى عدة أرقام معنوية.

5. يوجد عنصر ما في مجرة أخرى بنظيرين إذا كان 80% من ذرّاته لها كتلة ذرية 80 و.ك.ذ. 20% المتبقية لها كتلة ذرية 82 و.ك.ذ. إذن. فالكتلة الذّريّة للعنصر بوحدة د.ك.ذ هي:
أ. 80.4
ب. 81.0
ج. 81.6
د. 64.0
هـ. 16.4

6. رتب الذرّات التالية وفق الحجم الذّريّ: الثاليوم Tl. الجرمانيوم. Ge. القصدير Sn الفوسفور P.
أ- Ge < P < Sn <Tl
ب. Tl < Sn <P <Ge
ج. Tl < Sn <Ge<P
د. P < Ge < Sn<Te

7. أيّ النموذجين؛ الفيزيائي أم المفاهيمي تستخدم لوصف الآتي: المخّ. العقل. النظام الشّمسيّ. بداية الكون؟
أ. مفاهيميّ. فيزيائيّ. مفاهيميّ. فيزيائيّ.
ب. مفاهيميّ. مفاهيميّ. مفاهيميّ. مفاهيميّ
ج. فيزيائيّ. مفاهيميّ. فيزيائيّ. مفاهيميّ.
د. فيزيائيّ. فيزيائيّ. فيزيائيّ. فيزيائيّ.

8. كيف يفسّر النموذج الموجي للإلكترونات التي تدور حول النّواة حقيقة أنّ للإلكترونات قيمًا محددة من الطاقة فقط.
أ. يمكن أن تهتز الإلكترونات بترددات معينة فقط.
ب. عندما تحصر موجة الإلكترون فإنها تعزز فقط عند ترددات معينة.
ج. تظهر قيم طاقة للإلكترونات عندما تكون لموجته سعة عظمى.
د. يفسر نموذج موجة القشرة الذي يوجد فيه الإلكترون وليس مستويات الطاقة له.

9. كيف يمكن لذرّة الهيدروجين. والتي لها إلكترون واحدة فقط. أن يكون لها العديد من الخطوط الطيفية؟
أ. يمكن أن يتحرك الإلكترون بسرعات متعددة.
ب. تطلق البروتونات في النّواة أيضا عدة ترددات ضوئيّة.
ج. يمكن أن يدفع الإلكترون إلى عدة مستويات مختلفة من الطاقة.
د. إنّ نصف القطر الذّريّ لذرّة الهيدروجين كبير نسبيّا.

10. عدد الإلكترونات في القشرة الثالثة للصوديوم Na (العدد الذّريّ 11) هو:
أ. لا شيء.
ب. 1.
ج. 2.
د. 3.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

١-ج، ٢-إ، ٣-ج، ٤-د، ٥-إ، ٦-ج، ٧-د، ٨-ب، ٩-ج، ١٠-ب

استكشف المزيد

http://particleadventure.org
جولة تفاعلية حائزة على العديد من الجوائز حول الكواركات، والنيوترينوز، والمادة المضادة، والأبعاد الإضافية، والمادة المعتمة، والمسرعات، وأكثر من ذلك بكثير.

http://www.astro.uiuc.edu/~kaler/sow/spectra.html
صفحة على شبكة الانترنت مفصلة للتعلم حول أنماط أطياف النجوم وكيف تستخدم في دراسة الكون.

http://www.superstringtheory.com
إذا كنت تعتقد أن طبيعة موجة الالكترون غريبة وشاذة، استكشف هذا الموقع للمزيد من المعلومات والمراجع حول النظرية الثورية المحتملة التي تقول أن الدقائق المادية، والقوى، والفضاء، والوقت ما هي إلا مظاهر لخيوط متناهية في الصغر توجد في إحدى عشر بعداً.

http://www.nano.org.uk
الصفحة الرئيسة لعهد تقنية النانو، التي تتلخص رسالته في تنظيم الأحداث العلمية العالمية، والمؤتمرات، والمساقات التعليمية المصممة لتشجيع الأكاديميين، والشركات، و الاهتمامات الحكومية في تقنية النانو.

http://www.nano.gov
الصفحة الرئيسة لحكومة الولايات المتحدة الأمريكية برعاية مبادرة تقنية النانو الوطنية.

http://www.foresight.org
الصفحة الرئيسة لمعهد الاستبصار، وهو منظمة غير ربحية مكرسة لمساعدة المجتمع للاستعداد للتقانيات النانوية المتوقعة.

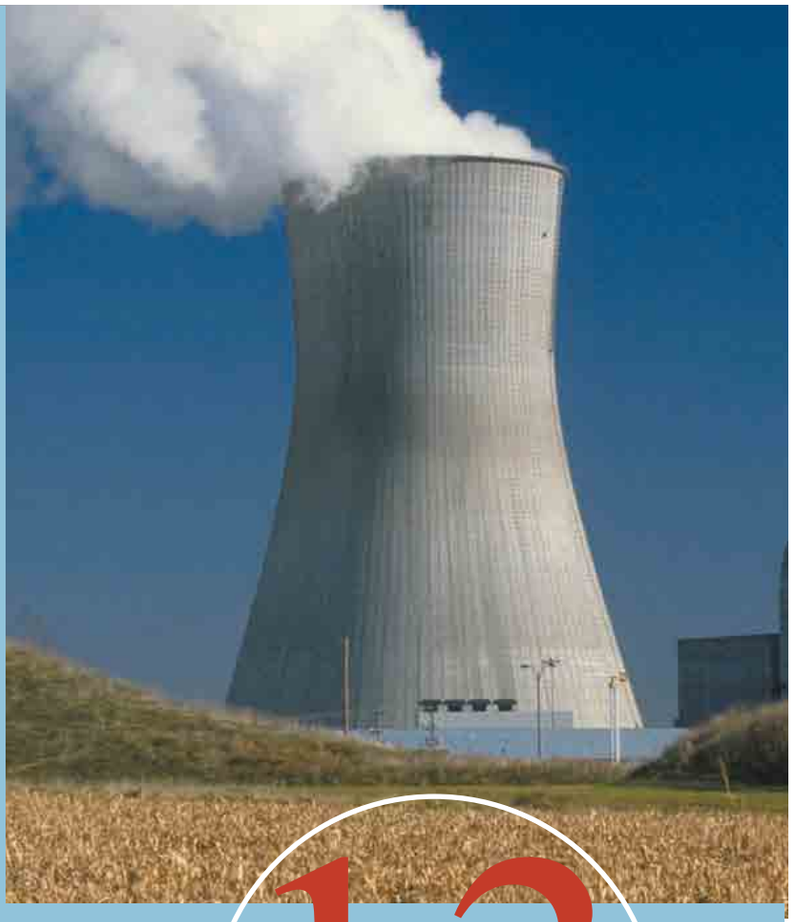
الفصل 12 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية
- 12.22

دروس تعليمية
- التركيب الذري
- الذرات والنظائر
- نموذج مدارات بور

أشرطة فيديو
- دلائل على وجود الذرات
- الذرات قابلة للتدوير
- موجات الإلكترون

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط



النّواة الذّريّة والنّشاط الإشعاعيّ

13

1.13 النّشاط الإشعاعيّ

2.13 النّواة الذّريّة والقوّة النّوويّة القوية

3.13 عمر النصف و التّحوّل

4.13 التّأريخ بالقياس الإشعاعيّ

5.13 الانشطار النّوويّ

6.13 تكافؤ الكتلة والطاقة: $E=mc^2$

7.13 الاندماج النّوويّ

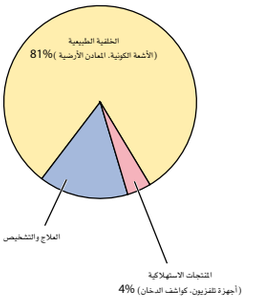
■ تعدّ نواة الذّرّة وعملياتها من أكثر مواضيع العلوم التي أسيء فهمها. إنّ عدم الثقة في أيّ شيء *نووي*، أو أيّ شيء *نشط إشعاعيًّا*، يشبه الخوف من الكهرباء قبل قرن، والذي كان يعزى إلى الجهل. في الحقيقة، قد تكون الكهرباء خطرة، وربما قاتلة إنْ لم تستخدم بحذر. ولكن بأنظمة أمان ملائمة ومستهلكين واعين، فقد قرر المجتمع أنّ منافع الكهرباء تفوق مخاطرها. أمّا اليوم، فقد توصلنا إلى قرار مشابه لمخاطر التكنولوجيا النّوويّة وفوائدها. يجب أن نتخذ القرارات وفق فهم مناسب لنواة الذّرّة وعملياتها الداخلية.

1.13 النّشاط الإشعاعيّ

تسمّى العناصرُ ذات الأنوية غير المستقرة *نشطةً إشعاعيًّا*. وتنقسم هذه العناصر في النهاية مطلقة جسيمات عالية الطّاقة، كما تبثّ إشعاعات كهرومغناطيسية عالية التّردّد. وتسمّى هذه العملية **النّشاط الإشعاعيّ**؛ لأنها تتضمن انحلال نواة الذّرّة. لذا، فعلى الأغلب تسميتها *الانحلال الإشعاعيّ*.

من الأخطاء الشّائعة أنّ النّشاط الإشعاعيّ حديث على البيئة، ولكنه موجود قبل وجود الجنس البشري بكثير. ومن المدهش أنه كلما ذهبت في العمق تحت سطح الأرض، زادت السخونة. فعند عمق 30 كم تبلغ درجة الحرارة أكثر من 500° س. وعند عمق أكبر، تزداد السخونة بحيث تنصهر الصخور إلى صهارة تتسرب إلى سطح الأرض على شكل حمم. يندفع الماء السّاخن جدًّا من تحت الأرض بشدة ليشكّل حِمامًا، أو أنّه ينبعث بلطف مشكلًا الينابيع الطّبيعيّة الحارة. إنّ السبب الرئيس للسخونة في العمق هو احتواء الأرض على وفرة من النظائر المشعة، وتسخن عند امتصاصها إشعاعات من هذه النظائر. وهكذا، فإنّ البراكين، والحِمام، والينابيع الحارة جميعها تأخذ الطاقة من النّشاط الإشعاعيّ. حتى انزياح القارات (انظر الفصل 22) هي من نتائج النّشاط الإشعاعيّ. إذن فالنّشاط الإشعاعيّ طبيعيّ مثل شروق الشّمس ونزول المطر.

لقد كان النّشاط الإشعاعيّ حولنا من بداية الأرض.



الشّكل 1.13
مصادر التعرض للإشعاع للإنسان العادي في الولايات المتحدة.

أشعة؛ ألفا، وبيتا، وجاما

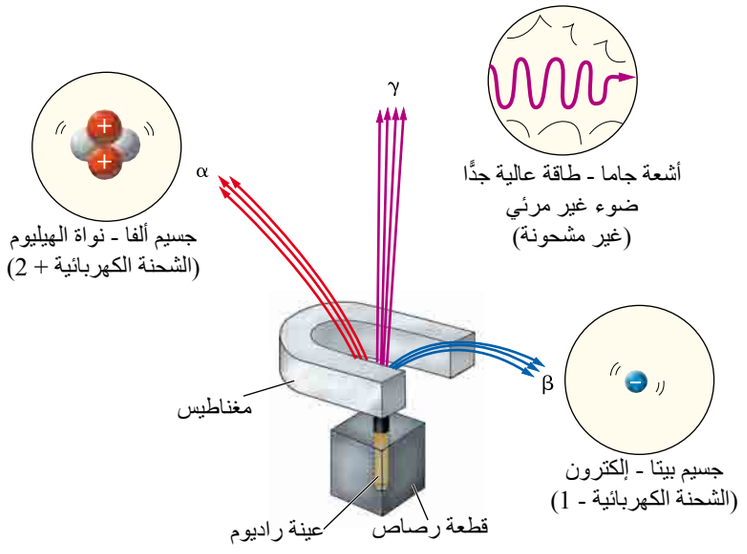
إنّ العناصر التي عددها الذري أكبر من 82 (الرّصاص) جميعها نشطة إشعاعيًّا. تطلق هذه العناصر وغيرها ثلاثة أنواع متميزة من الإشعاعات، تسمى بالأحرف الثلاثة من الأبجدية اليونانية، α (*alpha*) ألفا، وβ (*beta*) بيتا، وγ (*gamma*) جاما. تحمل أشعة ألفا شحنة كهربائية موجبة، في حين تحمل أشعة بيتا شحنة سالبة، أمّا أشعة جاما فلا تحمل شحنة كهربائية. ويمكن فصل الإشعاعات الثلاثة بوضع مجال مغناطيسي متعامد على مسارها. (الشّكل 2.13).

تتكوّن أشعة **ألفا** من اتحاد بروتونين ونيوترونين؛ أي أنّها نواة ذرة هيليوم، ذات العدد الذري 2. تحجب أشعة ألفا بسهولة نسبيًا بسبب كبر حجمها النسبي وشحنتها المزدوجة (+2). على سبيل المثال، لا يمكنها اختراق مواد خفيفة مثل قصاصة ورق أو قطعة قماش. ولكن، بسبب طاقتها الحركية الكبيرة، تسبب جسيمات ألفا ضررا بالغًا لسطوح المواد، وخصوصًا الأنسجة الحية. تنتقل عدة سنتمترات في الهواء، وتلتقط جسيمات ألفا إلكترونات، وتصبح مجرد ذرات هيليوم غير مؤذية. وفي الحقيقة، من هنا يأتي الهيليوم في بالونات الأطفال. وعمليًا، فإنّ ذرات الهيليوم الأرضية جميعها كانت في لحظة ما جسيمات ألفا عالية الطّاقة.

ينقى هذا الهيليوم، ويباع في الأسواق لأغراض متعددة، كاستخدامها في المناطيد الصغيرة والبالونات. ومن المثير أنّ حقول الغاز في الولايات المتحدة تحتوي على ثلثي احتياطي العالم من الهيليوم.

لمعلوماتك

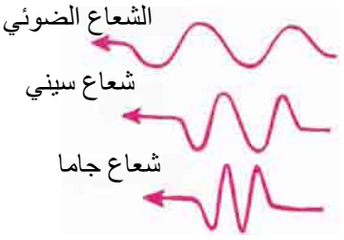
■ في اللحظة التي تتباطأ فيها جسيمات ألفا وبيتا، فإنهما يتحدان لتكوين الهيليوم غير الضار. وهذا يحدث أساسًا في أعماق الأرض. عند تشكيل الهيليوم الجديد فإنه يتسرب إلى السّطح ويصبح مركزًا في خزانات الغاز الطّبيعيّ. تحتوي بعض خزانات الغاز الطّبيعيّ كالتي في تكساس على 7% هيليوم. ينقى هذا الهيليوم ويباع في الأسواق لأغراض متعددة، كاستخدامها في المناطيد الصغيرة والبالونات. ومن المثير أنّ حقول الغاز في الولايات المتحدة تحتوي على ثلثي احتياطي العالم من الهيليوم.



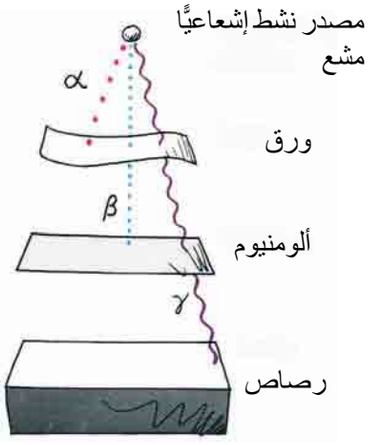
الشّكل 2.13
في المجال المغناطيسي، تنحني أشعة ألفا نحو اتجاه، في حين تنحني أشعة بيتا نحو الاتجاه الآخر، أمّا أشعة جاما فلا تنحني أبدًا. لاحظ أنّ انحناء أشعة ألفا أقلّ من انحناء أشعة بيتا. وهذا يعزى إلى أنّ القصور الذاتي (الكتلة) لأشعة ألفا أكبر من القصور الذاتي لأشعة بيتا.

إنّ **جسيم بيتا** هو إلكترون مقذوف من النّواة. وعند قذفه، لا يتميز عن الإلكترون في المهبط، أو الذي في الدارة الكهربائية، ولا عن الذي يدور حول نواة الذرّة كذلك. يكمن الفرق في أنّ جسيم بيتا ينشأ عن داخل النّواة؛ أي من النيوترون. وكما سنرى قريبًا، يصبح النيوترون بروتونًا لحظة فقدانه إلكترونًا، وهو جسيم بيتا. وفي العادة، يكون جسيم بيتا أسرع من جسيم ألفا، ويحمل شحنة سالبة (-1). إنّ إيقاف جسيمات بيتا أصعب من إيقاف جسيمات ألفا، وتستطيع جسيمات بيتا اختراق المواد الخفيفة كالورق والقماش. وهي تخترق عميقًا حتى الجلد، حيث تستطيع إيذاء الخلايا الحية وقتلها. ولكنها غير قادرة على الاختراق عميقًا في المواد الكثيفة مثل الألومنيوم. عندما توقف جسيمات بيتا، تصبح جزءًا من المادة التي أوقفتها، مثل أي إلكترون.

أشعة جاما هي إشعاعات كهرومغناطيسية عالية التردد تنبعث من العناصر المشعة. وكالضّوء المرئي، فإنّ أشعة جاما كلّها طاقة. ولكن كمية الطّاقة التي تحملها أشعة جاما أكبر من تلك التي يحملها الضّوء المرئي، أو الضوء فوق البنفسجي، أو حتى الأشعة السينية. وبسبب انعدام الكتلة، والشحنة الكهربائية، وكذلك بسبب طاقاتها العالية، فإنّ أشعة جاما تخترق معظم المواد. ولكنها لا تستطيع اختراق المواد الكثيفة جدًّا كالرّصاص، والذي يمتصها. تتعرض الجزيئات الهشة داخل الخلايا في أجسامنا إلى ضرر بنيوي حين تعرضها إلى أشعة جاما. وعليه، فإنّ أشعة جاما أكثر ضررًا لنا من جسيمات ألفا أو بيتا (إلا إذا دخلت جسيمات ألفا أو بيتا الجسم).



الشّكل 3.13
شعاع جاما هو ببساطة إشعاع مغناطيسي، أعلى في التردد والطّاقة من الإشعاعات السّينيّة.



الشّكل 4.13
شكل تفاعلي: جسيمات ألفا هي الأقل قدرة على الاختراق، ويمكن إيقافها بعدة صفحات من الورق. أمّا جسيمات بيتا فيمكنها اختراق الورق بسهولة، ولكنها لا تخترق صفحة من الألومنيوم. في حين تخترق أشعة جاما عدة سنتمترات من الرصاص الصلب.

■ **نقطة فحص**

افترض أنك أعطيت ثلاث صخور مشعة: الأولى تبعث ألفا، والثانية تبعث بيتا، في حين تبعث الثالثة جاما. ويسمح لك برمي إحداها بعيدًا. أما الاثنتان الباقيتان فعليك أن تضع إحداهما في يدك والأخرى في جيبك. ماذا تفعل حتى تقلل من تعرضك للإشعاع؟

هل كانت هذه إجابتك؟

أمسك باعث ألفا بين يديّ؛ لأن جلديهما يحميني. وأضع بيتا في جيبي؛ لأن جسيمات بيتا ستوقف من مجموع سمك الجلد والقماش. في حين أرمي باعث جاما بعيدًا لأن أشعتها تستطيع اختراق جسمي من أيّ من الموضعين. والأفضل من ذلك كلّه الابتعاد قدر الإمكان عن هذه الصخور جميعها.

تحتوي الصخور المألوفة والمعادن في بيئتنا على كميات كبيرة من النظائر المشعة، لأنّ معظمها يحتوي على كميات شحيحة من اليورانيوم. إن الأفراد الذين يقطنون في مبان من القرميد، أو الأسمنت، أو الحجر يتعرضون لكميات أكبر من الإشعاع أكثر من الذين يقطنون في بيوت خشبية.

الشّكل 5.13
يزداد عمر الفراولة وغيرها من الأشياء التي تفسد بشكل مذهل عند تعرضها لأشعة جاما من مصدر مشع. لقد تم معالجة الفراولة (إلى اليمين) بإشعاع جاما، والتي قتلت الكائنات الحية الميكروووية التي غالبًا ما تؤدي إلى التلف. يستقبل الغذاء الإشعاع فقط، ولا يتحوّل إلى باعث للإشعاع، كما يمكن التأكد من ذلك بالكاشف.

إنّ المصدر الأساس لحدوث الإشعاعات الطّبيعيّة هو الرادون (Rn-222)، وهو غاز خامل من مخلفات اليورانيوم. الرادون غاز ثقيل يميل إلى التجمع في القشرة الأرضية بعد تسربه من خلال الشقوق في الأدوار الأرضية. يختلف مستوى الرادون من منطقة إلى أخرى، معتمدًا على جيولوجيا المنطقة. ويمكنك قياس مستوى الرادون في بيتك باستخدام أدوات كاشف الرادون، الشّكل (6.13). إذا كان المستوى عاليًا بشكل غير طبيعيّ، فيجب اتخاذ إجراءات عدة لتصويب هذا الوضع، مثل إحكام إغلاق الشقوق (تبطين الأرضية) والجدران، كما ينصح بإدامة التهوية المناسبة.

يأتي نحو ($\frac{1}{5}$) ما نتعرض له من إشعاع سنوي عن طريق مصادر غير طبيعية، وبخاصة الإجراءات الطبية. وأجهزة التلفاز، أو ما يتسرب من التجارب النّوويّة، والفحم، وصناعة المحطات النّوويّة. وتفوق صناعةُ الفحم صناعةَ المحطات النّوويّة في إصدار الإشعاع. يطلق استهلاك الفحم العالمي سنويًّا 13000 طن تقريبًا من الثوريوم المشع واليورانيوم في الغلاف الجوي. لقد وجد كلا الفلزين في مخلفات الفحم، ولهذا، فإن انبعاثهما هو نتيجة طبيعية لحرق الفحم. وفي أنحاء العالم كلّه، تولد صناعة المحطات النّوويّة نحو 10,000 طن من المخلفات الإشعاعيّة سنويًّا. إنّ معظم هذه المخلفات تخزن ولا تطلق في المحيط.

الشّكل 6.13

تتوافر مجموعة أدوات قياس الرادون في البيوت بشكل تجاري. تفتح علبة قناع الغاز في المنطقة المراد قياس الرادون فيها. ينز الرادون إلى العلبة ويمتص بالكربون المنشط في داخلها. وبعد عدة أيام، تقفل العلبة مرة أخرى وترسل إلى المختبر لتحديد مستوى الرادون، وذلك بقياس الإشعاع المنبعث من الرادون الممتص.

الجرعة الإشعاعيّة

تقاس الجرعة الإشعاعيّة عادة *بالراد* (*radiation absorbed dose*) وهي وحدة الطّاقة الممتصة. يساوي **الراد** الواحد 0.01 جول من الطّاقة الإشعاعيّة الممتصة لكل كيلوجرام من الجسم.

إن مقدرة الإشعاعات النّوويّة على إحداث ضرر لا تعتمد فقط على مستوى طاقتها، بل إنّ بعض الإشعاعات أكثر إيذاءً من غيرها. على سبيل المثال، افترض أنّ لديك سهمين؛ أحدهما ذو رأس مدبب، والآخر رأسه على شكل كأس. أطلق السهمان على تفاحة بالسرعة نفسها، وافترض أنّ لهما الطّاقة الحركية نفسها. إنّ السهم ذا الرأس المدبب يحدث دائمًا ضررًا للتفاحة أكثر من السهم الذي رأسه على شكل كأس. وبالمثل، فإنّ بعض أشكال الإشعاعات تحدث ضررًا أكبر من الأشكال الأخرى، حتى عندما تتساوى في عدد الرادات (جمع راد) لكلا الشّكلين.

إن وحدة قياس الجرعة الإشعاعيّة بناءً على الضرر الذي تحدثه هي **الرم** (المكافئ البشري للراد) (*roentgen equivalent man*) (*Rem*)*. ولحساب الجرعة بالرم، نضرب عدد الرادات في العامل الذي يقابل مقدار الآثار الصحية المختلفة الذي تحدثه الإشعاعات المختلفة، والتي تحدده الدراسات الإكلينيكية السريرية. على سبيل المثال، 1 راد من جسيمات ألفا لها الأثر البيولوجي نفسه لِـ 10 رادات من جسيمات بيتا**. نعطي كلا الجرعتين 10 رمات (جمع رم).

جسيم	الجرعة الإشعاعيّة		العامل		الأثر الصحي
ألفا	1 راد	×	10	=	10 رم
بيتا	10 راد	×	1	=	10 رم

لمعلوماتك

هل تفضل أن تتعرض لراد واحد من جسيمات ألفا أم لراد واحد من جسيمات بيتا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

اضرب هذه الكميات من الإشعاع في العامل المناسب للحصول على الجرعة بالرم. ألفا: 1 راد × 10 = 10 رم، بيتا: 1 راد × 1 = 1 رم. تبين لنا العوامل، بلغة علم التشريح، أنّ جسيمات ألفا تضر 10 مرات أكثر من جسيمات بيتا.

* سميت هذه الوحدة باسم مكتشف الأشعة السينية وليام روتنجن Williem Roentgen تكريمًا له.

** هذا صحيح حتى مع أنّ جسيمات بيتا لها قدرة اختراق أعلى، كما نوقش سابقًا.

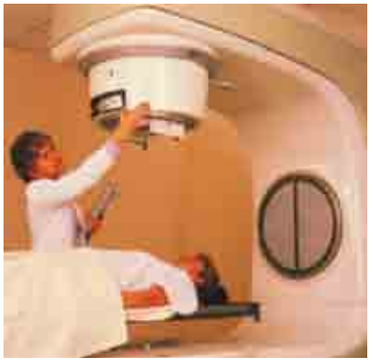
تبدأ الإشعاعات المميتة عند 500 رم. إذا تعرض شخص لجرعة إشعاعية بهذه القيمة في فترة زمنية قصيرة فإن فرصته في الحياه هي 50%. وخلال العلاج الإشعاعيّ يتعرض المريض لجرعات موضعية يومية بمقدار 200 رم خلال أسبوعين (الشّكل 7.13).

إنّ الإشعاعات جميعها التي نتعرض لها من المصادر الطبيعية أو من الإجراءات الطبية هي أجزاء من الرم فقط. للتسهيل، نستخدم الوحدة الأصغر ملرم (*millirem*)، حيث 1 ملرم يساوي 1/10000 رم.

يتعرض الإنسان العادي في الولايات المتحدة لنحو 360 ملرم سنويًّا. كما يشير الجدول 1.13. وهناك نحو 80% من الإشعاعات تأتي من مصادر طبيعية، مثل الأشعة الكونية، والأرض نفسها. في نموذج تصوير المصدر بالأشعة السينية، يتعرض الشخص لـ 5 - 30 ملرم (0.005 - 0.03 رم)، أقل من 1/10000 من الجرعة المميتة. ومن المدهش أنّ جسم الإنسان هو مصدر كبير للإشعاعات الطّبيعيّة، وبشكل رئيس من البوتاسيوم الذي نأخذه. يحتوي جسمنا على 200 جم تقريبًا من البوتاسيوم. من هذه الكمية، 20 ملجم هو نظير البوتاسيوم–40 المشع، والذي يطلق أشعة جاما. ويحدث ما معدله نحو 5000 انحلال إشعاعي آني لنظير البوتاسيوم–40 بين كل نبضة قلب في جسم الإنسان. وفي الحقيقة، فإنّ الإشعاع موجود في كل مكان.

عندما يصطدم الإشعاع بجزيئات مائية معقدة وذات بناء محدد، كالمحلول الغني بالأيونات الذي يكوّن خلايانا، تخلق الإشعاعات شواش (chaos) على المستوى الذري. تتحطم بعض المركبات، وهذا التغير يبدل جزيئات أخرى، والتي قد تكون ضارة لعمليات الحياة.

تستطيع الخلايا ترميم معظم أنواع الضرر الذي تتعرض له الجزيئات إذا لم يكن الإشعاع قويًّا. وتستطيع الخلية البقاء حية إذا تعرضت لجرعة إشعاعية ميتة، وإذا توزعت هذه الجرعة على فترات زمنية طويلة. فعندئذٍ هناك فرصة للشفاء. وعندما يكون الإشعاع كافيًا لقتل الخلايا، تستبدل الخلايا الميتة بخلايا جديدة. وفي بعض الأحيان، تستطيع الخلية المعرَّضة للإشعاع البقاء حتى بجزيء الـ د.ن.ا. (DNA). تحتفظ الخلايا الجديدة الناشئة عن الخلايا المحطمة بالمعلومات الوراثية المعدلة، منتجة ما يعرف بالتّحوّل (mutation). وفي العادة يكون أثر التّحوّلات غير مهم، ولكن في بعض الأحيان تنتج عن هذه التّحوّلات خلايا لا تعمل كما تعمل الخلايا الأصلية، وأحيانا أخرى تؤدي إلى السرطان. إذا تحطم الـ د.ن.ا. (DNA) للخلايا التناسلية لفرد فإن الشفرة الوراثية لنسل ذلك الفرد يمكن أن تحفظ الطفرة.



الشكل 7.13

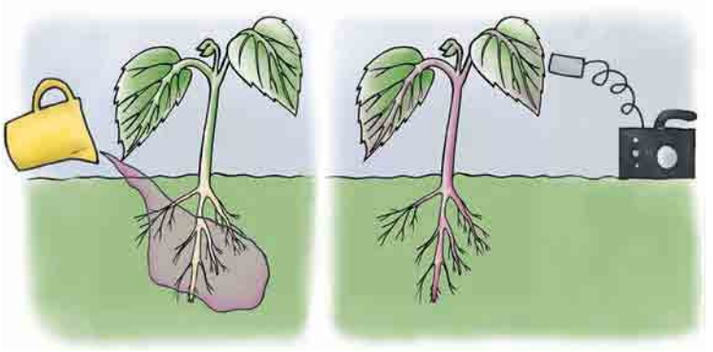
يسلط الإشعاع النّوويّ على الأنسجة المتضررة، مثل الورم السرطاني، وذلك للقتل الانتقائي، أو اضمحلال الأنسجة من خلال طريقة تعرف بالعلاج الإشعاعيّ. لقد أنقذ العلاج بالإشعاع النّوويّ حياة الملايين – وهذا مثال تام الوضوح على فوائد التكنولوجيا النّوويّة. توضح الصورة المدرجة الرمز الدولي الذي يشير إلى المنطقة التي يتم فيها إنتاج أو استعمال المواد المشعة.

الجدول 1.13 التعرض للإشعاع السنوي

زمن السّقوط ثانية	الجرعة النموذجية المتلقاة سنويًّا (بالملرم)
المنشأ الطّبيعيّ	
الأشعة الكونية	26
الأرض	33
الهواء (الرادون(Rn-222))	198
الأنسجة البشرية (K-40, Ra-226)	35
المنشأ البشري	
إجراءات المعالجات الطّبيعيّة	
التشخيص بالأشعة السينية	40
الطب النّوويّ	15
أجهزة التلفاز، بعض المنتجات الاستهلاكية	11
تسرب نتيجة تجارب الأسلحة	1
محطات قوى الفحم - الأحفورية التجارية	1>
محطات القوى النّوويّة التجارية	1>>

الشكل 8.13

إن إشارة الفيلم التي يستعملها هذان الشخصان تعطي تحذيرات مسموعة في حالة تدفق الإشعاع وتراكم الإشعاع. تفرغ المعلومات من هذه الشارات الفردية دوريًّا إلى قواعد بيانات وتحلل وتخزن.



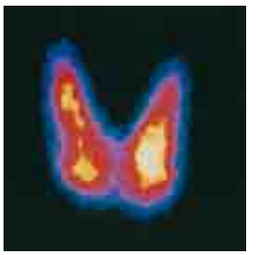
الشكل 9.13
تعقب امتصاص السماد عن طريق النظير المشع.

بدون القوة النّوويّة القوية – التفاعل القوي – لا توجد ذرات أكبر من الهيدروجين.

المقتفيات المشعة (Radioactive Tracers)

تم تحضير عينات مشعة للعناصر جميعها في المختبرات العلمية. لقد تم إنجاز ذلك بقصفها بالنيوترونات أو جسيمات أخرى. إنّ المواد المشعة مفيدة جدًّا في البحث العلمي والصناعة. ولفحص مفعول سماد، على سبيل المثال، يخلط الباحثون كمية قليلة من المواد المشعة مع السماد ثم يعطى الخليط لعدة نباتات. يمكن قياس كمية السماد المشع الذي امتصته النبتة بكواشف الإشعاع. ومن خلال هذه القياسات، يرشد العلماء المزارعين إلى كمية السماد المناسبة لاستخدامها. تسمى النظائر المشعة التي تستخدم لتقفي هذه المسارات *المقتفيات المشعة*.

تستخدم المقتفيات في الآلية المعروفة بالتصوير الطبي، لتشخيص العلل الداخلية. تعمل هذه الآلية؛ لأن الطريق الذي تتبعه هذه المقتفيات تتأثر بالخصائص الفيزيائية والكيميائية، وليس بنشاطها الإشعاعيّ. وقد يعطى المقتفي وحده أو مع بعض المواد الكيميائية التي تساعد المقتفي على تحديد هدف معين في نسيج الجسم.

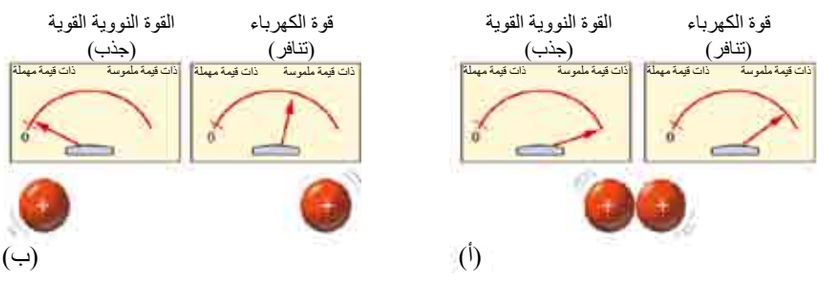


الشكل 10.13
تمتص الغدة الدرقية الموجودة في الرقبة، معظم اليود الموجود في الطعام والشراب الداخلين إلى الجسم. يمكن أخذ صورة للغدة الدرقية كالمبينة هنا، بإعطاء المريض نظير اليود -31 المشع. وهذه الصورة تفيد في تشخيص عدم انتظام الأيض.

2.13 النّواة الذّريّة والقوة النّوويّة القوية

تحتل نواة الذّرّة عدة أجزاء من الكوادريليون من حجم الذّرّة. كما وصفت في الفصل 12، مخلفة معظم حجم الذّرّة فضاء فارغًا. تتكون النّواة من نويات، وهي، كما نوقشت في الفصل 12، تشمل البروتونات والنيوترونات.

وكما نعلم فإنّ الشحنات المتشابهة في الإشارة تتنافر معًا. إذن، كيف تبقى البروتونات الموجبة الشحنة مجتمعة معًا في النّواة؟ هذا السؤال أدى إلى تعريف جذاب يسمى **القوة النّوويّة القوية**، والتي تعمل بين النويات جميعها. هذه القوة شديدة جدًّا، ولكن لمسافات قصيرة جدًّا (نحو 10^{-15} م، قطر نواة ذرة عادية). وفي المقابل، فإن تفاعلات التنافر الكهربائية طويلة- المدى. يوضح الشّكل 11.13 مقارنة بين شدة هاتين القوتين بدلالة المسافة للبروتونات المتقاربة. كما في النّواة الصغيرة، تتغلب القوة النّوويّة الجذبية بسهولة على قوة التنافر الكهربائية.



الشكل 11.13
(أ) عند وجود بروتونين متجاورين فإن كلًّا منهما يتعرض لقوة جذب نووية قوية وقوة تنافر كهربائية ضعيفة. وعند هذا البعد المتناهي في الصغر تتغلب القوة النّوويّة القوية على القوة الكهربائية، ويبقيان معًا. (ب) عندما يكون البروتونان على مسافة بعيدة نسبيًّا أحدهما من الآخر، تكون قوة الكهرباء أكثر قيمة ويتنافر البروتونان معًا. يقلل التنافر بين البروتونين في الأنوية الذّريّة الكبيرة من الاستقرار النّوويّ.

ولكن للبروتونات البعيدة، مثل التي على الطرفين المتباعدين من نواة كبيرة، يمكن أن تكون قوة الجذب النّوويّة أضعف من قوة التنافر الكهربائية.

لا تكون النّواة الكبيرة مستقرة كما هو الحال في النّواة الصغيرة. ففي نواة الهيليوم ، والتي تحتوي على بروتونين، يلمس كل بروتون أثر التنافر مع البروتون الآخر. أمّا في نواة اليورانيوم، حيث يلمس كل من 92 بروتونًا تنافر الـ 91 بروتونًا الآخر! فإنّ النّواة تكون غير مستقرة. ونرى أنّ هناك حدًّا لحجم نواة الذّرّة . ولهذا، فإنّ الأنوية جميعها والتي يبلغ عدد بروتوناتها أكثر من 83 هي نشطة إشعاعيًّا.

■ **نقطة فحص**

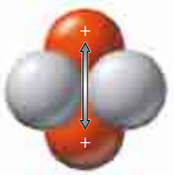
يتنافر بروتونان في نواة ذرة معًا، ولكنهما يتجاذبان معًا أيضًا. لماذا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

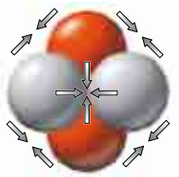
على الرغم من أنّ البروتونين يتنافران بالقوى الكهربائية، إلا أنهما يتجاذبان بالقوة النّوويّة. وتعمل كل من هاتين القوتين في الوقت نفسه. وما دامت قوى الجذب النّوويّة الشديدة أكبر من قوة التنافر الكهربائية، فإنّ البروتونين يبقيان معًا. وعندما تتغلب القوة الكهربائية على القوة النّوويّة القوية، تبتعد البروتونات بعضها عن بعض.

تستخدم النيوترونات "كأسمنت نووي" لتماسك نواة الذّرّة . تجذب البروتونات كلًّا من البروتونات والنيوترونات بالقوة النّوويّة القوية. ولكن البروتونات تتنافر أيضًا بقوة الكهرباء. وفي المقابل، فالنيوترونات لا تحمل شحنة كهربائية وعليه، فهي تجذب البروتونات والنيوترونات الأخرى بالقوى النّوويّة القوية فقط. إنّ وجود النيوترونات يضيف للجذب بين النويات ويساعد في تماسك النويات معًا (الشّكل 13.13)

وكلما زاد عدد البروتونات في النّواة، زادت الحاجة إلى عدد أكبر من النيوترونات للمساعدة في موازنة قوى التنافر الكهربائية. وفي حالة العناصر الخفيفة، يكفي أن يساوي عددُ البروتونات عددَ النيوترونات تقريبًا. إنّ أكثر نظير مألوف للكربون، C-12، على سبيل المثال، له العدد نفسه من كلّ منهما: 6 بروتونات و6 نيوترونات. وللأنوية الكبيرة، يتطلب أن يكون عدد النيوترونات أكبر من عدد البروتونات. ولأن القوى النّوويّة القوية تتلاشى بسرعة بزيادة المسافة، لذا يجب أن تتلامس النويات عمليًا حتى تكون القوى النّوويّة القوية فاعلة. ولا تتجاذب النويات معًا على الأطراف المتعاكسة في نواة ذرة كبيرة. ولكن، لا تتلاشى القوة الكهربائية بالدرجة نفسها على امتداد قطر نواة ذرة كبيرة. لذا تكون أكبر من القوة النّوويّة القوية. وللتعويض عن ضعف القوة النّوويّة القوية عبر قطر النّواة، تحتوي الأنوية الكبيرة على عدد من النيوترونات أكبر من عدد البروتونات. فالرصاص على سبيل المثال، يحتوي على عدد النيوترونات أكثر مرة ونصف من عدد بروتونات.



فقط البروتونات تنفر بعضها من بعض بقوة الكهرباء



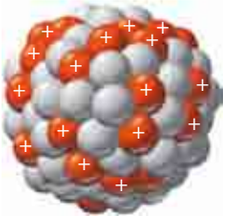
جميع النويات، سواء بروتونات أو نيوترونات تجذب بعضها بعضا بقوة الجذب النووية القوية

الشّكل 13.13

يساعد وجود النيوترونات على تماسك النّواة وذلك بزيادة أثر القوة النّوويّة القوية، الممثلة بالأسهم ذات الرأس الأحادي.

وهكذا، فإننا نرى أنّ النيوترونات عامل استقرار، وتحتاج النوى الكبيرة إلى وفرة منها. إنّ هذه النيوترونات لا تنجح دائمًا في الحفاظ على سلامة النّواة. ومن المدهش أنّ النيوترونات لا تكون مستقرة عندما تكون معًا. إنّ النيوترون الوحيد يكون مشعًا. ويتحوّل آنيًّا إلى بروتون وإلكترون (الشّكل 14.13أ). ويبدو أنّ النيوترون يحتاج إلى بروتونات حوله لمنع حدوث هذا. وبعد بلوغ حجم النواة حدًّا معينًا، يفوق عدد النيوترونات كثيرًا عدد البروتونات، ولا يوجد عندئذ عدد كاف من البروتونات في الخليط لمنع تحوّل النيوترونات إلى بروتونات.

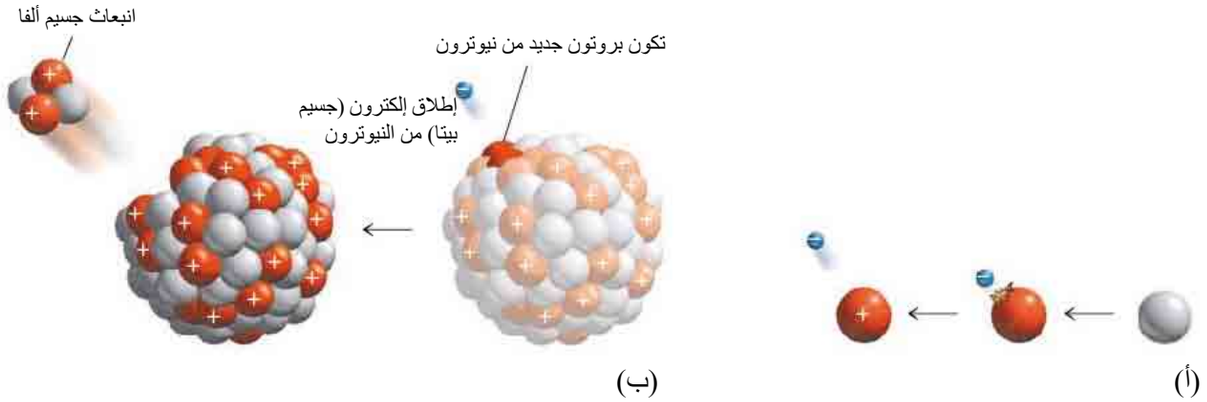
(أ) النويات متقاربة



(ب) النويات متباعدة

الشّكل 12.13

(أ) تكون النويات جميعها في النّواة الذّريّة الصغيرة قريبًا بعضها من بعض. وهكذا، فإنها تختبر قوى جذب نووية قوية. (ب) على الجانب المعاكس، فإن النويات في الأنوية الكبيرة لا تكون متقاربة كما هو الحال في الأنوية الصغيرة. ولهذا، تكون قوى الجذب النّوويّة التي تمسك بعضها مع بعض أضعف كثيرًا. وعليه، فإن النّواة الكبيرة أقل استقرارًا.



الشّكل 14.13
(أ) عندما يكون النيوترون إلى جانب بروتون فإنّه يكون مستقرًّا. ولكن النيوترون وحده لا يكون مستقرًّا، وينحلّ إلى بروتون بإطلاق إلكترون. (ب) يتزعزع استقرار النّواة بزيادة عدد البروتونات، وتبدأ بنثر الشظايا، مثل جسيمات ألفا.

يقل استقرار النّواة بسبب ازدياد قيمة قوى التنافر الكهربائية. والنتيجة أنّ أجزاء من النّواة تنقسم وتبتعد على شكل إشعاع. كما يشير الشّكل 14.13ب.

■ **نقطة فحص**

ما دور النيوترونات في نواة الذّرّة؟ وما مصير النيوترون عندما يكون وحيدًا، أو بعيدًا عن واحد أو أكثر من البروتونات؟

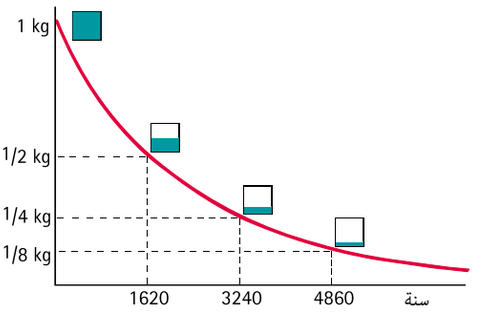
هل كانت هذه إجابتك؟

تؤدي النيوترونات دورًا في تماسك الأنوية وتساهم في استقرارها. ولكن عندما تكون وحيدة أو بعيدة عن البروتونات، تصبح النيوترونات مشعة، وتتحوّل تلقائيًّا إلى بروتون وإلكترون.

■ 3.13 عمر - النصف والتّحوّل

عمر - النصف للمواد النشطة إشعاعيًّا هو أيضًا الزمن اللازم لنقصان معدل الانحلال إلى النصف.

يقاس معدل الانحلال لنظير مشع بدلالة —كميّة مميّزة هي عمر النصف. وهو الزمن اللازم لانحلال نصف الكمية الأصلية لعنصر ما. فعلى سبيل المثال، عمر - النصف لعينة من الراديوم -226 هو 1620 عامًا، وهذا يعني أنّ نصف عينة الراديوم -226 سوف تتحوّل إلى عناصر أخرى مع نهاية 1620 عامًا. وفي الـ 1620 عامًا التالية، سوف ينحل النصف الآخر المتبقي من الراديوم، مخلّفًا ربع الكمية الأصلية للراديوم. (بعد عشرين فترة عمر النصف، سوف تتلاشى كمية الراديوم -226 وما يتبقى هو $\frac{1}{10^6}$ من الكمية الأصلية).



الشّكل 15.13
تنقص كمية الراديوم كل 1620 سنة بمقدار النصف

وبشكل استثنائي، عمر - نصف ثابت ولا يعتمد على الظروف الخارجية. يتراوح عمر - النصف لبعض النظائر من أجزاء من المليون من الثانية إلى بلايين السنين. العمر النصفي لليورانيوم -238 هو 4.5 بليون سنة. إنّ نظائر اليورانيوم جميعها تتحلل في النهاية بسلسلة خطوات متحوّلة إلى رصاص. وخلال 4.5 بليون سنة، سيتحوّل نصف اليورانيوم الموجود على الأرض إلى رصاص.

ليس بالضرورة الانتظار حتى كامل فترة عمر - النصف لقياسه، بل يمكن قياس عمر - النصف لأي عنصر في أي لحظة من خلال قياس معدل الانحلال لكمية معينة. ويمكن قياس ذلك بسهولة بكاشف الأشعة. (الشّكل 16.13). وعمومًا، كلما قصر عمر - النصف لمادة، كان انحلالها أسرع، وزادت كمية النّشاط الإشعاعيّ المكتشفة أيضًا.

(أ)

(ب)

الشّكل 16.13
بعض كواشف الإشعاعات. (أ) يكشف عداد جايجر الإشعاعات الساقطة بأثرها التأيني للغاز المحتوى في أنبوب. (ب) يكشف عداد الوميض الإشعاعات الساقطة بلمعان الضوء الذي ينتج عند مرور الجسيمات المشحونة أو مرور إشعاعات جاما من خلالها.

■ **نقطة فحص**

1. إذا كان عمر - النصف لنظير مشع يومًا واحدًا، فكم يتبقى من المادة الأصلية بعد نهاية كلّ من اليومين الثاني والثالث؟
2. أيهما يعطي معدل قياس أعلى على كاشف الأشعة: مادة مشعة عمر - النصف لها قصير، أم مادة مشعة عمر النصف لها أطول؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. يبقى ربع الكمية الأصلية في نهاية اليوم الثاني، في حين تتحول ثلاثة أرباع المادة إلى مادة أخرى. وبعد نهاية اليوم الثالث يتبقى ($\frac{1}{8}$) العينة الأصلية.
2. المادة التي لها عمر - النصف أقصر أكثر نشاطًا، وتظهر معدل قياس أعلى على كاشف الأشعة.

عندما تطلق نواة مشعة جسيم ألفا أو بيتا، يحدث تحوّل في العدد الذري، وهذا يعني أنّ عنصرًا جديدًا قد تكوّن. (تذكر من الفصل 12، أنّ العنصر يعرّف بعدده الذري، وهو عدد البروتونات في نواته). ويسمى تغيير عنصر كيميائي إلى آخر التّحوّل. وهذا **التّحوّل** يحدث طبيعيًّا أو صناعيًّا في المختبر.

التّحوّل الطّبيعيّ

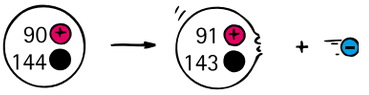
خذ اليورانيوم -238، والذي تحتوي نواته على 92 بروتونًا و146 نيوترونًا. عند إطلاق جسيم ألفا، تفقد النواة بروتونين ونيوترونين. ولأن العنصر يعرف بعدد البروتونات في نواته، فلا يمكن تعريف الـ 90 بروتونًا والـ 144 نيوترونًا المتبقية على أنها يورانيوم. وبدلًا من ذلك تتكون لدينا نواة عنصر جديد؛ إنّه الثوريوم. يمكن كتابة هذا التّحوّل كمعادلة نووية:

$$^{238}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

وعليه،نرى أنّ $^{238}_{92}\mathrm{U}$ قد تحوّل إلى العنصرين المكتوبين على يمين القوس. وعندما يحدث هذا التّحوّل، تتحرر طاقة، بعضها على شكل طاقة حركية لجسيم ألفا ($^{4}_{2}\mathrm{He}$)، وبعضها الآخر على شكل طاقة حركية لذرة الثوريوم، وجزئيًّا على شكل إشعاعات جاما. وفي هذه المعادلة وفي المعادلات المشابهة جميعها، يجب موازنة العدد الكتلي الموجود عند أعلى الرمز (238 = 234 + 4) وكذلك الأعداد الذّريّة عند أسفل الرمز (92 = 90 + 2).

إنّ الثوريوم -234 وهو أحد نواتج هذا التّفاعل مشع أيضًا. ويشع جسيم بيتا عندما ينحلّ. ولكون جسيم بيتا إلكترون، فإنّ العدد الذري *يزداد* بمقدار واحد للنواة الجديدة. وعليه، فبعد إشعاع الثوريوم جسيم بيتا الذي يحوي 90 بروتونًا، يصبح عدد البروتونات للعنصر الناتج 91. وعندئذ لا يكون من الثوريوم بل من البروتاكتنيوم. وعلى الرغم من أنّ العدد الذري ازداد بمقدار واحد في هذه العملية، فإن العدد الكتلي (عدد

البروتونات + عدد النيوترونات) يبقى كما هو.
والمعادلة النّوويّة هي:

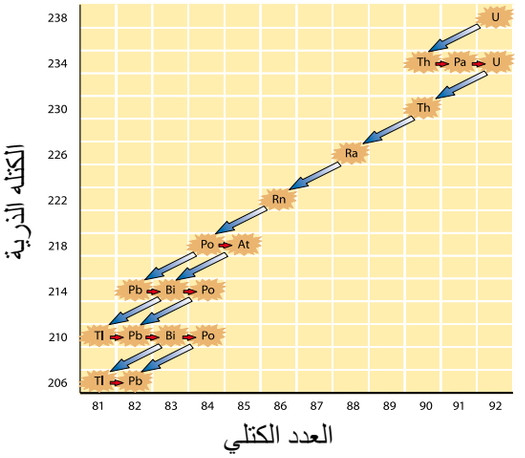


$$^{234}_{90}Th \rightarrow {}^{234}_{91}Pa + {}^{0}_{-1}e$$

كما يكتب الإلكترون $^{0}_{-1}e$ ، حيث يشير الرقم العلوي 0 إلى أنّ كتلة الإلكترون صغيرة نسبة إلى كتلة كلّ من النيوترونات والبروتونات. ويشير الرقم السفلي (-1) إلى شحنة الإلكترون.

وهكذا، عندما يطلق عنصر جسيم ألفا من نواته فإن العدد الكتلي للذرة الناتجة ينقص بمقدار 4، في حين ينقص عددها الذري بمقدار 2. وتتحرك الذّرّة الناتجة خطوتين إلى الوراء في الجدول الدوري للعناصر. عندما يطلق العنصر جسيم بيتا من نواته، فإن كتلة الذّرّة، عمليا، لا تتأثر، وهذا يعني عمليا عدم تغيّر على العدد الكتلي، ولكن العدد الذري يزداد بمقدار 1. ويتقدم العنصر الناتج خطوة واحدة إلى الأمام في الجدول الدوري للعناصر. ولا يحدث تغير في العدد الذري عند إشعاع جاما. لذا، نرى أنّ العناصر المشعة يمكن أن تتحرك إلى الأمام أو إلى الخلف في الجدول الدوري.

إن تتابع الانحلالات الإشعاعيّة لـ$^{238}_{92}U$ حتى $^{206}_{82}Pb$ موضح في الشّكل 17.13. يشير كل سهم رمادي إلى انحلال ألفا، في حين يشير كل سهم أحمر إلى إشعاع بيتا. لاحظ أنّ بعض الأنوية في هذه السلسلة تنحل في الاتجاهين. هذه واحدة من السلاسل الإشعاعيّة المتشابهة التي تحدث في الطبيعة.



الشّكل 17.13
ينحلّ U-238 إلى Pb-206 من خلال سلسلة انحلالات ألفا وبيتا.

لمعلوماتك

■ يكون انبعاث بيتا مصحوبًا بانبعاث نيوترينو، وهو جسيم متعادل دون كتلة وتقريبًا وينتقل بسرعة قريبة من سرعة الضوء. يصعب اكتشاف النيوترينو بسبب تفاعله الضعيف مع المادة – نحتاج إلى قطعة رصاص سمكها 8 سنوات ضوئية لإيقاف نصف عدد النيوترونات التي تنبعث في انحلال نووي عادي. تنتشر الآلاف من النيوترونات من حولك في كل ثانية يوميًّا؛ لأنّ العالم مليء بها. يتفاعل النيوترينو مرة أو مرتين فقط مع مواد جسمك.

■ نقطة فحص

1. أكمل التّفاعلات النّوويّة الآتية:

أ. $^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{?}_{?}? + {}^{0}_{-1}e$

ب. $^{209}_{84}Po \rightarrow {}^{205}_{82}Pb + {}^{?}_{?}?$

2. ما الذي يتبقى من اليورانيوم الذي يتعرض لا انحلالات إشعاعية في النهاية؟

هل كانت هذه إجابتك؟

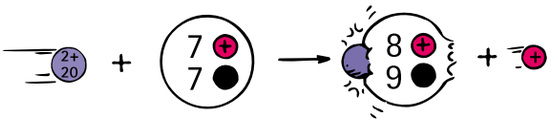
1.أ. $^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{226}_{89}AC + {}^{0}_{-1}e$

1.ب. $^{209}_{84}Po \rightarrow {}^{205}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He$

2. يتحوّل اليورانيوم جميعه في النهاية إلى رصاص. وفي أثناء تحوّله إلى رصاص، يوجد اليورانيوم كسلسلة من العناصر، كما في الشّكل 17.13.

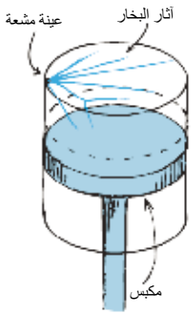
التّحوّل الصّناعيّ

كان إرنست رذرفورد Ernset Rutherford في عام 1919م أول من نجح، من بين العديد من الباحثين، في إحداث التّحوّل في العناصر الكيميائية؛ حيث قذف غاز النيتروجين بجسيمات ألفا والتي حصل عليها من قطعة من منجم مشع. إن اصطدام جسيم ألفا بالنيتروجين حوله إلى أكسجين كما يلي:

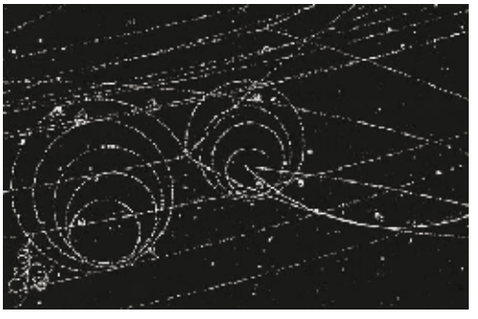


$$^{4}_{2}He + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$$

استخدم رذرفورد جهازًا يسمى *غرفة الغيمة* لتوثيق هذا الحدث (الشّكل 18.13). في غرفة الغيمة، تظهر الجسيمات المشحونة المتحركة أثر أيونات عبر مسارها بطريقة تشبه البلورات الجليدية التي تظهر في أثر الطائرات النفاثة في السماء. ومن ربع مليون مسار في غرفة الغيمة المصورة على فيلم متحرك، بين رذرفورد سبعة أمثلة على التحوّلات الذّريّة. لقد أظهر تحليل المسارات الملتوية في مجال مغناطيسي قوي، وعند اصطدام جسيم ألفا مع ذرة نيتروجين، ينطلق بروتون وترتد الذّرّة الثقيلة مسافة صغيرة. يختفي جسيم ألفا. امتُص جسيم ألفا خلال العملية، محولة النيتروجين إلى أكسجين.



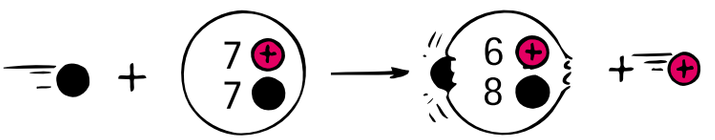
الشّكل 18.13
غرفة الغيمة. تتحرك الجسيمات المشحونة خلال الحجرة المشبعة ببخار الأوراق المتناثرة. وعند تعريض الحجرة لمجال كهربائي أو مغناطيسي قوي، يزودنا انحناء المسارات بمعلومات عن شحنة الجسيمات، وكتلتها، وزخمها.



ومنذ إعلان رذرفورد عام 1919م، أجرى التجريبيون العديد من التّفاعلات النّوويّة الأخرى، بادئين القصف بالقذائف من مناجم الإشعاع ثم بقذائف أعلى طاقة - بروتونات وإلكترونات محضرة من مسارعات الجسيمات العملاقة. لقد تم تجهيز عناصر صناعية بالتّحوّل الصناعي حتى الآن من العدد الذري 93 وحتى 118. إنّ هذه العناصر المحضرة صناعيًا جميعها لها فترة عمر - نصف قصيرة. وإذا كانت قد تشكلت في زمن ما في الطبيعة فإنها تحللت منذ زمن بعيد.

■ 4.13 التّأريخ بالقياس الإشعاعيّ

يُقْصف الغلاف الأرضي باستمرار بالأشعة الكونية، وبسبب هذا القصف يحدث تحوّل للعديد من الذرات في الغلاف الجوي العالي. إنّ هذا التّحوّل يُنتج العديد من البروتونات والنيوترونات "المتناثرة" في البيئة. توقف معظم البروتونات عند اصطدامها بالغلاف الغازي العالي، وتُصبح الإلكترونات المنزوعة من هذه الذرات ذرات هيدروجين. ولكن النيوترونات تستمر في الحركة إلى مسافات أبعد لأنها غير مشحونة، لذا لا تتفاعل كهربائيًّا مع المادة. وفي النهاية، يصطدم العديد منها مع الأنوية الكثيفة في طبقات الغلاف السفلي. فعلى سبيل المثال، فإنّ ذرة النيتروجين التي تقتنص نيوترونًا، تصبح نظير الكربون بإطلاق بروتون:



$$^{1}_{0}n + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}H$$

هذا نظير الكربون -14، والذي يُشكل أقلّ من 1 من المليون من 1% من الكربون في الغلاف الجوي، وهو مشع وله 8 نيوترونات. (أكثر نظير مألوف، هو الكربون -12، له 6 نيوترونات وهو غير مشع)

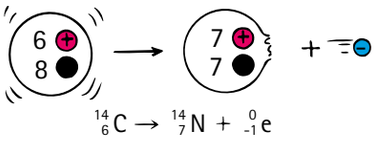
الشّكل 19.13
مسارات الجسيمات الأولية في غرفة الفقاعة، جهاز مشابه ولكن أكثر تعقيدًا من غرفة الغيمة. يتم إفناء جسيمين عند نقطة الانطلاق الحلزوني، ويتم إنتاج أربعة جسيمات أخرى في الاصطدام.

حاول الكيميائيون القدماء إحداث تحوّل من عنصر إلى آخر، ولكن دون جدوى. وعلى الرغم من جهودهم المثيرة فإنهم فشلوا في ذلك، مع أنّ التّحوّلات الطّبيعيّة تحدث باستمرار من حولنا.

ولأن الكربون -12 والكربون -14 تشكيلان للكربون، فإنّ لهما الصفات الكيميائية نفسها. ويتفاعل هذان النظيران كيميائيًّا مع الأكسجين لتشكيل ثاني أكسيد الكربون الذي تمتصه النباتات. هذا يعني أنّ النباتات كلها تحتوي على كميات ضئيلة من الكربون -14 المشع. إنّ الحيوانات جميعها تأكل نباتات (على الأقل الحيوانات الآكلة النباتات).

لذا تحتوي كميات صغيرة من الكربون -14 في داخلها. وباختصار، تحوي الكائنات الحية جميعها التي على الأرض بعض الكربون -14.

الكربون -14 هو باعث لبيتا، وينحل ثانية مكونًا النيتروجين بالتّفاعل الآتي:



لأن النباتات تستمر في أخذ ثاني أكسيد الكربون ما بقيت حية، فكل ذرة كربون -14 تفقد بالانحلال تُعوض حالًا بكربون -14 طازجة من الغلاف الغازي. وبهذه الطريقة، يحدث اتزان إشعاعي من خلاله يحافظ على نسبة ثابتة، وهي نحو ذرة كربون -14 واحدة لكل مئة بليون ذرة كربون -12. وعند موت النبات، يتوقف تعويض الكربون 14-. وتنقص النسبة المئوية لكل كربون -14 بمعدل ثابت يعطى بعمر- النصف. وكلما كان موت النبات أو الكائن الحي أبعد زمنًا، نقصت كمية الكربون -14 الموجود بالنسبة إلى كمية الكربون -12 الثابتة.

إنّ عمر - النصف للكربون -14 هو 5760 سنة تقريبًا. وهذا يعني أنّ نصف عدد ذرات الكربون -14 الموجودة حاليًّا في النبتة أو الحيوان الذي يموت اليوم ستنحل خلال 5760 عامًا القادمة. في حين سينحل نصف العدد المتبقي من الذرات في 5760 عامًا التالية. واستنادًا إلى هذا، يستطيع العلماء حساب عمر الآثار التي تحتوي على الكربون، مثل الأدوات الخشبية، أو الهياكل، من خلال قياس مستوى إشعاعها الحالي. تسمى هذه العملية التّأريخ بالكربون -14، التي تمكننا من سبر الماضي إلى50,000 عام . ولكن أكثر من هذه الفترة الزمنية، تكون كمية الكربون -14 المتبقية قليلة جدًّا بحيث لا يكون تقدير الأعمار دقيقًا.

(*Carbon -14 Dating*)

الشّكل 20.13

تتضاءل كمية الكربون -14 المشع في الهيكل العظمي إلى النصف كل 5730 سنة، وتكون النتيجة أنه الآن يحتوي على جزء من الكربون -14 الذي كان يحتويه أصلًا. تمثل الأسهم الحمراء الكمية النسبية لمقدار الكربون -14.

تعدّ طريقة التّأريخ بالكربون -14 بسيطة جدًّا ودقيقة، لو كانت كمية الكربون المشع في الغلاف الجوي ثابتة عبر العصور. ولكنها لم تكن كذلك. بسبب تذبذب المجال المغناطيسي لكلّ من الشمس والأرض والذي أثر في شدة الأشعة - الكونية في غلاف الأرض الجوي، وأنتج بدوره تذبذبًا في إنتاج الكربون -14. كما أنّ التغير في مناخ الأرض أثر في كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. تعدّ المحيطات خزانات كبيرة لثاني أكسيد الكربون. وعندما تسخن هذه المحيطات، فإنها تطلق مزيدًا من ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي أكثر مما لو كانت باردة. سنعود إلى المحيطات وتفاعلها المهم مع ثاني أكسيد الكربون في الفصلين 18 و24.

لمعلوماتك

■ تحتوي عينة 1 جم من الكربون من مادة كانت حية قريبًا على نحو 50 تريليون بليون ذرة كربون (5×10^{22}). من ذرات الكربون هذه، نحو 65 بليون (6.5×10^{10}) منها نظير الكربون – 14 النشط إشعاعيًّا. وهذا يؤدي إلى انحلال بيتا بمعدل 13.5 انحلال لكل دقيقة.

يحتوي طن واحد من الجرانيت العادي على نحو 9 جم من اليورانيوم و20 جم من الثوريوم. وتحتوي صخور البازلت على 3.5 جم و7.7 جم من العنصر نفسه على الترتيب.

■ **نقطة فحص**

افترض أنّ عالم آثار استخلص 1 جم من الكربون من مقبض فأس قديمة، ووجد أنّ النّشاط الإشعاعيّ يساوي ربع النّشاط الإشعاعيّ لجذع شجرة مقطوعة حديثًا. ما عمر مقبض الفأس القديمة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

افترض أنّ نسبة C -14 إلى C -12 هي نفسها عند صناعة الفأس، فيكون عمر مقبض الفأس ضعفي عمر النصف لـ C -14، أو نحو قبل 11460 سنة.

يتم التّأريخ للأشياء غير الحية، الأقدم، بالمواد المشعة كاليورانيوم. تنحل النظائر الطّبيعيّة الموجودة U -238 وU -235 ببطء وفي النهاية تصبح نظائر رصاص – ولكن ليس نظير الرصاص المألوف Pb -208. فعلى سبيل المثال، ينحلّ U -235 عبر عدة مراحل ليصبح في النهاية Pb -206، في حين يصبح U -235 في النهاية نظير Pb -207. نظائر الرصاص 206 و207 الموجودة الآن كانت في فترة ماضية يورانيوم. وكلما كانت الصخرة المحتوية على اليورانيوم أقدم، زادت نسبة هذه النظائر المتبقية.

ومن معرفة أعمار - النصف لنظائر اليورانيوم، والنسب المئوية لنظائر الرصاص في الصخور المحتوية على اليورانيوم، يمكن تأريخ تشكّل الصخرة. وسنعود إلى التّأريخ بالإشعاع عندما نبحث ديناميكية جوف الأرض في الفصل 22.

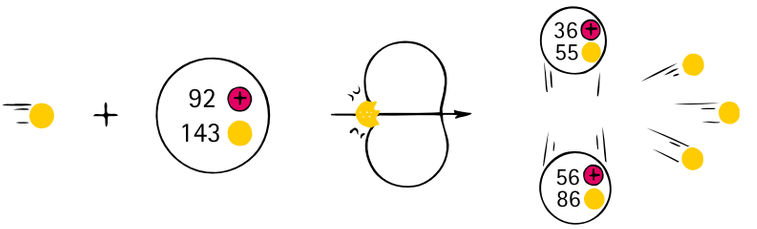
■ 5.13 الانشطار النّوويّ

لقد غير الاكتشاف الذي حدث صدفة على يدي العالمين الألمانيين أوتو هان Otto Hahn وفرتز ستراسمان Frits Strassmann عام 1938م العالم. لقد دُهشا عندما وجدا آثارًا كيميائية لإنتاج الباريوم، عنصر كتلته تقريبًا تساوي نصف كتلة اليورانيوم، في أثناء قصف عينة يورانيوم بالنيوترونات على أمل خلق عناصر ثقيلة جديدة. أخبر هان عن هذا العنصر الجديد لزميلته السابقة ليسي مايتنر Lise Meitner، التي هربت من ألمانيا النازية إلى السويد بسبب أصولها اليهودية. وقد استنتجت مايتنر من نتائج هان أنّ نواة اليورانيوم نشطت بقصفها بالنيوترونات، وانشطرت إلى نصفين. وبعد ذلك بقليل، نشرت مايتنر بحثًا عن عملها مع ابن أخيها الفيزيائي أتوفريش Otto Frisch الذي استخدم مصطلح الانشطار النّوويّ لأول مرة.

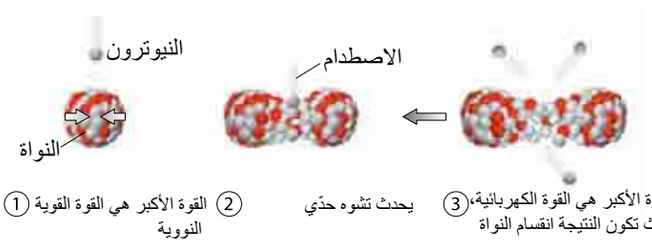
هناك توازن دقيق في نواة أي ذرة بين قوى التجاذب النّوويّ وقوى التنافر الكهربائي بين البروتونات. وفي الأنوية المعروفة جميعها، تتفوق القوى النّوويّة. ولكن هذا التفوق ضعيف في اليورانيوم. لو استطالت نواة اليورانيوم بشكل مطوّل (الشّكل 21.13)، يمكن أن تدفع القوى الكهربائية إلى شكل أكثر استطالة. وإذا زادت الاستطالة على نقطة معينة، فإنّ القوى الكهربائية تتغلب على القوى النّوويّة، وتنقسم النّواة. وهذا هو **الانشطار النّوويّ**.

إنّ الطّاقة المتحررة من انشطار نواة واحدة من اليورانيوم -235 هائلة جدًّا نسبيًّا: نحو 7 ملايين مرة مثل الطّاقة المتحررة من انفجار جزيء واحد من TNT. تكون الطّاقة على شكل طاقة حركية بشكل رئيس للأجزاء المنشطرة التي يبتعد بعضها عن بعض، مع بعض الطّاقة للنيوترونات المقذوفة، ويكون الباقي على شكل إشعاعات جاما.

وفيما يلي نموذج لتفاعل الانشطار النّوويّ



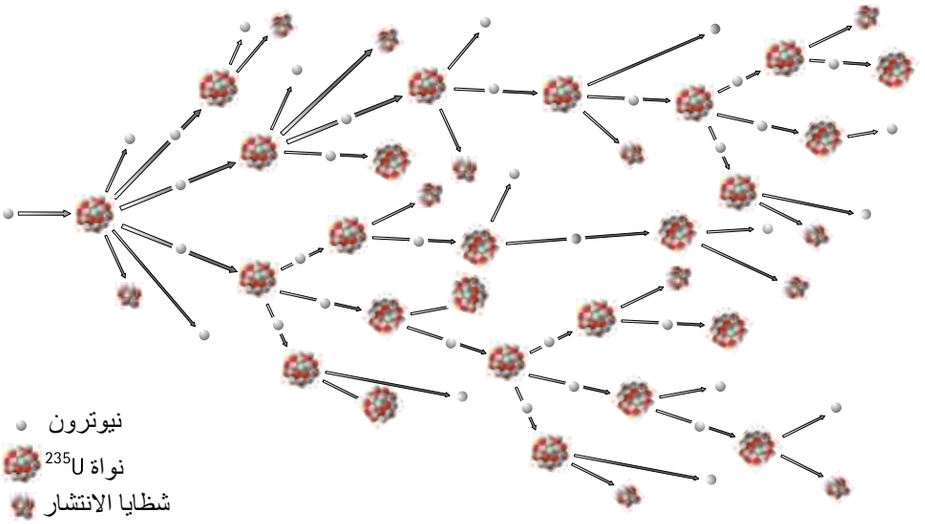
$$ {}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{91}_{36}Kr + {}^{142}_{56}Ba + 3({}^{1}_{0}n) $$



الشّكل 21.13
يمكن أن يؤدي التشوه النّوويّ إلى قوة تنافر كهربائية تتغلب على قوة الجذب النّوويّة. وفي هذه الحالة يحدث الانشطار.

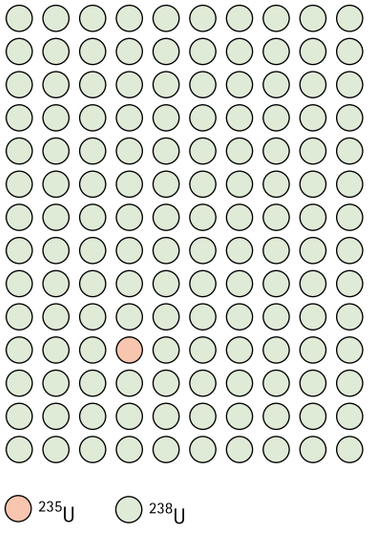
لمعلوماتك

■ مُنح أوتو هان Otto hahn جائزة نوبل ولم تُمنح ليسي مايتنر Lise Meitner على عمل الانشطار النّوويّ. لم يعترف هان السيىء السمعة حتى بدورها في ذلك، مما دفعها إلى الخمول. للمزيد من الاطلاع حول هذا، اقرأ الكتاب الجيد $E=mc^2$ لديفيد بودانس *David Bodanis*.



الشّكل 22.13

فقط جزء من 140 من اليورانيوم المتوافر في الطبيعة هو U 235-.



الشّكل 23.13

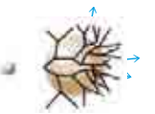
تفاعل متسلسل.

لاحظ في هذا التّفاعل أنّ نيوترونًا واحدًا بدأ انشطار نواة اليورانيوم، وأن الانشطار أنتج 3 نيوترونات. (يمكن أن ينتج التّفاعل الانشطاري أقل من 3 نيوترونات أو أكثر). ويمكن أن تسبب هذه النيوترونات المنتجة انشطار 3 ذرات يورانيوم أخرى، محررة 9 نيوترونات إضافية. إذا نجح كل واحد من الـ 9 نيوترونات في فصل ذرة يورانيوم، فإنّ الخطوة التالية للتفاعل تنتج 27 نيوترونًا. وهكذا دواليك. يسمى هذا التتابع الموضح في الشّكل 22.13 **التّفاعل المتسلسل** ***(Chain Reaction)***: تفاعل مستدام ذاتيًّا، بحيث إنّ نواتج حدوث تفاعل واحد تستحث حدوث تفاعلات أخرى.

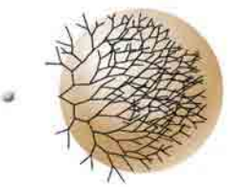
لماذا لا يحدث التّفاعل المتسلسل طبيعيًّا في اليورانيوم المخزن في المناجم؟ يمكن أن يحدث إذا كان انشطار ذرات اليورانيوم جميعها سهلا. يحدث الانشطار بشكل رئيس لنظير اليورانيوم -235 النادر، والذي يشكل 0.7% فقط من فلز اليورانيوم النقي. وعند امتصاص اليورانيوم -238 الأكثر توافرًا، النيوترونات الناتجة عن انشطار 235- U، فإن اليورانيوم -238 لا يتعرض عادة إلى انشطار. لذا ينتهي التّفاعل المتسلسل بامتصاص اليورانيوم -238 للنيوترونات، كما هو الحال في الصخر المطمور في المناجم.

ولو حدث التّفاعل المتسلسل في قطعة يورانيوم -235 نقي، بحجم كرة البيسبول، فإنّ انفجارًا هائلًا سوف يحدث. ولكن إذا بدأ التّفاعل المتسلسل في قطعة أصغر من اليورانيوم -235 النقي، فإنه لا يحدث انفجار. ويعزى هذا إلى الهندسة: حيث نسبة السطح للكتلة هو أكبر للأجسام الصغيرة منه للأجسام الكبيرة (كما هو الحال، توجد قشور في ست حبات بطاطس بكتلة كلية مقدارها 1 كغم أكثر مما هي في حبة واحدة من البطاطس لها الكتلة نفسها). وهكذا، فهناك مساحة سطح أكبر في مجموعة قطع صغيرة من اليورانيوم مقارنة بقطعة كبيرة من اليورانيوم. في الأجزاء الصغيرة من اليورانيوم -235 تتسرّب النيوترونات عبر السطح قبل حدوث الانفجار. وفي القطعة الأكبر، يتعاظم التّفاعل المتسلسل إلى طاقات كبيرة قبل أن تصل النيوترونات إلى السطح وتغادر (الشّكل 24.13). تسمى الكتلة بعد نقطة معينة الكتلة الحرجة(*Critical Mass*)، والتي يحدث بعدها انفجار عظيم.

خذ قطعة كبيرة من اليورانيوم -235 واقسمها إلى قطعتين لكل منهما كتلة أقلّ من كمية معينة، تسمى الوحدة دون الحرجة. تبلغ النيوترونات السطح وتتسرب في كلتيهما قبل أن يتعاظم التّفاعل المتسلسل إلى حد الطّاقة الكبيرة. ولكن إذا وُضعت القطعتان معًا فجأة، فستقل مساحة السطح. وإذا كان التوقيت صحيحًا وكتلتهما الموحدة أكبر من الكتلة الحرجة، يحدث انفجار شديد. وهذا ما يحدث في القنبلة النّوويّة الانشطارية (الشّكل 25.13).



نيوترونات تغادر السطح



تطلق النيوترونات مزيدًا من التفاعلات

الشّكل 24.13

يبين المنظر المكبر أنّ التّفاعل المتسلسل في قطعة صغيرة من اليورانيوم 235- النقي يستمر قبل أن يحدث انفجار كبير؛ لأن النيوترونات تتسرب من السطح بسرعة. تكون مساحة سطح القطعة الصغيرة كبيرًا نسبة إلى الكتلة. في القطعة الكبيرة، يوجد يورانيوم أكثر ومساحة سطح أقل للنيوترونات.

تعدّ صناعة قنبلة انشطارية مهمة صعبة. وتتأتى الصعوبة في فصل اليورانيوم -235 عن اليورانيوم -238 الوفير. يحتاج العلماء إلى أكثر من سنتين لاستخلاص كمية كافية من اليورانيوم -235 من منجم اليورانيوم لصناعة قنبلة كتلك التي أسقطت على هيروشيما عام 1945م. وما زالت عملية فصل نظائر اليورانيوم صعبة إلى يومنا هذا.

نقطة فحص

كرة كتلتها 1 كجم من اليورانيوم -235 وهي كتلة حرجة تقريبًا. ولكن إذا قسمت الكرة نفسها إلى قطع صغيرة فإنّها لا تعود كتلة حرجة. فسّر.

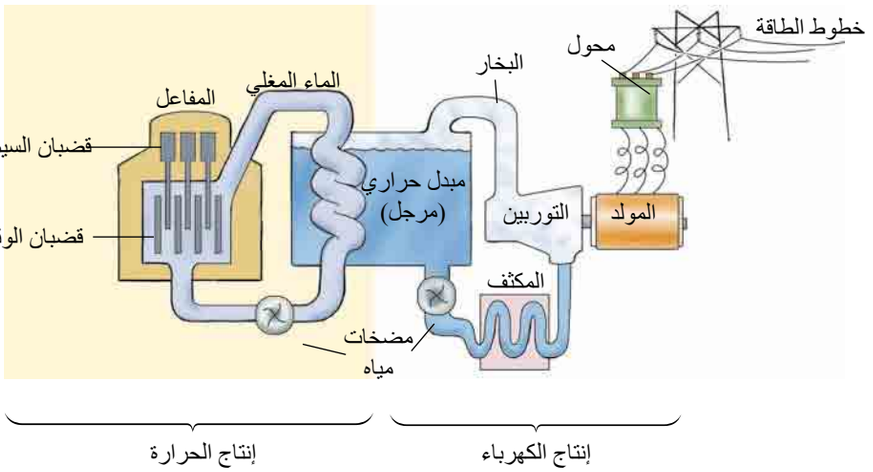
هل كانت هذه إجابتك؟

يبلغ مجموع مساحة السطح للقطع الصغيرة أكبر من مساحة السطح للقطعة الأصلية (فمساحة سطح مجموعة من الحصى أكبر من مساحة صخرة لها الكتلة نفسها). تتسرب النيوترونات عبر السطح قبل بدء تعاظم التّفاعل المتسلسل.

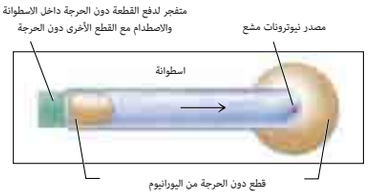
مفاعلات الانشطار النّوويّ

لقد تعرّف العالم رعب الطّاقة من الانشطار النّوويّ من خلال القنابل النّوويّة. وهذه الصورة العنيفة ظلت تلازم تفكيرنا حول هذه الطّاقة. وجعلت إدراك الفوائد الجمة للاستخدامات العديدة لها صعبة لكثير من الناس. ينتج حاليًّا نحو 20% من الطّاقة الكهربائية في الولايات المتحدة من مفاعلات الانشطار النّوويّ (في بعض البلدان. ينتج معظم الطّاقة الكهربائية من محطات نووية؛ 75% تقريبًا في فرنسا). وببساطة. هذه المفاعلات هي أفران نووية. وهي مثل أفران الوقود الأحفوري. تعمل على غلي الماء لإنتاج البخار للتوربين (الشّكل 26.13). ولكن الفارق الرئيس هو كمية الوقود المستخدم؛ ينتج كيلوجرام واحد من اليورانيوم كوقود. وهو أقل حجمًا من كرة القاعدة. وهذا يعادل إنتاج حمولة 30 شاحنة من الفحم.

يتكون مفاعل الانشطار من أربع حجرات هي: 1- الوقود النّوويّ. 2- قضبان السيطرة.3- المهدئ (لإبطاء النيوترونات الضرورية لإحداث الانشطار). 4- السائل (عادة الماء). إنّ الوقود النّوويّ الرئيس هو U-238 زائد نحو U-235 3%. ولأنّ كمية نظائر اليورانيوم -235 قليلة جدًّا بالنسبة إلى اليورانيوم -238. فإنّ احتمالية حدوث انفجار كما هو الحال في القنبلة النّوويّة غير وارد. يُسيطر على سرعة التّفاعل. والذي يعتمد على عدد النيوترونات التي بدأت الانشطار أنوية اليورانيوم -235 الأخرى. بإدخال قضبان السيطرة إلى المفاعل. تصنع قضبان السيطرة من مادة ماصة للنيوترونات. وهي في العادة فلز الكاديميوم أو البورون.



الشّكل 26.13
مخطط لمحطة قوى بالانشطار النّوويّ. لاحظ أنّ الماء المتصل مع قضبان الوقود موجود في منطقة مغلقة بالكامل، وأن المواد المشعة لا تدخل مباشرة في توليد الكهرباء.



الشّكل 25.13
شكل مبسط لقنبلة.

لمعلوماتك

■ مع بروز النازية في ألمانيا في ثلاثينيّات القرن العشرين. هاجر العديد من العلماء. وخصوصًا من ذوي الأصول اليهودية من أوربا إلى الولايات المتحدة الأمريكية. بما في ذلك العشرات من الفيزيائيين النظريين اللامعين الذين قاموا بدور بارز في تطوير الانشطار النّوويّ. ومن هؤلاء الفيزيائيين ليو سيزلارد Leo sizlard الذي كان (1898 – 1964) أول من تنبأ بالتّفاعل النّوويّ المتسلسل. وبموافقة أينشتاين. كتب سيزلارد رسالة إلى الرئيس الأمريكي روزفلت Rooseveltt في عام 1939 م ووقعها أينشتاين. لقد أوجز في هذه الرسالة احتمالية التّفاعل المتسلسل ومضمون القنبلة النّوويّة. وقد تم تجريب أول قنبلة نووية خلال ست سنوات. وفجرت في صحراء نيومكسيكو عام 1945م. ومن ثمَّ أرسل سيزلارد عريضة موقعة من 68 من العلماء الذين لهم علاقة بالبرنامج النّوويّ يطلبون فيها من الرئيس ترومان عدم قصف أيّ مدينة مأهولة في اليابان بالقنبلة النّوويّة مثل نجازاكي. إلا أنّ العسكريين احتفظوا بهذه العريضة. ولم تصل أبدًا إلى الرئيس.

يوضع الماء الساخن حول المفاعل تحت ضغط عال للمحافظة على درجة حرارة عالية دون أن يغلي. وهذا ينقل الحرارة إلى نظام مائي آخر تحت ضغط منخفض، والذي يشغل التوربينة والمولد الكهربائي بالطريقة المعتادة. وبهذا التصميم، يُستخدم نظامان مائيان حتى لا يصل النّشاط الإشعاعيّ إلى التوربين أو البيئة الخارجية.

ومن المآخذ المهمة على الطّاقة الانشطارية هو توليدها نُفايات إشعاعية. تكون ذرات الأنوية الخفيفة أكثر استقرارًا إذا كانت تتشكل من العدد نفسه من البروتونات والنيوترونات، كما نوقش سابقا. أمّا الأنوية الثقيلة فتحتاج إلى نيوترونات أكبر من البروتونات لكي تستقر. على سبيل المثال اليورانيوم -235 له 143 نيوترونًا و92 بروتونًا. وعند انقسام اليورانيوم إلى عنصرين متوسطي الوزن فإن النيوترونات الزائدة في أنويتها تجعلها غير مستقرة. وهي مشعة، معظمها له أعمار - نصف قصيرة، ولكن عمر - النصف لبعضها يمتد إلى آلاف السنين. إنّ التخزين الآمن للنُّفايات المشعة والمواد التي أصبحت مشعة في أثناء إنتاج الوقود النّوويّ يتطلب براميل تخزين وإجراءات خاصة. وعلى الرغم من مضي نصف قرن على نجاح استخدام الانشطار في إنتاج الكهرباء، فإنّ تخزين النفايات المشعة ما زال يشكّل معضلة في الولايات المتحدة.

يدفن الأمريكيون النفايات المشعة في أعماق الأرض، ولا يتفق كثير من العلماء النّوويّين تجاه عملية الدفن العميق هذه كحل مأمون. لقد ظهرت أفكار جديدة تتمثل في إمكانية إعادة تدوير النفايات النّوويّة المستهلكة وقودًا للمفاعل من نوع *مفاعل التّفاعل السريع* (*IFR*)، والذي يستخدم نفايات المفاعلات الأخرى وقودًا. كما يتم البحث عن طرق تستطيع تحويل النظائر ذات عمر - النصف الطويل إلى نظائر لها عمر - النصف أقصر. في حين يجهّز الفرنسيون مخازن خاصة تحت الأرض للنفايات النّوويّة، وتتم مراقبتها بدلًا من دفنها. كما أعيد تشكيل نفايات مناجم الذهب ونفايات المناجم الأخرى والتي أهملت في القرن الماضي وذلك لقيمتها التجارية. و لربما يتكرر الشيء نفسه للنفايات النّوويّة اليوم. ويجب ألا تكون هذه النفايات مصدر خطر على الدوام، أو أن تسبب كوارث للأجيال القادمة كما في التفكير العام.

يتضمن فوائد الانشطار وفرة في الكهرباء، وتوفير بلايين الأطنان من الوقود الأحفوري. في كل عام يتحوّل هذا الوقود إلى حرارة على شكل دخان وملايين الأطنان من الغازات السامة مثل أكاسيد الكبريت. ومن الجدير بالذكر أنّ الوقود الأحفوري مصدر ثمين للجزيئات العضوية، وهذا ما سوف نناقشه في الفصل 19، حيث يستخدم لصناعة الأدوية، والملابس، والسيارات، والكثير من الأشياء الأخرى.

■ **نقطة فحص**

يحتوي الفحم على كميات ضئيلة من المواد المشعة، بحيث تكون الإشعاعات النّوويّة في محيط محطة طاقة تعمل بحرق الفحم أكثر من تلك التي في محيط محطة طاقة انشطارية. إلام يشير ذلك حول حماية محيط هذين النوعين من محطات القوى؟

هل كانت هذه إجابتك؟

محطات الوقود بحرق الفحم هي كالناس والمأكولات، ليس مطلوبًا حمايتها، وهي مكلفة لمنع انبعاث الجسيمات المشعة. ولكن يجب عزل محطات الانشطار النّوويّ للتأكد من انخفاض مستوى الانبعاثات المشعة.

المفاعل المولّد

من الخصائص المميزة للطاقة الانشطارية هي أنّها تولد وقودًا انشطاريًّا من اليورانيوم -238 غير المنشطر. ويحدث هذا التوليد عند مزج كميات صغيرة من النظائر المنشطرة مع U -238 في المفاعل. يحرر الانشطار نيوترونات تحوّل بدورها الكميات المتوافرة نسبيًّا من اليورانيوم 238- غير المنشطرة إلى اليورانيوم -239 المنشطرة، واللذين ينحلان لإنتاج بيتا و239 Np- والذي بدوره ينحلّ منتجًا بيتا والبلوتونيوم المنشطر -239 Pu (الشّكل 28.13). وهكذا، فبالإضافة إلى الطاقة الكثيرة المنتجة، يتولّد وقود انشطاري من اليورانيوم المتوافر نسبيًّا 238 -U في هذه العملية.

الشّكل 27.13

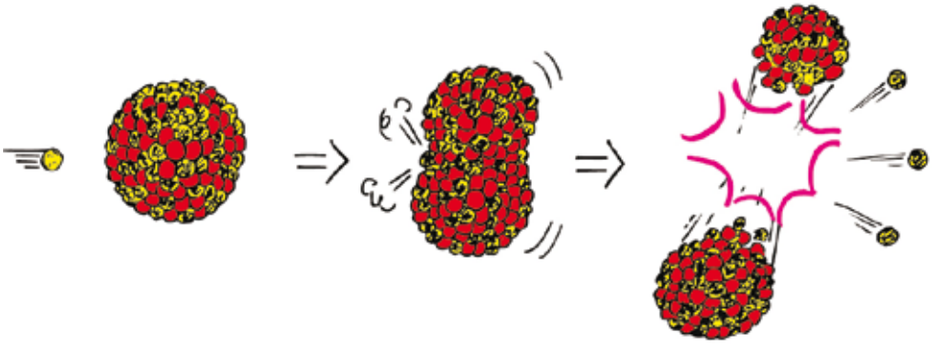
يوجد المفاعل النّوويّ داخل مبنى على شكل قبة مصممة لمنع انبعاث النظائر المشعة في حالة وقوع حوادث.

لا تطلق محطات الطّاقة النّوويّة عمليًّا أيّ ملوثات نحو الغلاف الجوي. وهذا يتضمن غاز الدفيئة ثاني أكسيد الكربون المسبب للاحتباس الحراري.

لمعلوماتك

■ في عام 1972م تم اكتشاف أنّ الأرض احتوت على مفاعلات نووية كانت تعمل تقريبًا مثل مفاعلات المحطات النّوويّة المعاصرة. وجدت هذه المفاعلات في مناجم اليورانيوم وهمدت قبل 1.7 بليون سنة. ولكنها أثبتت أنّ الطّاقة من نواة الذّرّة قديمة قدم الأرض نفسها.

يحتوي طن من الفحم على ما معدله 1.3 جزء من المليون (ppm) من اليورانيوم و3.2 PPm من الثوريوم. ولهذا السبب فإن محطات الطّاقة التي تحرق الفحم بهذا المعدل تعدّ مصدرًا للمواد النشطة إشعاعيًّا في الغلاف الغازي أكثر من محطات الطّاقة النّوويّة.



الشّكل 28.13
Pu-239، مثل U-235 ينشطر عند اصطياده لنيوترون.

يحدث التوليد إلى حدّ ما في المفاعلات الانشطارية جميعها، ولكن المفاعل المصمم خصيصًا لتوليد وقود انشطاري أكثر من الوقود الذي يغذى به يسمى مفاعلًا مولدًا. يشبه استخدام المفاعل المولد كما لو أنك تملأ خزان وقود سيارتك بالماء، بإضافة بعض البنزين، وعندما تستخدم سيارتك يصبح عندك بنزين أكثر بعد الرحلة مما كان قبلها! إنّ مبدأ المفاعل المولد جذاب. فبعد عدة سنوات من التشغيل، ستنتج محطة توليد الطّاقة كميات هائلة من الطّاقة وكمية من الوقود ضعف الكمية الأصلية. ولكن ما يؤخذ على هذا النوع من المفاعلات هو التعقيدات الكبيرة في التشغيل الآمن.

لقد أوقفت الولايات المتحدة منذ عقدين التفكير في المفاعلات المولدة، ولكن روسيا، وفرنسا، واليابان والهند ما زالت تستثمر فيها. يشير المسؤولون في هذه البلدان إلى أنّ مخزون U-235 في الطبيعة محدود. وبمعدل الاستهلاك الحالي، فإن المصادر الطّبيعيّة لليورانيوم -235 سوف تنضب خلال قرن. إذا قررت هذه البلدان العودة إلى المفاعلات المولدة فسوف تفتش عن المخلفات الإشعاعيّة التي دفنتها.

لمعلوماتك

■ لقد تطوّرت تصاميم محطات القوى النّوويّة عبر السنين. توجد حاليًّا تصاميم مفاعلات نووية للجيل الرابع والتي ستكون تصاميم جديدة أساسًا. ستكون صغيرة مثلًا، وتتضمن معايير أمان عالية، وسوف تعمل على إطفاء المفاعل ذاتيًّا في الحالات الطارئة. وقد يكون مصدر الوقود هو اليورانيوم المستنفد من مخلفات المفاعلات السابقة. ستسمح تصاميم المفاعلات الجديدة بتكوين وقود هيدروجين من الماء. يهدف المنتدى الدولي إلى نشر الجيل الرابع من محطات الطّاقة للعمل خلال الـ 20 سنة القادمة.

■ 6.13 تكافؤ الكتلة والطّاقة: $E=mc^2$

في بداية 1900م، اكتشف ألبرت أينشتاين Albert Einstein أنّ الكتلة في الحقيقة هي طاقة "مُجمّدة". وأنّ الكتلة والطّاقة وجهان لعملة واحدة، كما عبر عنها في معادلته المشهورة $E = mc^2$. في هذه المعادلة، تمثل E الطّاقة لكتلة ساكنة، في حين تمثل m الكتلة، أمّا c فتمثل سرعة الضوء. تمثل ثابت التناسب بين الطّاقة والكتلة. إنّ العلاقة بين الطّاقة والكتلة هي المفتاح لفهم سبب الطّاقة في التّفاعلات النّوويّة وكيفية تحررها.

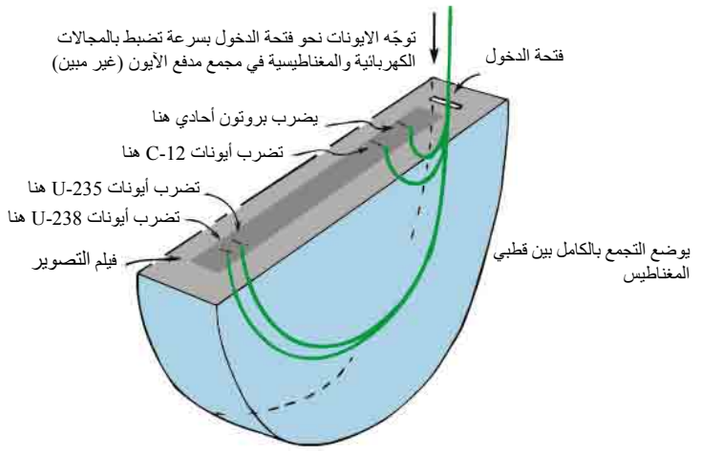
كلما زادت الطّاقة المرتبطة بجسيم، كانت كتلته أكبر. هل كتلة النوية داخل النّواة هي نفسها خارجها؟ يمكن الإجابة عن هذا السؤال، بحساب الشغل اللازم لفصل النويات عن النّواة. ونعرف من الفيزياء أنّ الشغل، وهو طاقة مبذولة، يساوي *القوة* × *المسافة*. فكر في مقدار القوة اللازمة لسحب نوية من النّواة إلى مسافة كافية للتغلب على قوة الجذب النّوويّة القوية. يشار إلى ذلك بشكل ساخر في الشّكل 29.13؛ حيث تلزم كمية هائلة من الشغل. وهذا الشغل يذهب كطاقة للنوية المنزوعة من النّواة.

الشّكل 29.13
يتطلب بذل شغل هائل لسحب نوية من نواة الذّرة . يزيد هذا الشغل من الطّاقة ومن ثم كتلة النوية خارج النّواة.

تشير المعادلة $E=mc^2$ إلى أنّ الكتلة هي طاقة مكثفة. الكتلة والطّاقة وجهان لعملة واحدة.

ووفقًا لمعادلة أينشتاين تعبر هذه الطّاقة المتحصل عليها كزيادة في كتلة النويات. تكون كتلة النوية خارج النّواة أكبر من كتلة النوية المحبوسة نفسها داخل النّواة. وكما نوقش في الفصل 14، فنواة ذرة الكربون -12 -تتكون من 6 بروتونات و6 نيوترونات؛ لها 12.00000 وحدة كتلة ذرية (و.ك.ذ) تمامًا. وبالمعدل فكل نوية تساهم بوحدة كتلة ذرية واحدة. ولكن خارج النّواة، تبلغ كتلة البروتون 1.00728 و.ك.ذ وكتلة النيوترون 1.00867 و.ك.ذ. وعليه، فإنّ مجموع 6 بروتونات حرة و6 نيوترونات حرة هي

$$\left[(6\times1.00867)+(6\times1.00728)\right]=12.09570\cdot$$



الشّكل 30.13

مطياف الكتلة(Mass Spectrometer).
توجه النظائر المشحونة كهربائيًّا إلى «طبلة» شبه دائرية، حيث تجبر على سلوك مسار شبه دائري بتأثير مجال مغناطيسي قوي. يكون للنظائر الأخف قصور ذاتيّ أقل (كتلة)، وبسهولة يتغير اتجاهها وتسحب إلى منحنيات أنصاف أقطارها أصغر. في حين يكون للنظائر الأثقل قصور ذاتيّ أكبر (كتلته)، ومن ثم تسحب إلى منحنيات أنصاف أقطارها أكبر. وأخيرًا، تتناسب كتلة النظير مباشرة مع بعده عن مكان نزوله.

لمعلوماتك

■ **يزودنا مطياف الكتلة الفائق الحساسية بنتيجة سريعة، مما يجعله مثاليًّا للكشف عن الجزيئات المرتبطة بالمتفجرات في المطارات والمحطات الأمنية. يمسح رجل الأمن الأمتعة بقطعة قماش ناعمة توضع بعد ذلك في المطياف. تتبخر الجزيئات الموجودة على قطعة القماش في داخل الحجرة التي يتم تأيينها لتحديد نوع الجزيئات وفق خصائصها الكتلية.**

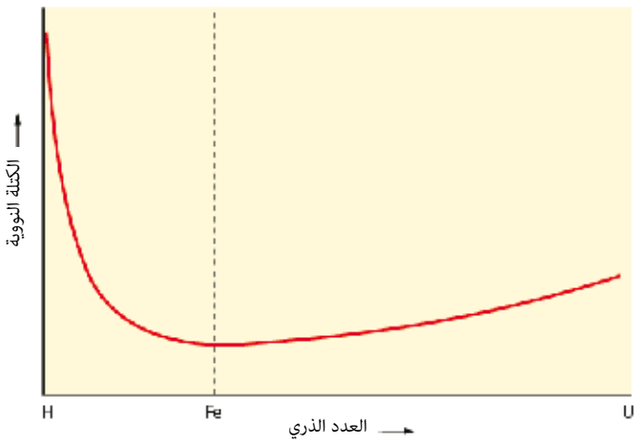
يمكن قياس كتلة نظائر مختلف العناصر بدقة باستخدام مطياف الكتلة. (الشّكل 30.13). يَستَخدم هذا الجهاز المجال المغناطيسي لحرف أيونات هذه النظائر في أقواس دائرية. وكلما كبرت كتلة الأيون، زادت مقاومته للانحراف، وزاد نصف قطر مسار الانحناء كذلك. تدفع القوة المغناطيسية الأيونات الخفيفة في أقواس صغيرة، والأيونات الثقيلة في أقواس أكبر.

يبين الشّكل 31.13 رسمًا للكتل النّوويّة للعناصر من الهيدروجين إلى اليورانيوم. يصعد ميل المنحنى مع زيادة العدد الذري كما هو متوقع: تزداد كتلة العناصر كلما زاد العدد الذري. ينحني الميل بسبب الزيادة النسبية في عدد النيوترونات على عدد البروتونات في الذرات الكبيرة.

ينتج الشّكل الأكثر أهمية من الرسم البياني للكتلة النّوويّة لكل نوية من الهيدروجين حتى اليورانيوم (الشّكل 32.13). ربما يكون هذا أهم شكل في هذا الكتاب؛ لأنه المفتاح لفهم الطّاقة المرتبطة بالعمليات النّوويّة. (بالمثل، إذا قسمت مجموع كتلة الأشخاص في الغرفة على مجموع عددهم، فستحصل على معدل الكتلة للشخص الواحد. لحساب متوسط الكتلة لكل نوية تقسم مجموع كتلة النّواة على عدد النويات فيها).

الشّكل 31.13

يبين الرسم كيفية ازدياد الكتلة مع زيادة العدد الذري.



الشّكل 32.13

يبين الرسم اعتماد معدل كتلة النوية على النّواة التي تحويه. تكون كتلة النويات أكبر ما يمكن في أخف الأنوية، أقلها كتلة في الحديد والكتلة الوسطية في أثقل الأنوية.

الشّكل 33.13
تكون كتلة كل نوية في نواة اليورانيوم أكبر من كتلة كل نوية في أي شظية ناتجة عن الانشطار النّوويّ. إنّ الكتلة المفقودة هي تلك الكتلة التي تحوّلت إلى طاقة. ولهذا يعدّ الانشطار النّوويّ عملية تحرير طاقة.

لاحظ أنّ كتلة النويات تختلف باختلاف الأنوية التي تحتويها. تحدث أكبر كتلة لكل نوية للبروتون الوحيد، وهو الهيدروجين، بسبب عدم وجود طاقة ربط لإنقاص كتلته. وبالتقدم إلى ما بعد الهيدروجين، تصغر الكتلة لكل نوية، وتكون أقل ما يمكن في ذرة الحديد. وبعد الحديد، تعكس العملية نفسها وتبدأ كتلة النويات في الزيادة في الذرات مع زيادة العدد الذري. وتستمر هكذا حتى اليورانيوم والعناصر الأثقل منه.

من الشّكل 32.13، يمكن معرفة كيفية تحرر الطّاقة عندما تنقسم نواة اليورانيوم إلى نواتين لهما عدد ذري أقل. ولأنّ اليورانيوم يقع عن يمين الشّكل فإن الكتلة لكل نوية كبيرة. وعند انقسام نواة اليورانيوم إلى نصفين، تتشكل نواتان أصغر من النّواة الأصلية عددهما الذري أقلّ. إنّ هذه الأنوية، كما يبين الشّكل 33.13، موجودة أسفل اليورانيوم، وهذا يعني أنّ الكتلة لكل نوية لهما أقل من اليورانيوم. أي أنّ النويات تفقد جزءًا من كتلها عند انتقالها من نويات يورانيوم إلى نويات منشطرة. وعند ضرب هذا النقصان في الكتلة في مربع سرعة الضوء (c^2 في معادلة أينشتاين) فإنّ الناتج يساوي الطّاقة المتحررة لكل نواة يورانيوم تتعرض للانشطار.

إنّ الرسم في الشّكل 32.13 (والشّكلين 13.33 13.34) يوحي بأنّ طاقة نواة الذّرّة هي مصدر أولي من مصادر الطّاقة في العالم. ولهذا السبب يمكن اعتبارهما من أهم الرسوم في هذا الكتاب.

نقطة فحص

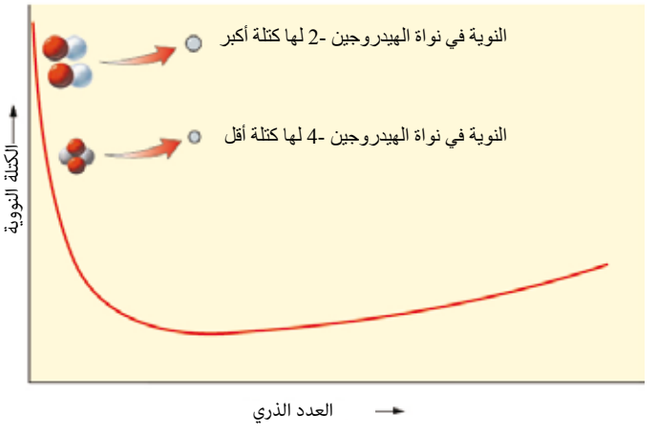
صحح العبارة الآتية: عند انشطار عنصر ثقيل كاليورانيوم، يكون عدد النويات بعد التّفاعل أقل منه قبل التّفاعل.

هل كانت هذه إجابتك؟

عندما ينشطر عنصر ثقيل مثل اليورانيوم، لا يتغير عدد النويات بعد التّفاعل. إلا أنّ الكتلة لعدد النويات نفسه تنقص.

يمكن التفكير في منحنى الكتلة لكل نوية كمواد للطاقة، والذي يبدأ بالهيدروجين (أعلى نقطة) ثم يبدأ الميل في النقصان بشدة إلى أقل نقطة (الحديد). ثمّ يبدأ الميل في الارتفاع تدريجيًّا حتى اليورانيوم. يقع الحديد في أدنى نقطة من المنحنى وهو النّواة الأكثر استقرارًا. كما أنّه النّواة الأكثر ترابطًا، أي أنه يتطلب طاقة أكبر لكل نوية لفصلها عن نواتها أكثر من الطّاقة المطلوبة لفصل غيرها من الأنوية.

إنّ الطّاقة النّوويّة الحالية جميعها طاقة انشطارية. وعلى المدى البعيد، يوجد مصدر طاقة واعد إلى الجانب الأيسر من منحنى الطّاقة.



الشّكل 34.13
تكون كتلة كل نوية في نواة الهيدروجين-2 أكبر من كتلة النوية كلّها في نواة الهليوم-4، والذي ينتج عن اندماج نويتين من أنوية الهيدروجين -2. تتحوّل الكتلة المفقودة إلى طاقة. ولهذا، يكون الاندماج النّوويّ عملية تحرر للطاقة.

لمعلوماتك

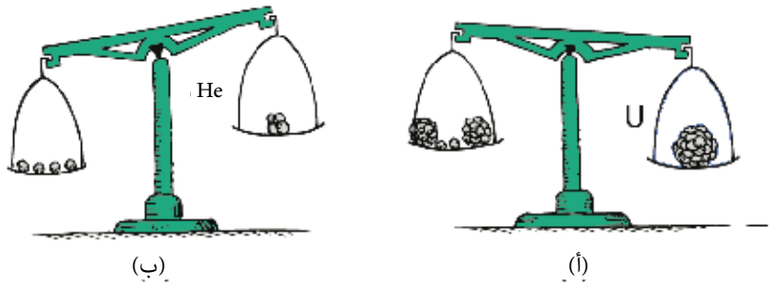
■ هناك تفاعل مألوف هو انصهار – أنوية H-2 وH-3 لتصبح He-4 زائد نيوترون. إنّ معظم الطّاقة المتحررة هي طاقة حركية للنيوترون المنطلق. وبقية الطّاقة تكون لنواة He-4 المرتدة. من المثير أنه دون حامل الطّاقة النيوترون، لا يحدث تفاعل الانصهار. وتقاس شدة تفاعلات الانصهار بعدد النيوترونات المصاحبة.

■ 7.13 الاندماج النّوويّ

لاحظ أنّ الرسوم في الشّكلين 32.13 و33.13 تبين أنّ الجزء الأكثر انحدارًا في منحنى الطّاقة يبدأ من الهيدروجين حتى الحديد. تتحرر الطّاقة باتحاد الأنوية الخفيفة. إنّ اتحاد الأنوية هو **الاندماج النّوويّ**؛ عكس الانشطار النّوويّ. ويبين الشّكل 34.13، أنه في أثناء الحركة عبر قائمة العناصر من الهيدروجين حتى الحديد، يتناقص معدل الكتلة لكل نوية. وعليه، فعند التحام نواتين صغيرتين، مثل نظيري الهيدروجين، تكون كتلة نواة الهيليوم -4 الناتجة أقل من كتلة النواتين الصغيرتين قبل الالتحام (الاندماج). وتتحرر طاقة عند اندماج الأنوية الصغيرة.

ولحدوث تفاعل الاندماج، يجب أن تكون سرعة الأنوية المصطدمة عالية جدًّا حتى تتغلب على تفاعل التنافر المتبادل بينهما. إنّ السرعات المطلوبة لحدوث الاندماج تُناظر درجات الحرارة العالية جدًّا الموجودة في الشمس والنجوم الأخرى. يسمى الاندماج الذي يتم الحصول عليه بالحرارة العالية **الاندماج النّوويّ الحراري *(Thermal Nuclear fusion)***؛ في درجات الحرارة العالية للشمس، يتحوّل 657 مليون طن من الهيدروجين إلى 653 مليون طن من الهليوم في *كل ثانية* تقريبًا. في حين تتحوّل الأربع ملايين طن الأخرى إلى طاقة إشعاعات.

وبالمعنى الحرفي للكلمة، فإنّ هذه التّفاعلات هي حرق نووي. يشبه الاندماج النّوويّ الحراري الاحتراق الكيميائي العادي. ففي الحالتين، هناك احتراق كيميائي ونووي، درجة حرارة عالية تبدأ بالتّفاعل. إنّ الطّاقة المتحررة من التّفاعل تؤدي إلى الإبقاء على درجة حرارة عالية لتسريع النار. وتكون نتيجةُ التّفاعل الكيميائي اتحادَ ذرات لتكوين جزيئات أكثر ارتباطًا. وفي تفاعلات الاندماج النّوويّ، تنتج نوى أكثر استقرارًا. وفي الحالتين، تنقص الكتلة لإنتاج طاقة.



الشّكل 35.13
لا تساوي كتلة النّواة مجموع كتل مكوناتها (أ) تكون مجموع كتلة الشظايا الناتجة عن انشطار النّواة الثقيلة مثل اليورانيوم أقل من كتلة نواة اليورانيوم. (ب) مجموع كتلة بروتونين ونيوترونين وهما في حالة عدم الاتحاد من كتلتيهما عندما يتحدان لتكوين نواة الهيليوم .

■ **نقطة فحص**

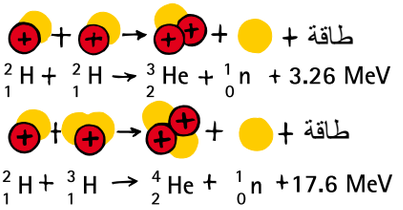
1. الانشطار والاندماج عمليتان متعاكستان، ومع ذلك فكلاهما يحرر طاقة. أليس هذا تناقضًا؟
2. لكي نحصل على طاقة نووية من عنصر الحديد، هل علينا دمج الحديد أم شطره؟
3. تنبأ ما إذا كانت درجة حرارة قلب نجم تتزايد أم تتناقص عند التحام أنوية عنصر الحديد، أو اندماج أنوية عناصر أخرى لها أعداد ذرية أكبر من الحديد.

هل كانت هذه إجابتك؟

1. لا،لا،لا! يكون هذا تناقض فقط عندما يقال إنّ العنصر نفسه يطلق طاقة في العمليتين معًا: الانشطار والاندماج. إنّ اندماج العناصر الخفيفة وانشطار العناصر الثقيلة فقط هو الذي يُحدث نقصانًا في كتلة النوية ومن ثم تتحرر طاقة.
2. لا هذا ولا ذاك؛ لأنّ الحديد يقع في أدنى «منحنى الطّاقة». إنّ اندماج نواتين من الحديد ينتج عنصرًا إلى اليمين من الحديد على المنحنى؛ حيث تكون الكتلة لكل نوية أكبر. وإذا شُطرت نواة الحديد، فستكون النواتج عن اليسار من الحديد على المنحنى- أيضًا كتلة أكبر لكل نوية. لذا لا تتحرر طاقة. ولتحرير طاقة يلزم «نقص في الكتلة»، ونقص الكتلة هو الأساس في هذه العملية الكيميائية أو النووية.
3. في اندماج الحديد أو أي أنوية أكبر من أنويته، يحدث امتصاص في الطّاقة ويبرد قلب النجم في المراحل الأخيرة من التطور. وهذا يؤدي إلى انهيار النجوم، والتي تزيد من درجة حرارتها بشكل هائل. ومن المدهش أنّ العناصر الأكبر لا تصنع من الحديد في دورات الاندماج العادية في المصادر النجمية، ولكنها تصنع عند الانفجار العنيف للنجوم؛ أي السوبر نوفا.

قبل تصنيع القنبلة الذّريّة، لم تكن درجات الحرارة الضرورية لحدوث اندماج نووي متوافرة على الأرض. وعندما وجد العلماء أنّ درجة الحرارة الناتجة عن انفجار القنبلة النّوويّة تكون بين أربعة إلى خمسة أضعاف درجة حرارة مركز الشمس، أصبحت القنبلة النّوويّة الحرارية على بعد خطوة. تم تفجير أول قنبلة نووية حرارية، القنبلة الهيدروجينية في عام 1952م. وفي حين تحدد الكتلة الحرجة للمادة المنشطرة حجم القنبلة الانشطارية (القنبلة الذّريّة)، فإنّه لا يوجد حدود للقنبلة النّوويّة الحرارية الاندماجية (القنبلة الهيدروجينية)، كما هو الحال في عدم وجود قيود على حجم مستودع تخزين النفط. يمكن تخزين أي كمية من الوقود الاندماجي حتى لحظة الاشتعال. ومع أنّ مجرد عود ثقاب يكفي لإشعال مستودع نفط، فليس أقل من طاقة القنبلة الذّريّة كافيًا لإشعال القنبلة النّوويّة الحرارية. وهكذا، ليس هناك ما يسمى القنبلة الهيدروجينية "الصغيرة". فعلى سبيل المثال، فإنّ قنبلة عادية من القنابل النّوويّة الحرارية الموجودة في المخازن الاحتياطية للولايات المتحدة تبلغ قوتها التدميرية نحو 1000 مرة من تلك التي فجرت فوق هيروشيما في الحرب العالمية الثانية.

يمكن اعتبار القنبلة الهيدروجينية مثالًا آخر على الاختراعات التدميرية بدلًا من الاختراعات المفيدة. وتكمن الفائدة في احتمالية السيطرة على كمية الطّاقة المفيدة الهائلة المتحررة من تفاعلات الاندماج.

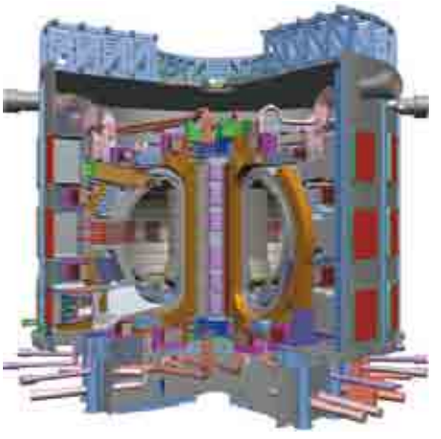


الشّكل 36.13

تفاعلات اندماج نظائر الهيدروجين. تحمل النيوترونات معظم الطّاقة المتحررة التي تقذف بسرعات عالية.

الاندماج المسيطر عليه

يتطلب إجراء تفاعلات الاندماج تحت ظروف يمكن التحكم فيها؛ درجات حرارة بملايين الدرجات. هناك العديد من الآليات للحصول على درجات حرارة عالية. ولكن المشكلة تكمن في أنه كيفما أنتجت درجة الحرارة العالية، فإنّ المواد جميعها تذوب وتتبخر عند درجات الحرارة المطلوبة للاندماج. وللحيلولة دون ذلك، يحصر التّفاعل في وعاء غير مادي. إنّ الوعاء غير المادي هذا هو المجال المغناطيسي، والذي يمكن الحصول عليه عند أي درجة حرارة ويؤثر بقوة كبيرة في الشحنات الكهربائية المتحركة. "الجدران المغناطيسية" ذات القوة الكافية تزودنا بسترة ضيقة للغازات الحارة والتي تسمى بلازما. تسخن زيادة الانضغاط المغناطيسي البلازما حتى درجة حرارة الاندماج. حتى هذه اللحظة، فإنّ الاندماج بالحصر المغناطيسي ناجح جزئيًّا؛ لأنّ التّفاعل المستدام والمسيطر عليه بعيد المنال.



الشّكل 37.13
منظر لمقطع عرضي (ITER) الذي صمم ليني ويعمل في (Cadarache) في فرنسا.

وعلى الرغم من عدم وجود محطة قوى اندماجية حتى الآن، إلا أنّ هناك مشروعًا دوليًّا يهدف إلى إثبات إمكانية عمل محطة قوى اندماجية في المستقبل. يسمى المفاعل التجريبي النّوويّ الحراري الدولي (ITER). بعد إتمام بنائه في (Cadarache) في فرنسا، يتوقع أن يبدأ أول تفاعل اندماجي مستدام بحلول عام 2015 (الشّكل 37.13). سيحوي هذا المفاعل غاز الهيدروجين المشحون كهربائيًّا (بلازما) والمسخن إلى درجة حرارة أعلى من 100 مليون درجة سيليزية، وهذه أسخن من مركز الشمس. وبالإضافة إلى إنتاجه 500 ميجاوات من الطّاقة، يمكن أن يُكوّن مصدرًا للطاقة لإنتاج الهيدروجين H_2، والذي يمكن استخدامه لشحن خلايا الوقود، مثل تلك المستخدمة في السيارات.

إذا كان الناس في يوم من الأيام يريدون الانطلاق حول الكون كما نطير حول الأرض اليوم، فإن تزويدهم بالوقود مضمون. الوقود هو اندماج الهيدروجين، وهو متوافر في كل مكان في العالم، ليس فقط في النجوم، بل في الفضاء بينها كذلك. ويقدر أنّ 91% من ذرات الكون هيدروجين. وعليه، سيضمن الناس مستقبلًا وفرة المواد، لأن العناصر المعروفة جميعها نتجت عن اندماج أكثر وأكثر من أنوية الهيدروجين. يمكن للبشر تصنيع عناصرهم وإنتاج الطّاقة في أثناء هذه العملية، كما تفعل النجوم على الدوام.

ملخّص المصطلحات

النّشاط الإشعاعيّ Radioactivity: عملية تنشطر فيها نواة ذرة غير مستقرة وتطلق إشعاعًا.

جسيم ألفا Alpha particle: نواة ذرة الهيليوم ، والتي تتكون من بروتونين ونيوترونين تطلق من بعض العناصر المشعة.

جسيم بيتا Beta particle: إلكترون (أو بوزترون) يطلق خلال عملية انحلال إشعاعي من بعض النويات.

أشعة جاما Gamma ray: إشعاعات كهرومغناطيسية عالية التردد تطلق من أنوية ذرات مشعة.

الراد Rad: كمية كبيرة من الطّاقة الإشعاعيّة تساوي 0.01 جول من الطّاقة الممتصة لكل كيلوجرام من النسيج الحي.

الرم Rem: وحدة قياس لمقدرة الإشعاع على إلحاق الضرر بالأنسجة الحية.

القوة النّوويّة القوية Strong nuclear force: قوة التّفاعل بين النويات جميعها، وهي فاعلة في المسافات القصيرة جدًّا فقط.

عمر النصف Half-life: الزمن اللازم لانحلال نصف عدد ذرات عينة نظير مشع.

تحوّل Transmutation: تحوّل نواة ذرة عنصر ما إلى نواة ذرة عنصر آخر من خلال فقد أو اكتساب عدد من البروتونات.

التّأريخ بالكربون - 14 Carbon-14 dating: عملية تقدير عمر مادة كانت حية بقياس كمية نظير الكربون المشع المتبقي فيها.

الانشطار النّوويّ Nuclear fission: انقسام نواة ذرة ثقيلة، مثل اليورانيوم - 235، إلى جزأين رئيسين، مصحوبًا بتحرير طاقة هائلة.

التّفاعل المتسلسل Chain reaction: تفاعل مستدام ذاتيًّا، وتحفز فيه نواتجُ حدوث تفاعل واحد حدوثَ تفاعلات أخرى.

الكتلة الحرجة Critical mass: الحد الأدنى من كتلة المادة الانشطارية في المفاعل أو القنبلة النّوويّة، والذي يبقى على التّفاعل المتسلسل مستمرًّا.

الاندماج النّوويّ Nuclear fusion: اتحاد أنوية ذرات عناصر خفيفة لتشكيل أنوية ثقيلة، مصحوبة بتحرير طاقة هائلة.

تفاعل نووي حراري Thermonuclear fusion: اندماج نووي ينتج عن الحرارة العالية.

أسئلة مراجعة

1.13 النّشاط الإشعاعيّ

1. أيها له قدرة اختراقية أكبر: جسيمات ألفا، أم جسيمات بيتا، أم أشعة جاما؟
2. هل يشع جسم الإنسان طبيعيًّا؟
3. هل النّشاط الإشعاعيّ على الأرض حديث نسبيًّا؟ دافع عن جوابك.
4. ما الفرق بين الراد والرم؟
5. كيف تُستخدم النظائر المشعة في التشخيص الطبي؟

2.13 النواة الذّرية والقوة النّوويّة القوية

6. لماذا لا تعمل قوة التنافر الكهربائية بين البروتونات في نواة الذّرة على تباعدها؟
7. أيّ الأنوية تحتوي على نيوترونات أكثر من البروتونات: الكبيرة أم الصغيرة؟
8. كيف تختلف القوة النّوويّة القوية عن قوة الكهرباء؟
9. ما الدور الذي تقوم به النيوترونات في نواة الذّرة ؟

3.13 عمر ـ النصف والتّحوّل

10. ماذا نعني بـ عمر - النصف لعينة مشعة؟
11. ما عمر - النصف للراديوم-226؟
12. ما التغير الذي يحدث للعدد الذري عندما تطلق النّواة جسيم ألفا؟ وجسيم بيتا؟
13. ما مصير اليورانيوم جميعه المتوافر في العالم اليوم على المدى البعيد؟

4.13 التّأريخ بالقياس الإشعاعيّ

14. أيهما المشع: كربون -12، أم كربون -14؟
15. لماذا يوجد كربون -14في عظام حيّة أكثر من وجوده في العظام القديمة لميت له الكتلة نفسها؟
16. لماذا يكون التّأريخ بالكربون -14 عديم الجدوى لقطعة معدنية قديمة ولكن ليس لقطعة قماش قديمة؟
17. لماذا يوجد الرصاص في مخلفات مناجم اليورانيوم جميعها؟
18. لماذا نقدر عمر صخرة من معرفة نسبة الرصاص إلى اليورانيوم فيها؟

5.13 الانشطار النّوويّ

19. لماذا لا يحدث التّفاعل المتسلسل في مناجم اليورانيوم؟
20. هل إمكانية حدوث تفاعل متسلسل لقطعتين منفصلتين من اليورانيوم - 235 أفضل من حدوثه للقطعتين مجتمعتين؟
21. ما أوجه التشابه والاختلاف بين محطة المفاعل النّوويّ ومحطة فرن الوقود؟
22. كيف يولد المفاعل المولد الوقود النّوويّ؟

6.13 تكافؤ الكتلة ـ الطّاقة: $E=mc^2$

23. هل يلزم شغل لسحب نوية من ذرة النّواة؟ أين تكون طاقة النوية أكبر: خارج النّواة أم داخلها؟ ما شكل هذه الطّاقة؟
24. أي الأيونات يكون له أقل انحراف في مطياف الكتلة؟
25. في نواة أي ذرة يكون للنويات أقل كتلة؟
26. كيف تقارن كتلة كل نوية لليورانيوم مع كتلة كل نوية لأحد انشطارات اليورانيوم؟

7.13 الاندماج النّوويّ

27. إذا نظرت إلى الرسم البياني في الشكل 34.13 منحنى الطّاقة. فماذا يمكن أن تقول عن التّحوّلات النّوويّة التي تحدث في اتجاه الحديد؟
28. عند اندماج زوج من نظائر الهيدروجين، هل تكون كتلة النّواة الناتجة أكبر من مجموع كتلتي نواتي الهيدروجين، أم أقل؟
29. ما نوع الحاويات التي تستخدم لاحتواء البلازما عند درجات حرارة تبلغ ملايين الدرجات؟
30. من أين تحصل الشمس على طاقتها؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ■ لماذا تكون عينة مادة مشعة أسخن قليلًا من محيطها دائمًا؟
2. ■ هل من المحتمل أن تبث نواة هيدروجين جسيم ألفا؟ وضح إجابتك.
3. ■ هل تتوقع أن تزيد سرعة النواة بعد مغادرة جسيم ألفا مباشرة لها؟ وضح إجابتك.
4. ● كيف تختلف الشحنة الكهربائية بين كلّ من جسيم ألفا وجسيم بيتا وأشعة جاما؟
5. ■ لماذا تنحرف جسيمات كلّ من ألفا وبيتا في اتجاهين متعاكسين في المجال المغناطيسي؟ لماذا لا تنحرف أشعة جاما؟
6. ● تبلغ الشحنة الكهربائية لجسيم ألفا ضعف الشحنة الكهربائية لجسيم بيتا. ومع ذلك، فإنّ انحرافها في المجال المغناطيسي قليل. لماذا؟
7. ● في أي أنواع الإشعاعات: ألفا أم بيتا أم جاما يحدث تغير في العدد الكتلي؟ وأكبر تغير في العدد الذري؟
8. ● في أي أنواع الإشعاعات: ألفا أم بيتا أم جاما يحدث أقل تغير في العدد الكتلي؟ وأقل تغير في العدد الذري؟
9. ● يتنافر زوج من البروتونات معًا داخل النّواة، ولكنهما أيضًا يتجاذبان؟ فسّر.
10. ● إذا علمت أنّ لذرة ما 104 إلكترونات، و157 نيوترونًا، و104 بروتونات، فما الكتلة الذّريّة تقريبًا؟ وما اسم هذا العنصر؟
11. ● أي الإشعاعات: ألفا، أم بيتا، أم جاما تسيطر داخل طائرة تجارية على ارتفاعات مختلفة؟ ولماذا؟
12. ● عندما يطلق نظير البزموث -213 جسيم ألفا، فما العنصر الجديد؟ وما العنصر الجديد لو أطلق جسيم بيتا؟
13. ● عندما ينحل عنصر بإشعاع جسيم ألفا، فما العدد الذري للعنصر الناتج؟ وما العدد الكتلي للعنصر الجديد؟
14. ● ما العدد الذري والكتلة الذّريّة للعنصر الناتج عندما يطلق جسيم بيتا؟ وما هما إذا أطلق البولونيوم جسيم ألفا؟
15. ■ لا توجد عناصر أكبر من اليورانيوم في الجدول الدوري في الطبيعة بكميات مقيسة، وذلك لقصر أعمار النصف لها. ومع ذلك توجد عدة عناصر أسفل اليورانيوم في الجدول الدوري لها أعمار - نصف قصيرة مكافئة ولكنها تتوافر بكميات مقيسة في الطبيعة. بم تعلل ذلك؟
16. ● يقول أحد أصدقائك: إنّ الهيليوم المستخدم لملء البالونات هو نتاج انحلال إشعاعي. في حين لا يوافق على هذا صديق آخر. أيّهما على صواب؟
17. ● صديق آخر قلق لأنه يسكن بالقرب من محطة قوى انشطارية، ويأمل أن يتجنب الإشعاعات بالانتقال إلى الجبال الشاهقة والنوم على صخور الجرانيت في الليل. ما تعقيبك على ذلك؟

18. ● ذهب صديق آخر أيضًا في رحلة إلى سفوح التلال ليتجنب آثار النّشاط الإشعاعيّ. وعندما كان يستحم في المياه الدافئة لنبع طبيعيّ حار تعجب من أين تأتي الحرارة للنبع. فَبِمَ تخبره؟

19. ■ يحتوي الفحم على كميات قليلة من المواد الإشعاعيّة، ومع ذلك هناك إشعاعات بيئية تحيط بمحطة قوى الفحم أكثر من المحطة الانشطارية. إلامَ يشير ذلك بالنسبة إلى الحماية في كلتا المحطتين؟

20. ● يفحص صديق الإشعاع المحلي بعداد جايجر، والذي يظهر أصواتًا عند العد. صديق آخر يخاف كثيرًا من الأشياء التي لا يفهمها، ويحاول الابتعاد عن منطقة عداد جايجر، وطلب إليك نصيحة. فبم تنصحه؟

21. ♦ عندما يُشعع الغذاء بإشعاعات جاما من مصدر كوبالت – 60، هل يصبح الغذاء مشعًّا؟ دافع عن إجابتك.

22. ● كيف يُنتج الكربون -14 في الغلاف الجوي؟

23. ■ الراديوم -226 نظير مألوف على الأرض، وعمر - النصف له نحو 1600عام. إذا علمت أنّ عمر الأرض 5 بلايين سنة تقريبًا. فلماذا لا يزال الراديوم موجودًا حتى الآن؟

24. ■ هل يُنصح التّأريخ بالكربون لقياس عمر مواد أعمارها عدة سنوات؟ ماذا لو كانت أعمارها عدة آلاف من السنوات؟ وعدة ملايين من السنين؟

25. ■ لماذا لا يعدّ التّأريخ بالكربون – 14 دقيقًا لتقدير عمر مواد أكثر من 50,000 عام؟

26. ■ تم تحديد عمر مخطوطات البحر الميت بالتّأريخ بالكربون – 14. هل تكون هذه الطريقة مفيدة لو نحتت هذه المخطوطات على قطع حجرية؟ فسّر.

27. ■ لو أجريت إحصاءً لـ 1000 شخص ولدوا عام 2000، ووجدت أنّ نصفهم ما زال حيًّا عام 2060م، فهل يعني هذا أنّ رُبعهم سوف يكون حيًّا عام 2120م، وأن ثُمنهم سوف يكون حيًّا عام 2180م؟ ما الفرق بين معدلات الموت للأشخاص و«معدلات الموت» للذرات المشعة؟

28. ■ لماذا لا يتعرض يورانيوم المناجم لتفاعل متسلسل؟

29. ● لماذا ليس من المحتمل أن يستخدم الانشطار النّوويّ مباشرة وقودًا للسيارات أبدًا؟ كيف يمكن استخدامه بطريقة غير مباشرة؟

30. ♦ هل يزيد أم ينقص معدل المسافة التي يقطعها النيوترون خلال مادة منشطرة قبل أن ينبعث إذا كانت المادة المنشطرة مصنعة على شكل قطعتين أم قطعة واحدة؟ هل هذا البناء يزيد أم ينقص احتمالية الانفجار؟

31. أي الأشكال تعتقد أنها تحتاج إلى مادة أكثر للكتلة الحرجة: المكعب أم الكرة؟ فسّر.

32. ■ لماذا يصلح النيوترون للتسديد كقذيفة على نحو أفضل من البروتون أو الإلكترون؟

33. ■ لماذا لا يوجد البلوتونيوم بكميات وفيرة في الطبيعة أو في الخزانات؟

34. ● ما دور قضبان السيطرة في المفاعل النّوويّ؟

35. ♦ لماذا يكون الكربون مهدئًا أفضل من الرصاص في المفاعلات النّوويّة؟

36. ♦ يطلق اليورانيوم -235 في المعدل 2.5 نيوترون لكل انشطار، في حين يطلق البلوتونيوم -239، 2.7 نيوترون لكل انشطار. أي هذين العنصرين تتوقع أن يكون له كتلة حرجة أصغر؟

37. ● إذا امتصت نواة $^{232}_{90}\mathrm{Th}$ نيوترونًا وتعرضت النّواة الناتجة لانحلالين متتابعين من جسيمات بيتا، فما النّواة الناتجة؟

38. ● أي العمليتين يمكنها تحرير طاقة من الذهب، من الكربون، من الحديد: الانشطار أم الاندماج؟

39. ■ لكي تنشطر نواة اليورانيوم إلى ثلاثة أقسام متساوية تقريبًا بدلًا من قسمين، هل تتحرر طاقة أكثر أم أقل؟ دافع عن إجابتك باستخدام الشّكلين 32.13 و33.13.

40. ■ هل كتلة النّواة الذّريّة أكبر من مجموع النويات المكونة لها أم أقل؟ لماذا لا تتساوى مجموع كتل النويات مع كتلة النّواة؟

41. ♦ لقد بني المفاعل الأصلي عام 1942م وهو يكاد يكون حرجًا لأن اليورانيوم الطّبيعيّ الذي استعمل كان يحتوي على أقل من 1% من نظير U -235 المنشطر (عمر - النصف له 713 مليون سنه). ماذا لو كان عمر الأرض 9 بلايين سنة بدلًا من 4.5 بلايين سنة؟ هل كان هذا المفاعل ليصل إلى المرحلة الحرجة مع هذا اليورانيوم الطّبيعيّ؟

42. ● الأنوية الثقيلة مصنوعة لتنصهر على سبيل المثال بلحام نواة ذهب مع نواة أخرى. هل تحرر هذه العملية طاقة أم تستهلكها؟ فسّر.

43. ● يمكن تجزئة الأنوية الخفيفة كالديوترون، وهو اتحاد بروتون - نيوترون، إلى بروتون ونيوترون. هل تحرر هذه العملية طاقة أم تستهلكها؟ فسّر.

44. ● هل يلزم شغل لسحب نوية من نواة ذرية؟ هل كتلة النوية خارج النّواة، أكبر منها داخلها أم أقل؟

45. ■ أيهما يحرر طاقة أكثر: انشطار نواة يورانيوم مفردة أم اندماج نواتين من الديتيريوم؟ انشطار 1جم من اليورانيوم أم اندماج 1جم من الديتيريوم؟ ما السبب في اختلاف إجاباتك؟

46. ● علينا الحصول على استدامة الاندماج النّوويّ والذي يبقى الأمل في وفرة الطّاقة في المستقبل. ومع ذلك، فإن الطّاقة التي تستدعينا دائمًا هي طاقة الاندماج النّوويّ. فسّر.

47. ♦ إذا كان الاندماج النّوويّ لا يُنتج نظائر مشعة محسوسة، فَلِمَ تنتج القنبلة الهيدروجينية كثيرًا من الغبار النّوويّ؟

48. ■ اشرح كيف أنّ الانحلال الإشعاعيّ قد سخّن باطن الأرض على الدوام، وكيف أنّ الاندماج النّوويّ سخّن الأرض من الخارج على الدوام.

49. ■ يسمى الهيدروجين العادي أحيانًا الوقودَ المثالي، بسبب توافره غير المحدود على الأرض، كما أنه عندما يحترق، فنتيجته الماء غير الضار. وعليه، لِمَ لا نبتعد عن الانشطار والاندماج النّوويّين، عدا عن الوقود الأحفوري، ونستعمل الهيدروجين فقط؟

50. ● ما توقعك حول التغيرات العالمية التي يمكن حدوثها تبعًا للنجاح في اختراع مفاعلات اندماجية؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ■ نظير السيزيوم -137، له عمر - النصف 30 سنة، وهو من نواتج محطات القوى النّوويّة. كم من الوقت يمضي حتى يتبقى $\frac{1}{16}$ من كميته الأصلية؟
2. ■ إذا كان عمر - النصف لعنصر مشع معين هو ساعة واحدة. إذا بدأت بعينة كتلتها 1 جم عند الساعة (12:00) ظهرًا، فكم سيبقى منه عند الساعة 3:00 بعد الظهر؟ وعند الساعة 6:00 بعد الظهر أيضا؟ وكذلك عند الساعة 10:00 بعد الظهر؟
3. ■ وضعت عينة من نظير مشع إلى جانب عداد جايجر، ولوحظ أنه يسجل 160 نقطة كل دقيقة. وبعد 8 ساعات سجل 10 نقاط لكل دقيقة. ما عمر - النصف لهذه المادة؟
4. ♦ افترض أنك قست شدة الإشعاع من كربون -14 لقطعة خشب قديمة فكانت 6%. قدّر شدة إشعاع لقطعة حديثة. ما عمر هذه القطعة القديمة؟
5. ♦ افترض أنك تريد معرفة كمية الكيروسين في خزان تحت الأرض، فسكبت جالونًا واحدًا من الكيروسين الذي يحتوي على مادة إشعاعية والتي عمر - النصف لها كبير جدًّا، وتعطي 5000 نقطة لكل دقيقة. وفي اليوم التالي، أخذت جالونًا من الخزان وقست نشاطه الإشعاعيّ فكان 10 نقاط لكل دقيقة. ما كمية الكيروسين في الخزان؟

أنشطة استكشافية

1. اكتب رسالة إلى صديق لتبديد أي فكرة لديه حول حداثة النّشاط الإشعاعيّ في العالم. اربط ذلك مع فكرة أنّ العديد من الناس الذين لديهم وجهة نظر قوية مع هذه الفكرة هم الأقل فهمًا لها.
2. اكتب رسالة إلى صديق تناقش فيها محطة القوى النّوويّة. ناقش فوائدها وأخطارها، وفسر كيف تؤثر المقارنة في وجهة نظرك الشخصية من القوى النّوويّة. فسر كيف يختلف الانشطار والاندماج النّوويّين.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا تمكنت من استيعاب هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر الإجابة المناسبة لكلّ ما يلي:

1. هل من المحتمل يومًا ما أن تطلق نواة الهيدروجين جسيم ألفا؟
أ. نعم؛ لأن جسيمات ألفا أبسط أشكال الإشعاعات.
ب. لا؛ لأنه يتطلب انشطارًا نوويًّا للهيدروجين، وهذا مستحيل.
ج. نعم؛ على الرغم من عدم حدوثه على العموم.
د. لا؛ لأنها لا تحتوي على نويات كافية.
2. في قذف نواة ذرة بالبروتون "كرصاصة"، يجب تسريع البروتونات إلى طاقات عالية حتى تصل إلى النّواة الهدف لأنّ:
أ- الأنوية الهدف صغيرة جدًّا.
ب- الأنوية الهدف سالبة الشحنة.
ج- الإلكترونات المحيطة يجب أن تخترق النّواة الهدف.
د- الأنوية الهدف موجبة الشحنة.
3. نتوقع أن تكون جسيمات ألفا أقل قدرة على اختراق المواد التي لها الطّاقة الحركية نفسها لأنّ:
أ- أشعة ألفا تتحد مع الإلكترونات لتصبح ذرات هيليوم غير ضارة.
ب-جسيمات ألفا تحمل شحنة كهربائية مضاعفة.
ج- جسيمات ألفا تتحرك ببطء عند تساوي الطّاقة الحركية.
د- أي بديلين مما سبق.
4. إنّ الدليل الذي يدعم فكرة أنّ القوة النّوويّة القوية أشد من التّفاعلات الكهربائية للمسافات بين النّوويّة هي:
أ- وجود البروتونات بعضها بجانب بعض في نواة الذّرّة.
ب- انحلال النيوترونات ذاتيًّا إلى بروتونات وإلكترونات.
ج- مستودعات اليورانيوم أسخن قليلًا من محيطها.
د- يحدث التداخل الراديوي بالقرب من أي مصدر مشع.
5. هل من المحتمل انحلال عنصر إلى الأمام في الجدول الدوري؛ أي أن ينحل لعنصر أعلى منه في العدد الذري؟
أ- يُحرض الانحلال بالاصطدام مع بروتون.
ب- عندما يتحرر جسيم بيتا، يتحوّل النيوترون إلى بروتون.
ج- هذا يحدث فقط خلال الاندماج النّوويّ.
د- من غير المحتمل، ينتج عن الانحلال الإشعاعيّ دائما نظير له العدد الذري نفسه أو أقل.
6. نظير السيزيوم -137، والذي عمر النصف له 30 سنة، هو أحد نواتج محطات القوى النّوويّة. إنّ الوقت الذي يمر عليه حتى تنحل نصف كميته الأصلية هو:
أ- لاشيء.
ب- 15 سنة.
ج- 30 سنة.
د- 60 سنة.
هـ- 90 سنة.

7. عندما تصل قضبان وقود من اليورانيوم إلى نهاية دورة الوقود (عادة ثلاث سنوات) تأتي معظم طاقتها من انشطار البلوتونيوم لأنّ:
أ-البلوتونيوم -239 المنشطر يتشكل عندما يمتص235-U نيوترونات من انشطار 238- U.
ب-البلوتونيوم -239 المنشطر يتشكل عند امتصاص 235-U النيوترونات من انشطار 238 -U.
ج- البلوتونيوم -39 المنشطر يتشكل عندما يمتص 238- U جسيمات ألفا من انشطار 235- U.
د- البلوتونيوم 239- المنشطر يتشكل عندما يمتص 235- U جسيمات ألفا من انشطار 238- U.
8. يُحرر اليورانيوم -235 ما معدله 2.5 نيوترون لكل انشطار، أما البلوتونيوم -239 فيحرر 2.7 نيوترون لكل انشطار. لأي هذه العناصر تتوقع أن تكون كتلته الحرجة أصغر؟
أ- البلوتونيوم -239
ب- اليورانيوم -235
ج- لا يؤثر عدد النيوترونات المتحررة لكل تفاعل في مقدار الكتلة الحرجة.
د- لا يحدد عدد النيوترونات المتحررة لكل انشطار — الكتلة الحرجة للعناصر.
9. إذا انقسم اليورانيوم إلى 90 جزءا ذات أحجام متساوية بدلًا من جزأين، فستتحرر طاقة :
أ- أقل؛ لأن الكتلة لكل نوية أقل.
ب- أقل؛ لأن الكتلة لكل نوية أكبر.
ج- أكبر؛ لأن الكتلة لكل نوية أقل.
د- أكبر؛ لأن الكتلة لكل نوية أكبر.
10. للتنبؤ بكمية الطّاقة المتحررة سواء كان التّفاعل انشطارا أو اندماجا، فسّر كيف يستخدم فيزيائي الجدول الدوري ومعادلة.
أ- إيجاد التغير في الكتلة والقسمة على مربع سرعة الضوء.
ب- إيجاد التغير في الكتلة وضربها في مربع سرعة الضوء.
ج- إيجاد التغير في الكتلة، وتربيعها ومن ثَمَّ ضربها في سرعة الضوء.
د- إيجاد التغير في الكتلة، وأخذ الجذر التربيعي لها، ومن ثم ضربها في سرعة الضوء.

إجابات إختبار الإستعداد للقراءة

10ب، 6ب، 8أ، 7د، 9ج، 5ب، 4أ، 3د، 2ج، 1ب

اكتشف المزيد

http://www.iaea.or.at

موقع على الشبكة خاص بالوكالة الدولية للطاقة الذرية، والتي تراقب جميع القضايا المتعلقة بالتقنية النووية. وهذا الموقع هو الاختيار الأفضل للبدء في استكشاف التطبيقات الكثيرة للمفهوم الذي استعرض في هذا الفصل.

http://www.iter.org

موقع مشروع المفاعل النووي الحراري الدولي التجريبي. استكشف هذا الموقع للتعرف على احدث العلوم والسياسات المرتبطة بهذا المشروع الهام.

http://www.ocrwm.doe.gov

مكتب إدارة النفايات المشعة المدنية (OCRWM) برنامج دائرة الطاقة في الولايات المتحدة الامريكية المعين لتطوير وإدارة النظام الفدرالي المتخصص في التخلص من نفايات الوقود النووي الناتج عن المفاعلات النووية التجارية والنفايات النووية التي تحتوي على مستوى عالٍ من الاشعاعات الناتجة عن نشاطات هيئة الدفاع الوطنية. ستجد في هذا الموقع موقف الولايات المتحدة استكشف المزيد فيما يتعلق بمستودعات تخزين النفايات في مواقع جبل يوكا، ونيفاوا، والمواجع الأخرى المحتملة.

http://.ne.doe.gov

دائرة الطاقة في الولايات المتحدة مكتب الطاقة النووية العلوم والتقنية.

http://www.state.stats.nv.nucwaste

ولاية نيفادا هي موطن عدد كبير من مواقع اختبار الأسلحة كما الحال في جبل يوكا، وكما تعتبر منشأة التخزين المحتملة على المدى الطويل. هو موقع ولاية نيفادا، ومكتب الحاكم، ووكالة المشاريع النووية، ومكتب مشروع النفايات النووية.

الفصل 13 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

■ 13.2, 13.3, 13.4, 13.11, 13.22, 13.34, 13.35

دروس تعليمية

■ الفيزياء النووية

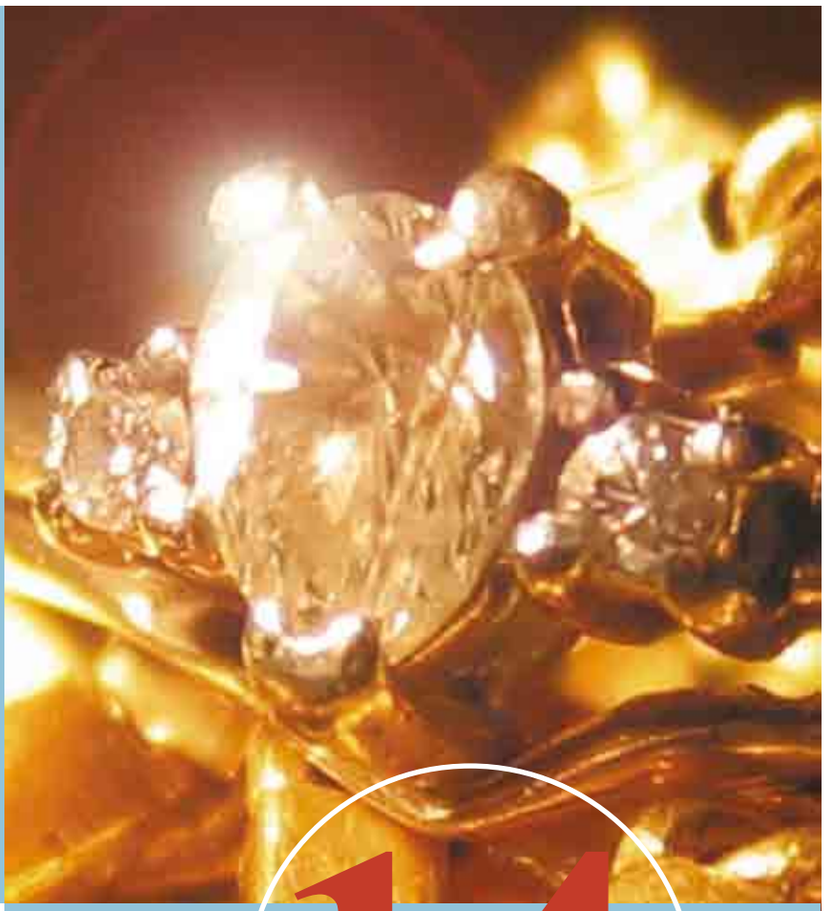
اشرطة فيديو

■ الاضمحلال الاشعاعي
■ عمر النصف
■ بلوتونيم

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط



عناصر الكيمياء

14

1.14 الكيمياء: العلم المركزيّ

2.14 العالم دون المجهريّ

3.14 الخصائص الفيزيائيّة والكيميائيّة

4.14 تحديد التغييرات الفيزيائيّة والكيميائيّة

5.14 من العناصر إلى المركّبات

6.14 تسمية المركبات

■ كلما تقدمت في دراسة مقرر العلوم الطّبيعيّة هذا، سوف تلاحظ تراكم قوائم المصطلحات المفتاحية المشار إليها باللون الغامق، ما سبب هذه الزيادة في المصطلحات الجديدة؟ لماذا لا يمكن وصف العلوم الطّبيعيّة باللغة العادية دون إضافة مفردات جديدة؟ خذ في الحسبان ما يلي: يجري العلماء تجارب في المختبر، يدوّنون ملاحظات، ومن ثمَّ يستخلصون النتائج. ومع مرور الزمن، يصبح لديهم كم هائل من المعرفة الجديدة والتي بالضرورة تتعدى طاقة المصطلحات الحاليّة. فمثلًا، نقول في الكيمياء إنّ هناك أكثر من 100 نوع من *الذرات*، وإنّ أيّ مادة تتكون من نوع واحد من الذرات تسمّى *عنصرًا*. (تظهر صورة عنصري الذّهب والكربون في افتتاحية هذا الفصل). وترتبط الذرات معًا لتكوين جزيء، ويسمّى الجزيءُ المكوّن من ذرات عناصر مختلفة *مركّبًا*. وهكذا يُبنى مصطلح على آخر كلما حاولنا وصف طبيعة المادة بطريقة أعمق من مظهرها المباشر. وبدلا من حفظ المصطلحات المفتاحية، يمكنك أن تفيد نفسك أفضل إذا ركّزت على المفهوم الذي يتضمنه المصطلح.

تذكر أنّ المصطلح هو مجرد علامة. ويمكنك تعرُّف المصطلح دون أن تستوعب المفهوم الذي يتضمنه؛ كما هو الحال في استطاعتك استيعاب المفهوم دون معرفة العلامة الدالة عليه. وعلى الرّغم من أهمية هذه المفردات للتواصل، إلا أنها لا تضمن استيعابا مفاهيميّا. فإذا ركزّت على المفاهيم أولًا، فسوف تأتي إليك المفردات الممثلة بشكل طبيعيّ.

تدرّب على توضيح صياغة المفاهيم الممثلة بخط أسود غامق وإعادتها. قم بذلك بصوت مرتفع لنفسك (أو لصديق)، وقلّل من النظر إلى الكتاب. عندما تكون قادرًا على التعبير عن هذه المفاهيم بلغتك الخاصة – بكلمات بسيطة – فسيتكوّن لديك فهم عميق لتتفوق في هذا المنهج وما بعده.

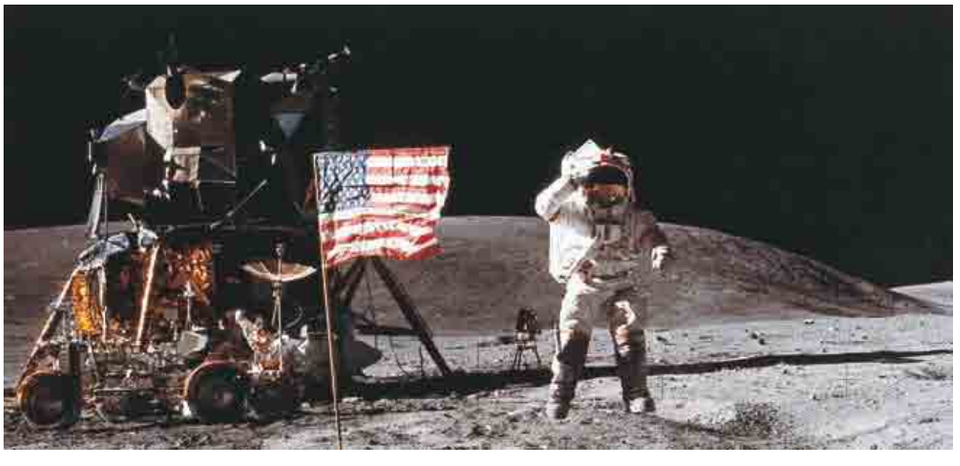
1.14 الكيمياء: العلم المركزيّ

عندما تسأل: ممَّ تتكون الأرض، والسماء، والمحيط. فأنت تفكر بالكيمياء. وعندما تتساءل كيف تحقّ برك الأمطار، وكيف تأخذ السّيارة الطّاقة من البنزين، وكيف يستخلص جسمك الطّاقة من الطّعام الذي تأكله، فأنت تفكر بالكيمياء مرة أخرى. وإذا أردنا تعريف الكيمياء فهي دراسة المادة والتّحوّلات التي تتعرض لها. والمادة هي أيّ شيء يحتل فضاءً. إنها الشّيء الذي يكوّن الأشياء المادية جميعها. كما أنّ المادة هي أيّ شيء تستطيع لمسه تذوّقه أو شمّه رؤيته أو سماعه. وهكذا، فإنّ مجال الكيمياء واسع جدًّا.

توصف الكيمياء غالبًا بأنها علم مركزي بسبب علاقتها مع فروع العلوم الأخرى جميعها. إنها تنبثق من مبادئ الفيزياء، وتخدم كأساس لأعظم علم معقد: علوم الحياة. في الحقيقة، إنّ العديد من المكتشفات العظيمة في علوم الحياة اليوم كالهندسة الوراثية، هي تطبيقات لبعض أوجه الكيمياء المثيرة والغريبة جدّا. لقد وضعت الكيمياء الأساس لعلوم الأرض الرئيسة: علم طبقات الأرض، وعلوم البحار، وعلم الصخور.

إضافة إلى أنها مكوّن مهم لعلم الفضاء، كما تم وصفه في الشّكل 1.14. وكما درسنا عن أصل القمر من التحاليل الكيميائيّة لصخوره في بداية السّبعينيّات. فنحن ندرس تاريخ المريخ وغيره من الكواكب من المعلومات الكيميائيّة التي جمعت بواسطة المجسات الفضائية.

لقد حدث التقدم العلمي بسبب قيام العلماء بالأبحاث. والبحث هو كلّ نشاط منهجيّ يهدف إلى اكتشاف منهجيّ يفسّر معرفة جديدة. إنّ العديد من العلماء يركزون على **البحث الأساسي (*Basic Research*)**. والذي يؤدي بنا إلى فهم أعمق لكيفية عمل العالَم الطبيعيّ.



الشّكل 1.14
مواد كيميائية خاصة، مثل وقود الصواريخ، فلزّات لسفن الفضاء، قماش لملابس الفضاء، جميعها تسمح لرواد الفضاء بالوصول إلى سطح القمر واستكشافه.

الشّكل 2.14

تشكّلت معظم أصناف المواد في البيوت الحديثة بفعل عمليات كيميائية من صنع الإنسان.

توظف الصناعات في الولايات المتحدة نحو 900000 كيميائيّ.

لقد أدّت قواعد المعرفة التي أوجدها البحث الأساسيّ إلى تطبيقات مفيدة. ويسمّى البحث الذي يهدف إلى تطوير هذه التطبيقات **بالبحث التّطبيقي *(Applied Research)***. والذي يركّز عليه معظم الكيميائيين في أبحاثهم . لقد زودنا *البحث التّطبيقيّ* في الكيمياء بالأدوية، والأغذية، والماء، والملجأ، وكثير من البضائع المادية التي تميّز الحياة العصرية. والشّكل 2.14 يبيّن عدة أمثلة على هذه المواد.

خلال القرن الماضي، لقد تفوقنا من خلال التلاعب بالذرات والجزيئات في استنباط مواد جديدة لتلبية احتياجاتنا. ولكن في الوقت نفسه، ارتكبنا أخطاءً في عدم الاهتمام بالبيئة. لقد ألقيت النُّفايات في الأنهار، أو دُفنت في الأرض، أو نُثرت في الهواء، دون الأخذ في الحسبان الآثار المحتملة البعيدة المدى. يعتقد العديد من الناس أن الأرض كبيرة بما فيه الكفاية بحيث تكون مصادرها غير محدودة، وأنها تستطيع امتصاص النُّفايات جميعها دون أن يلحق بها ضرر كبير.

أمّا الآن، فإنّ معظم الأمم تدرك أن هذا التوجه خطير. ولهذا، تنشط المؤسسات الحكومية، والصناعية، والمواطنون المهتمون بنشاط مكثف لتنظيف مواقع النّفايات السامّة. لقد سُنّت التشريعات لحماية البيئة مثل القانون الدولي لمنع إنتاج المواد المدمرة للأوزون كالكلور - فلور - كربون (CFC). كما تبنّى المجلسُ الأمريكي للكيمياء، والذي ينتج 90% من المواد الكيميائيّة المصنّعة في الولايات المتحدة برنامجًا سمّي العناية الإيجابية، والذي تعهد فيه بتصنيع مواد كيميائية لا تحدث ضررًا في البيئة. ويبين الشّكل 3.14 شعار برنامج العناية الإيجابية. وإذا استخدمنا الكيمياء بوعي وحكمة، استطعنا عندئذٍ تقليل كمية النفايات المنتجة، وإعادة تدويرها، كما يمكن إعادة تصنيعها وبيعها كمواد استهلاكية، أو تحويلها إلى مواد غير خطرة.

لقد أثرت الكيمياء في حياتنا بشكل كبير، وسوف تبقى كذلك في المستقبل. ولهذا السبب، من المفيد لأيّ شخص أن يعرف المفاهيم الكيميائيّة الأساسيّة.

الشّكل 3.14

شعار برنامج العناية الإيجابية للمجلس الأمريكي للكيمياء.

لقد تم المزيد من التقدم في كل من العلوم الفيزيائيّة والعلوم الحياتية على مدى القرن العشرين. ومن أمثلة التقدم في العلوم الفيزيائيّة فهمنا لكيمياء الحياة، ولكن، من المؤكد أننا سنحرز مزيدًا من التقدم في العلوم الحياتية في القرن الحادي والعشرين.

■ نقطة فحص

لقد عرف الكيميائيون كيف يصنع الأسبرين باستخدام البترول كمواد أساسية. هل هذا مثال على البحث الأساسيّ أم البحث التّطبيقيّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

هذا مثال على البحث التّطبيقيّ؛ لأنّ الهدف الأساس هو إنتاج سلعة مفيدة. ولكن القدرة على إنتاج أسبرين من البترول اعتمد على فهم الذرات والجزيئات الذي تطور عبر العديد من سنوات من البحث الأساسيّ.

الشّكل 4.14

عدد الذرات في كأس الماء المشاهدة هنا أكثر من عدد حبات الرمل في تلّ الرّمل الكبير.

2.14 العالم دون المجهريّ

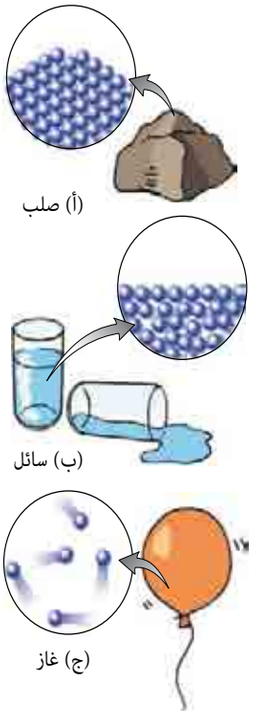
يبدو الكثيب الرّمليّ من بعيد أملس ومادة متصلة. ولكن عن قرب، يكشف الكثيب عن نفسه بأنه مكون من حبيبات صغيرة من الرّمل. وبالطريقة نفسها كما ناقشنا في الفصل 12، فإنّ جميع ما حولنا – مهما بدا أملس- يتكون من وحدات أساسية تسمّى *ذرات*. ولكن الذرات من الصغر بحيث إنّ حبة رمل واحدة تحتوي على نحو 125 مليون تريليون ذرة. يبلغ عدد الذرات في حبة رمل واحدة 250,000 ضعف عدد حبات الرّمل في كومة الرّمل الموجودة في الشّكل 4.14.

ومع أنّ الذرات صغيرة جدًّا، إلا أننا نعرف عنها الشّيء الكثير. فعلى سبيل المثال، هناك أكثر من 100 نوع من الذرات، وهي مرتبة ومعروفة جيدًا في الجدول الدّوريّ. ترتبط بعض الذرات معًا لتشكيل وحدة أكبر، ولكنها تبقى وحدات أساسية من المادة متناهية الصغر تسمّى **الجزيئات**. على سبيل المثال، وكما يبين الشّكل 4.14، فإنّ ذرتي هيدروجين تتحدان مع ذرة أكسجين لتكوين جزيء مفرد من الماء يُعرف بـ H_2O. جزيئات الماء صغيرة جدًّا بحيث إنّ كوب ماء سعته 8- أونصات يحتوي على تريليون تريليون منها.

يمكن دراسة عالمنا على مستويات مختلفة من التكبير: فعلى المستوى **الجاهريّ**، المادة كبيرة بما فيه الكفاية لتُرى، وتُقاس، وتُمسك. وتعدّ حفنة من الرّمل، أو كأس من الماء عينات مادية جاهرية. وعلى المستوى ***المجهريّ***، فإنّ التّركيب الفيزيائيّ دقيق جدًّا بحيث لا يمكن رؤيته دون مجهر؛ فالخلية الحية مجهرية، كما هو الحال في جناح حشرة صغيرة. أمّا المستوى الثالث فهو ما **دون المجهريّ**، وهو عالم الذرات والجزيئات ومجال الكيمياء المهم.

لعلّك تذكر من الفصل 7 أنّ للمادة *أطوارًا*: فعلى المستوى دون المجهريّ، نجد أنّ الأطوار الصّلبة، والسّائلة، والغازية تتميز بكيفية تماسك الجسيمات دون المجهريّة معًا. وهذا موضح في الشّكل 5.14. ففي المادة الصّلبة كالصّخر، تكون قوى الجذب قوية كفاية لتمسك الجسيمات جميعها بعضها بعضا في ترتيب ثابت ثلاثيّ الأبعاد. وقد تهتزّ الجسيمات في مواقع ثابتة، ولكن لا يتجاوز أحدها الآخر.

إنّ إضافة الحرارة تسبّب في زيادة الاهتزازات حتى تصل عند درجة حرارة معينة، وإلى تكوين ذبذبات سريعة تكفي لتمزيق الترتيب الثابت. ينصهر الصّخر ويتحوّل إلى **صهارة** (يناقش هذا العنوان في الجزء الثالث من هذا الكتاب). وبالمثل، فإنّ الجليد ينصهر إلى ماء. تنزلق الجسيمات بعضها على بعض، وتقفز بعضها حول بعض مثل مجموعة من الكرات في سلة. وهذا هو الطّور السّائل للمادة. إنّ حركية الجسيمات دون المجهريّة تؤدي إلى ظهور خاصية المائع للسّائل – من حيث قدرتها على الانسياب، وأخذها شكل الوعاء الذي يحتويها.



الشّكل 5.14

الخصائص الحجمية المألوفة لمادة صلبة، أو سائلة، أو غازية. (أ) تهتز الجسيمات دون المجهريّة في طور الصلابة حول مواقع ثابتة. (ب) تنساب الجسيمات دون المجهريّة في طور السّائل متجاوزة بعضها بعضًا. (ج) تكون الجسيمات دون المجهريّة السّريعة الحركة في الطّور الغازي متباعدة بمسافات كبيرة عن بعضها.

تؤدي زيادة الحرارة أكثر إلى تحرّك الجسيمات دون المجهريّة في السّائل بسرعة كبيرة؛ بحيث لا تستطيع قوى التجاذب على إبقائها متماسكة. ثم تنفصل بعضها عن بعض مشكّلة الغاز. إنّ هذا الشّيء لا يحدث بسهولة للصهارة؛ لأنّ قوى التجاذب كبيرة بين الجسيمات. تنفصل جزيئات الماء وتتحول إلى غاز عند درجة حرارة 100°س. ولمادة مثل الهيليوم، فإنّ الجسيمات دون المجهريّة تتحول إلى طور الغاز عند درجة حرارة الغرفة.

إنّ جسيمات الغاز متباعدة بعضها عن بعض؛ لأنّها تتحرك بسرعة 500 م/ث (1100 ميل/ساعة)، وهكذا، فإنّ المادة في الطّور الغازيّ تحتل حجمًا أكبر كثيرًا من حجمها في طور السّيولة أو الصّلابة. إنّ تطبيق ضغط على الغاز يجعل الجسيمات متقاربة. لذا، يقلّ حجمه. فمثلًا، يمكن ضغط كمية الهواء التي يحتاج إليها الغطاس تحت الماء للتنفس عدة دقائق في وعاء صغير، بحيث يستطيع حمله على ظهره.

3.14 الخصائص الفيزيائيّة والكيميائيّة

تسمّى الخصائصُ التي تصف مظهرًا أو ملمسًا للمادة مثل اللون، أو الصّلابة، أو الكثافة، أو التّركيب، أو الطّور، **الخصائصَ الفيزيائيّة** ***(Physical Properties)***. ويوجد لكلّ مادة مجموعة من الخصائص الفيزيائيّة التي يمكن استخدامها لتحديد هويتها (الشّكل 6.14).

يمكن أن تتغير الخصائص الفيزيائيّة للمادة حين تتغير الظروف، ولكن لا يعني هذا أنّ مادة جديدة قد ظهرت. فتبريد الماء السّائل إلى ما دون الصّفر المئويّ يحوّل الماء إلى جليد صلب، ولكن المادة ظلّت ماءً، مهما كان الطّور. إنّ الفرق الوحيد هو الاتجاهات النّسبيّة لجزيئات المادة بعضها تجاه بعض. ففي طور السّائل، تتقلّب جزيئات المادة بعضها حول بعض، ولكنها تهتز حول مواقع ثابتة في طور الجليد.

يرى الكيميائيّون تجمد الماء مثالًا على التّغيّر الفيزيائيّ. وخلال هذا **التّغيّر الفيزيائيّ** ***(Physical Change)*** تغيّر المادة طورها أو بعض خصائصها الفيزيائيّة، ولكنها لا تغيّر تركيبها الكيميائيّ. وهذا موضّح في الشّكل 7.14.

الماء
اللانفاذية: شفاف
اللون: بلا لون
الطور عند 25 س : سائل
الكثافة: 1.0 جم/مللتر

الماس
اللانفاذية: شفاف
اللون: بلا لون
الطور عند 25 س : صلب
الكثافة: 3.5 جم/مللتر

الذهب
اللانفاذية: غير شفاف
اللون: مائل الى الأصفر
الطور عند 25 س: صلب
الكثافة: 19.3 جم/مللتر

الشّكل 6.14

الذّهب والماس والماء يمكن أن تشخّص بخصائصها الفيزيائيّة. فمثلًا، إذا كان للمادة الخصائص الفيزيائيّة جميعها التي للذهب فهي حتمًا ذهب.

لمعلوماتك

■ يزال الكافيين من الشّاي والقهوة باستخدام ثاني أكسيد الكربون في الحالة الرابعة للمادة والمعروفة *بالمائع فوق الحرج*. يسلك الغاز في هذا الطّور مثل السّائل الغازيّ، والذي يتمّ تحت تأثير ضغط كبير وحرارة على المادة. ويعدّ إنتاج ثاني أكسيد الكربون فوق حرج من الأمور السهلة نسبيًّا. وللحصول على ماء على شكل سائل فوق الحرج؛ فإنّك تحتاج إلى ضغط يتجاوز 217 ضغطًا جويًا ودرجة حرارة 374°س تقريبًا. ويعدّ الماء فوق الحرج مادة أكّالة (Corrosive). كما أنّ كميات كبيرة من الأكسجين يمكن أن تكون مذابة فيه، لدرجة أنّ اللهيب يمكن أن يحرق الوسط، وهو مثالي للتخلّص من المخلفات السامة.

■ **نقطة فحص**

لِمَ يعدّ انصهار الذّهب عملية فيزيائية؟

هل كانت هذه إجابتك؟

خلال التّغيّر الفيزيائيّ، تُغيّر المادة واحدة أو أكثر من خصائصها الفيزيائيّة، ولكنها لا تغيّر هويتها الكيميائيّة. وحيث إنّ الذّهب بقي ذهبًا، ولكن بشكل آخر، فالصهارة تمثل تغيرًا فيزيائيًّا فقط.

تصف **الخصائص الكيميائيّة** ***(Chemical Properties)*** مقدرة المادة على التفاعل مع مواد أخرى، أو التّحوّل من مادة إلى أخرى. يوضح الشّكل 8.14 ثلاثة أمثلة هي: 1. للميثان، الغاز الطبيعي الخصائص الكيميائيّة للتفاعل مع الأكسجين لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون والماء، بالإضافة إلى كمية لا باس بها من الطاقة. 2. وبالمثل، لصودا الخبز الخاصيّة الكيميائيّة للتفاعل مع الخلّ لإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون والماء، وامتصاص كمية صغيرة من الطاقة الحرارية. 3. للنحاس الخاصيّة الكيميائيّة للتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون والماء لتشكيل مادة صلبة لونها أخضر غامق –مائلة للزرقة تعرف بغشاء العتق. وعند تعرّض التماثيل النحاسية لثاني أكسيد الكربون والماء في الهواء تصبح مغطاة بغشاء العتق هذا. إنّ غشاء العتق ليس نحاسًا ولا ماء ولا ثاني أكسيد الكربون، بل هو مادة جديدة نتجت عن تفاعل هذه المواد الثلاث معًا.

الشّكل 7.14

تغيران فيزيائيّان. (أ) يمكن أن يظهر الماء السّائل والجليد كمواد مختلفة، ولكن نظرة دون المجهريّة تبين أنّ كليهما يتكوّن من جزيئات ماء. (ب) تكون ذرات الزئبق عند درجة 25°س متباعدة بعضها عن بعض، وتكون كثافته 13.53 جم/مللتر، وعند درجة 100°س، تصبح الذرات متباعدة أكثر، بمعنى أنّ كلّ مللتر يحتوي على عدد أقلّ من الذرات مما كان عليه عند درجة 25°س، وتصبح الكثافة 13.35 جم/مللتر، أي أنّ الخاصيّة الفيزيائيّة المسماة كثافة تغيرت مع درجة الحرارة، ولكن هوية المادة لم تتغير؛ فالزئبق ما يزال زئبقا.

تتضمن هذه التّحوّلات الثلاثة جميعها تغيّرًا في الطريقة التي ترتبط بها الذرات في الجزيئات بالرّبط الكيميائيّ معًا. الرّابطة الكيميائيّة *(Chemical Bond)* هي قوة تجاذب بين ذرتين تمسكهما معًا. على سبيل المثال، يتكون جزيء الميثان من ذرة كربون واحدة مرتبطة مع أربع ذرات هيدروجين. كما أنّ جزيء الأكسجين يتكون من ذرتين من الأكسجين مرتبطتين معًا. ويبيّن الشّكل 9.14 تغيرًا كيميائيًّا يتم فيه سحب ذرات الميثان. من جزيء الميثان كما يتم فيه سحب ذرات الأكسجين من جزيء الأكسجين لتشكيل رابطة جديدة مع شركاء جدد. منتجةً جزيء ثاني أكسيد الكربون والماء.

يسمّى أيّ تغير في المادة يتعلّق بإعادة ترتيب طُرق ارتباط الذرات معًا تغيّرًا كيميائيًّا *(Chemical Change)*. وعليه، فتحوّل الميثان إلى ثاني أكسيد الكربون وماء هو تغيّر كيميائيّ، كما هو الحال في التّحوّلين الموضّحين في الشّكل 8.14.

تمتلك المادة الكيميائيّة صفة الميل إلى التّغيّر إلى مادة أخرى، كتحوّل الحديد إلى صدأ.

الميثان
يتفاعل مع الأكسجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون وماء منتجًا حرارة كبيرة في أثناء التفاعل.

صودا الخبز
تتفاعل مع الخل لتكوين ثاني أكسيد الكربون وماء منتصة حرارة في أثناء التفاعل.

النحاس
يتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون لتكوين مادة مائلة إلى الخضرة - زرقاء تسمى غشاء العتق.

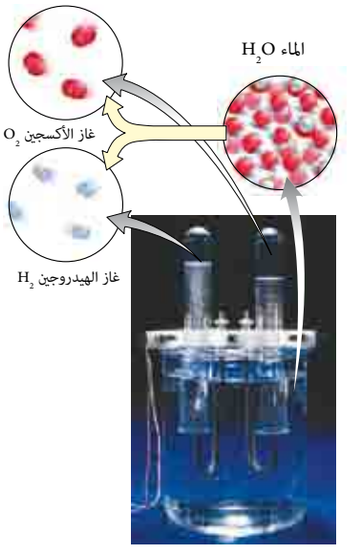
الشّكل 8.14

تسمح الخصائص الكيميائيّة للمواد بالتّحول إلى مواد أخرى. يتحوّل الغاز الطّبيعيّ وصودا الخبز إلى ثاني أكسيد الكربون، وماء وحرارة. ويتحول النحاس إلى غشاء العتق.

الشّكل 9.14
التّغيّر الكيميائيّ الذي يتحوّل فيه الميثان والأكسجين إلى جزيئات ثاني أكسيد الكربون وماء. تحطّم الذّرات الرّوابط القديمة، وتشكّل روابط جديدة. ومع أنّ آليات التّحوّل أكثر تعقيدًا مما هو موضّح هنا، إلا أنّ فكرة تكوّن مواد جديدة من خلال إعادة ترتيب الذرات، هي فكرة صحيحة تمامًا.

يحدث التّغيّر الكيميائيّ الموضّح في الشّكل 10.14 عند مرور تيار كهربائيّ خلال الماء. تتسبب طاقة التّيّار في تحطيم الرّوابط التي تمسك الذّرات معًا. وتشكّل الذرات المنفصلة روابط جديدة مع ذرات أخرى منتجة جزيئات جديدة. وهكذا، فإنّ جزيئات الماء تتحوّل إلى جزيئات أكسجين وهيدروجين، وهما مادتان تختلفان عن الماء تمامًا. يكوّن الهيدروجين والأكسجين غازات عند درجة حرارة الغرفة. ويمكن رؤيتهما كفقاقيع ترتفع إلى السّطح.

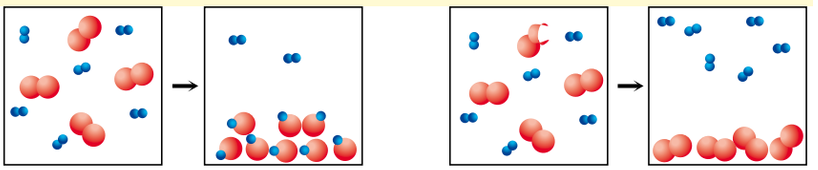
بلغة الكيمياء، تسمّى المواد التي تتعرّض لتغيّر كيميائيّ المواد *المتفاعلة*. يتفاعل الميثان مع الأكسجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون وماء. يتفاعل الماء عند مرور تيّار كهربائيّ فيه لإنتاج غازي الهيدروجين والأكسجين. ولهذا، فإنّ مصطلح *التّغيّر الكيميائيّ* يعني الشيء نفسه كالتّفاعل الكيميائيّ. خلال **التّفاعل الكيميائي *(Chemical Reaction)*** هذا، يتمّ إنتاج مواد جديدة من خلال تغيير الطّريقة التي ترتبط بها الذّرات معًا. وسوف ندرس الرّوابط الكيميائيّة والتّفاعلات التي تتشكّل وتتحطّم في الفصول 15، و17، و18.



الشّكل 10.14
يمكن تحويل الماء إلى غازيّ الهيدروجين والأكسجين من خلال طاقة التّيّار الكهربائيّ. ويعدّ مثل هذا التّحوّل تحوّلا كيميائيًا بسبب تكوّن مواد جديدة (الغازات) عند إعادة ترتيب الذرات الأصلية الموجودة في جزيئات الماء.

■ **نقطة فحص**

تمثّل كلّ كرة في الأشكال التالية ذرة. الكرات المتصلة تمثّل جزيئات. أحد الشّكلين يبيّن تغيّرًا فيزيائيًّا، والآخر يظهر تغيّرًا كيميائيًّا. أيّ التّغيرين فيزيائيّ، وأيّهما كيميائيّ؟



هل كانت هذه إجابتك؟

تذكّر أنّ التّغيّر الكيميائيّ (والمعروف أيضا بالتّفاعل الكيميائيّ) يتضمن فصل الجزيئات بعضها عن بعض بحيث تكون الذرات حرّة لتشكيل روابط جديدة مع شركاء جدد. انتبه وميّز بين التّحطيم والابتعاد. وبيّن تغيير مواقع مجموعة من الجزيئات. في المجموعة A، بقيت الجزيئات قبل التّغيّر وبعده كما هي. وكان الاختلاف في المواقع النسبيّة بعضها بالنسبة إلى بعض فقط. ولهذا، فإنّ المجموعة A تمثّل تغيّرًا فيزيائيًّا فقط. أمّا في المجموعة B، فقد ظهرت جزيئات جديدة بعد التفاعل متشكّلة من روابط حمراء وكرات زرقاء. وهذه الجزيئات تمثّل موادّ جديدة. لذا، فإنّ المجموعة B تمثّل تغيرًا كيميائيًّا.

■ 4.14 تحديد التغييرات الفيزيائيّة والكيميائيّة

كيف نحدّد ما إذا كان التّغيّر الحاصل تغيّرًا كيميائيًّا أم فيزيائيًّا؟ قد يكون هذا خادعًا؛ بسبب حدوث تغيّر في المظهر الفيزيائيّ في الحالتين. مثلًا، يبدو الماء مختلفًا تمامًا بعد التجمد. كما تبدو السّيّارة مختلفة بعد أن تصدأ (الشّكل 11.14). إنّ تجمّد الماء عملية فيزيائيّة لأنّ الماء المتجمد والماء السّائل هما شكلان من الماء؛ إنّ التّغيّر الذي حدث هو اتجاهات جزيئات الماء بعضها بالنسبة إلى بعض فقط.

الشّكل 11.14

يتضمّن تحوّل الماء إلى جليد، وتحوّل الحديد إلى صدأ تغيرًا فيزيائيًّا في المظهر. ويعدّ تحوّل الجليد تغيّرًا فيزيائيًّا، في حين يعدّ تكوّن الصدأ تغيّرًا كيميائيًّا.

وفي المقابل، فإنّ صدأ السّيّارة هو نتيجة تحوّل الحديد إلى صدأ. ويعدّ هذا تغيّرًا كيميائيًّا؛ لأنّ الحديد والصدأ مادتان مختلفتان. فكلّ واحدة تتألف من ترتيب مختلف من الذرات. وكما سنرى في الجزأين التاليين، فإنّ الحديد عنصر، أمّا الصدأ فمركّب يتكوّن من ذرات الحديد والأكسجين.

هناك دليلان قويّان يمكن الاستعانة بهما لتقييم كلّ من التّغيّرين الفيزيائيّ والكيميائي، هما: 1. التّغيّر الفيزيائيّ هو تغيّر في المظهر ينتج عن تعرض المادة لمجموعة من الشّروط الجديدة التي تتعرض لها المادة نفسها. وباستعادة الشّروط الأصلية يُستعاد المظهر الأصليّ، كانصهار الماء المتجمد عند تدفئته. 2. في التّغيّر الكيميائي، ينتج التّغيّر في المظهر نتيجة تكون مواد جديدة لها مجموعة فريدة من الخصائص الفيزيائيّة. كلّما زادت الدلائل على تكوّن مواد جديدة، زاد احتمال أن يكون التّغيّر كيميائيًّا. الحديد مادة تستخدم في صنع السّيّارات، أمّا الصدأ فلا يستخدم لذلك. وهذا يشير إلى أنّ عملية الصدأ عملية كيميائيّة.

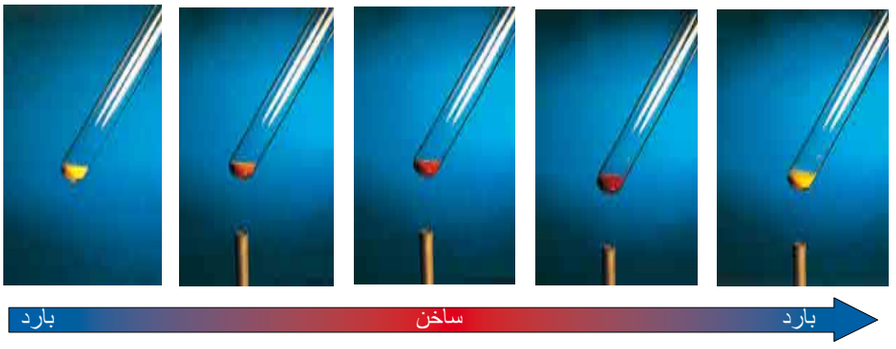
■ **نقطة فحص**

ازداد طول الشخص الظاهر عن اليسار بمقدار بوصة خلال السّنة الماضية. هل يمكن وصف التّغيّر على نحو أفضل بتغير فيزيائيّ أم كيميائي؟

هل كانت هذه إجابتك؟

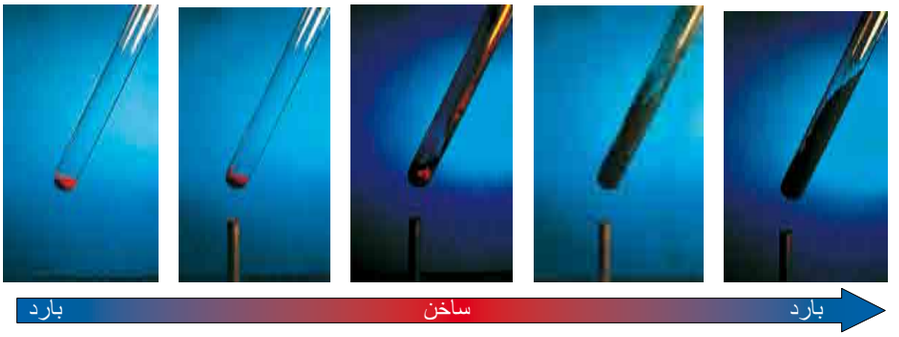
هل تكونت مواد جديدة في أثناء نموّه؟ بالتأكيد: ظهرت مواد جديدة نتيجة الطعام الذي تناوله. لقد اختلف جسمه، ولنقل من شطائر زبدة الفستق التي أكلها البارحة. ومع ذلك، من خلال كيمياء متقدمة جدًّا، تمكن جسمه من امتصاص ذرات شطيرة زبدة الفستق وإعادة ترتيبها في مواد جديدة. لذا، يمكن وصف النمو البيولوجي أفضل بوصفه تغيرًا كيميائيًّا.

يبين الشّكل 12.14 كرومات البوتاسيوم، وهي مادة يعتمد لونها على درجة حرارتها. عند درجة حرارة الغرفة، تبدو كرومات البوتاسيوم بلون أصفر فاتح لامع. وعند درجات حرارة أعلى، يصبح لونها أحمر غامقًا برتقاليًّا.



الشّكل 12.14

يتحول لون كرومات البوتاسيوم عند تغيير درجة حرارته. إنّ تغيّر اللون هو تغيّر فيزيائيّ. يستعيد كرومات البوتاسيوم لونه الأصلي الأصفر الفاتح اللامع عند الرّجوع إلى درجة الحرارة الأصلية.



الشّكل 13.14
يتعرض ثاني كروم الأمونيوم لتغيّر كيميائيّ عند تسخينه، ويتحوّل إلى أمونيا؛ بخار الماء وأكسيد الكروم (III). إنّ التبريد إلى درجة الحرارة الابتدائية لا يعيده إلى اللون البرتقاليّ؛ لأنّ ثاني كروم الأمونيوم لم يعد موجودًا.

وعند تبريدها يعود اللون الأصفر الفاتح اللامع، مؤكّدا أنّ التّغيّر فيزيائيّ. أمّا في التّغيّرات الكيميائيّة، فإنّ إعادة الشّروط الأصلية لا يعيد المظهر الأصليّ؛ فثاني كرومات الأمونيوم الذي يظهر في الشّكل 13.14 هو مادة برتقالية. وعندما تسخّن تنفجر مكونةً الأمونيا وبخار الماء وأكسيد الكروم (III) الأخضر. وعند تبريد أنبوب المختبر إلى درجة الحرارة الأصلية لا يظهر أيّ أثر لثاني كرومات الأمونيوم. وتظهر مكانه مادة جديدة لها صفات فيزيائيّة مختلفة تمامًا.

ليس من السهل دائمًا التّمييز بين التّغيّرين الفيزيائيّ والكيميائيّ بسبب الغموض. وأحيانا يميّز بينهما بعد سنوات من الدراسة والتجارب المختبرية. سوف تمتلك أدوات مناسبة تمكنك من تصنيف العديد من التغيرات. ومن الجائز أن تتعلم القليل منها الآن، وأن تؤجل الكثير منها إلى المستقبل، وخاصة إذا رغبت في التخصص في هذا المجال.

■ 5.14 من العناصر إلى المركّبات

كما تم وصفه باختصار في الفصل 12، يستخدم مصطلحا *العنصر* والذرة بالمعنى نفسه. مثلا، يمكنك أنْ تسمع أنّ الذّهب عنصر يتكون من ذرات الذّهب. على العموم، يستخدم *العنصر* للإشارة إلى عينة المادة المجهريّة أو الجاهرية، في حين تستخدم الذرة عندما نتكلم عن الجسيمات دون المجهريّة في العينة. الفرق المهم بينهما هو أنّ العنصر مكوّن من ذرات، وليس العكس.

يشار إلى الوحدة الأساسيّة لعنصر **بالصيغة العنصرية *(Elements Formula)***. تكون الصيغة للعناصر التي وحدتها الأساسيّة ذرات مفردة هي، ببساطة، الرّمز الكيميائيّ؛ فالرّمز Au هو الصيغة العنصرية للذهب، وLi الصيغة العنصرية للّيثيوم. إنّ الصيغةَ العنصريةَ للعناصر التي تكون الوحدة الأساسيّة لها ذرتين أو أكثر مرتبطتين كجزيئات هو رمزٌ كيميائيٌّ متبوع برقم سفليّ يشير إلى عدد الذرات لكلّ جزيء. مثلًا، يتكوّن عنصر النيتروجين الذي يظهر في الشّكل 1.14، عادة من جزيئات تحتوي على ذرتين من نيتروجين لكلّ جزيء. وعليه، فإنّ N_2 هو الصيغةُ العنصريةُ المخصصة عادة للنيتروجين. وبالمثل، فإنّ O_2 هو الصيغة العنصرية للأكسجين الذي نتنفسه، وS_8 هو الصيغة العنصرية للكبريت.

لمعلوماتك

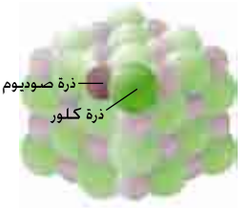
■ الكربون هو العنصر الوحيد الذي يشكّل رابطة مع نفسه إلى ما لانهاية. يمارس الكبريت ذلك إلى حدّ ما S_8، والنيتروجين N إلى حدود N_{12}. والصيغة العنصرية لقيراط واحد من الماس هو $C_{10,000,000,000,000,000,000,000}$ تقريبًا.

■ نقطة فحص

يتحول الأكسجين، O_2، الذي نتنفسه إلى أوزون، O_3، بوجود شرارة كهربائية. هل هذا تغيّر فيزيائيّ أم كيميائيّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ينتج عن إعادة تجميع الذرات مواد جديدة بالكامل، وهذا ما حدث هنا؛ فالأكسجين، O_2 الذي نتنفسه لا رائحة له ويمنح الحياة، أمّا الأوزون، O_3، فيمكن أن يكون سامًّا، وذا رائحة كريهة، ترتبط بالمحركات الكهربائية عادة. ولهذا، فإنّ تحويل O_2 إلى O_3 عملية كيميائيّة. مع أن O_2، وO_3 شكلان لعنصر الأكسجين.



كلوريد الصوديوم، NaCl

الأمونيا، NH_3

الشّكل 14.14

يتمثّل المركبان كلوريد الصّوديوم والأمونيا بصيغهما الكيميائيّة، NaCl و NH_3 على الترتيب. تبيّن الصيغة الكيميائيّة نسب الذرات المكوِّنة للمركب.

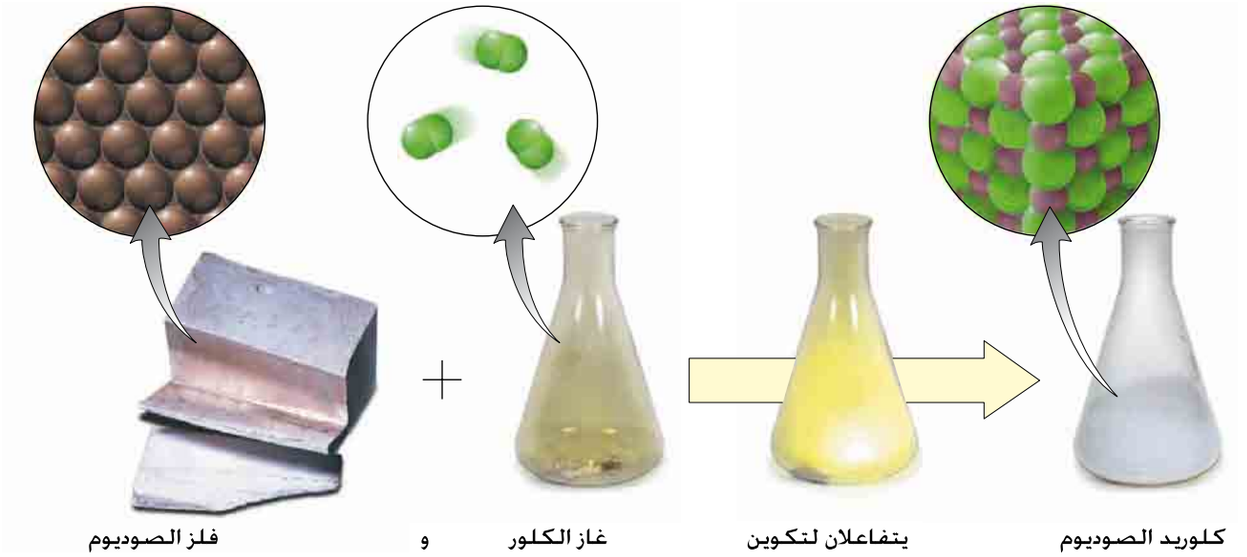
عند ربط ذرات عناصر مختلفة معًا، فإنها تشكّل **مركبًا *(Compound)***. مثلًا، ترتبط ذرات الصّوديوم بذرات الكلور لتكوين مركب كلوريد الصّوديوم المعروف بملح المائدة. كما أنّ ذرات النيتروجين تتصل مع ذرات الهيدروجين لتكوين مركب الأمونيا الذي يستخدم في تنظيف المنازل.

يُمثّل المركّب **بصيغته الكيميائيّة**، حيث تكتب رموز عناصره معًا. فالصيغة الكيميائيّة لكلوريد الصّوديوم هي NaCl، وصيغة الأمونيا NH_3. تشير الأرقام السّفلى إلى النسبة التي تتّحد بها العناصر. ومن المتعارف عليه أنّ الرقم 1 لا يذكر، على اعتبار أنه مفهوم ضمنًا. تشير الصيغة الكيميائيّة NaCl إلى أنّ مركب كلوريد الصّوديوم فيه ذرة واحدة من الصّوديوم لكلّ ذرة من الكلور، والصيغة الكيميائيّة NH_3 تدلنا على وجود 3 ذرات هيدروجين لكل ذرة نيتروجين في مركب الأمونيا، كما يوضح الشّكل 14.14.

إنّ المركبات لها خصائص فيزيائيّة وكيميائيّة مختلفة تمامًا عن خصائص مكوناتها العنصرية. يوضّح الشّكل 15.14، أنّ كلوريد الصّوديوم، NaCl، يختلف تمامًا عن عنصري الصّوديوم والكلور الذي تشكّل منهما. يتكوّن عنصر الصّوديوم، Na، من ذرات الصّوديوم، والذي يشكل فلزًّا ناعمًا فضيّ اللون يمكن قطعه بالسكين بسهولة. ودرجة انصهاره 97.5°س، ويتفاعل بقوة مع الماء. أما عنصر الكلور Cl فيتكوّن من جزيئات كلور. تكون هذه المادة غازًا لونه أصفر مخضر عند درجة حرارة الغرفة، وهو سام جدًا، وقد استخدم في الحرب الكيميائيّة في الحرب العالمية الأولى. وهو يغلي عند درجة حرارة -34°س. إنّ مركب كلوريد الصّوديوم، NaCl، شبه شفاف، وقاس، وهو بلورة عديمة اللون، ودرجة انصهاره 800°س. لا يتفاعل كلوريد الصّوديوم مع الماء بالطريقة نفسها التي يتفاعل بها الصّوديوم مع الماء، وليس فقط أنه غير سام للإنسان، بل هو مكوّن رئيس للكائنات الحية جميعها. إن مركب كلوريد الصّوديوم ليس صوديوم ولا كلور، إنه شيء مختلف تمامًا، وهو مادة كيميائية لها طعم طيب عند نثر القليل منه على (الذرة المحمصة) الفشار.

الشّكل 15.14

يتفاعل غاز الكلور مع فلز الصّوديوم لتكوين كلوريد الصّوديوم. وعلى الرّغم من أنّ مركب كلوريد الصّوديوم يتكون من الصّوديوم والكلور، فإنّ الخصائص الفيزيائيّة والكيميائيّة لكلوريد الصّوديوم مختلفة تمامًا عن الخصائص الكيميائيّة والفيزيائيّة لكلّ من غاز الكلور وفلز الصّوديوم.



كلوريد الصوديوم يتفاعلان لتكوين غاز الكلور و فلز الصوديوم

■ **نقطة فحص**

كبريتيد الهيدروجين، H_2S، مركب رائحته نفاذة. يستمد البيض الفاسد رائحته النتنة من تحرير كبريتيد الهيدروجين الذي يطلقه. هل تستنتج من هذا أنّ عنصر الكبريت S_8، له الرائحة نفسها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا. في الحقيقة، تكاد تكون رائحة عنصر **الكبريت** مهملة بالمقارنة مع رائحة كبريتيد الهيدروجين. إنّ المركّبات تختلف تمامًا عن العناصر التي تكوّنها؛ فكبريتيد الهيدروجين يختلف عن الكبريت S_8 اختلاف الماء عن عنصر الأكسجين O_2.

يختلف المركب بشكل فريد عن العناصر المكونة له، مثلًا، الماء سائل، مكون من عنصري الهيدروجين والأكسجين، وكلاهما غاز. ملح المائدة غير الضار يتكون من مادتين كيميائيتين خطرتين، هما الصّوديوم الفلزي وغاز الكلور.

■ 6.14 تسمية المركّبات

لقد تمّ تطوير نظام لتسمية المركّبات المحتملة لعدد لا حصر له من قبل الاتّحاد الدّوليّ للكيمياء الأساسيّة والتّطبيقيّة (IUPAC). وقد صُمّم هذا النظام ليشير إلى اسم المركب، والعناصر المكونة له، وكيفية اتحاد هذه العناصر معًا. إنّ الشّخص الذي يعرف هذا النظام يمكنه تمييز العناصر الكيميائيّة للمركب من اسمه المنهجيّ.

كما يمكنك تخيّل أنّ هذا النظام معقد جدًّا. ولا داعي لتعلّم قواعده جميعها. وبدلًا من ذلك، تعلُّم بعض الإرشادات فهذا يساعد كثيرًا. إنّ هذه الإرشادات وحدها لا تكفي لتسمية أيّ مركب. ولكنها سترشدك إلى كيفية عمل هذا النظام للعديد من المركّبات البسيطة التي تتكوّن من عنصرين فقط.

دليل 1: يكتب اسم العنصر الأبعد عن اليمين في الجدول الدّوريّ، ويضاف إليه مقطع "يد" ثم يتبع باسم العنصر الواقع عن اليسار.

مثلا

NaCl	كلوريد الصّوديوم
Li_2O	أكسيد الليثيوم
CaF_2	فلوريد الكالسيوم
HCl	كلوريد الهيدروجين
MgO	أكسيد الماغنسيوم
Sr_3P_2	فوسفيد الاسترانشيوم

دليل 2: عندما يحتوي مركبان أو أكثر على أعداد مختلفة من العناصر نفسها، عندئذٍ يضاف مقاطع قبل الاسم لإزالة الغموض. أول أربعة مقاطع هي أول (واحد)، ثاني (ثنائي)، وثالث (ثلاثي)، ورابع (رباعي). ويتم حذف المقطع الأحاديّ من بداية الاسم.

كربون وأكسجين

أول أكسيد الكربون CO

ثاني أكسيد الكربون CO_2

نيتروجين وأكسجين

ثاني أكسيد النيتروجين NO_2

رباعي أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O_4 (رابع أكسيد ثاني النيتروجين)

الكبريت والأكسجين

ثاني أكسيد الكبريت SO_2

ثالث أكسيد الكبريت SO_3

لمعلوماتك

■ يمكن أن يكون الهيدروجين الوقود المستقبلي. إنّه يحترق بنظافة منتجًا طاقة وبخار ماء فقط. ولكن هناك شيء كثير مطلوب عمله قبل التّحوّل من الوقود الأحفوري إلى الهيدروجين. مثلًا، يجب أن يُطوّر نظام لإنتاج الهيدروجين مباشرة من ضوء الشّمس. كما يجب بناء البنية التحتية لتوزيع الهيدروجين. وهذه مهمات ليست سهلة. ولكن الظروف الاقتصادية والبيئية الحالية تضغط علينا للسير في هذا الاتجاه.

دليل 3: العديد من المركّبات لا يشار إليها بالاسم المنهجيّ. وبدلا من ذلك، اصطلح لها أسماء مألوفة، أو متعارف عليها تقليديًّا منذ فترة طويلة. ومن هذه الأسماء المألوفة: الماء لِـ H_2O، والأمونيا لِـ NH_3، والميثان لِـ CH_4.

■ **نقطة فحص**

ما الاسم المنهجيّ لـ NaF؟

هل كانت هذه إجابتك؟

هذا المركب هو مادة مقاومة لتجوّف الأسنان، وتضاف إلى بعض معاجين الأسنان: فلوريد الصّوديوم.

ملخّص المصطلحات

البحث الأساسيّ Basic research: فرع من فروع البحث العلميّ، يركّز على الفهم العميق لكيفية عمل العالَم الطبيعيّ.

البحث التّطبيقيّ Applied research: فرع من فروع البحث العلميّ، يركّز على تطوير التطبيقات المستندة إلى الاكتشافات الرّئيسة من خلال البحث الأساسيّ.

الجزيء Molecule: جسيم دون مجهري يتكوّن من مجموعة ذرّات.

دون المجهريّ Submicroscopic: في حجم الذرات والجزيئات، صغيرة جدًّا بحيث لا يمكن رؤيتها مباشرة بالمجاهر الضّوئيّة.

الخاصيّة الفيزيائيّة Physical property: أيّ صفة فيزيائيّة للمادة، مثل اللون، أو الكثافة، أو القساوة.

التّغيّر الفيزيائيّ Physical change: حالة تغيّر فيها المادة واحدة أو أكثر من خصائصها الفيزيائيّة دون التحوّل إلى مادة أخرى.

الخاصيّة الكيميائيّة Chemical property: خاصيّة تصف قدرة المادة على التعرض للتغير والتّحوّل إلى مادة أخرى

الرابطة الكيميائيّة Chemical bond: قوة التجاذب بين ذرتين تجعلهما متماسكتين معًا. وكما نوقش في الفصل *19*، فإنّ أصلها كهربائيّ.

التّغيّر الكيميائيّ Chemical change: تغيّر يتم فيه إعادة ترتيب ذرات مادة أو أكثر لإنتاج مواد جديدة.

التّفاعل الكيميائيّ Chemical reaction: مرادف للتغيّر الكيميائيّ.

الصّيغة العنصريّة Elemental formula: ترميز يستخدم الرمز الذّريّ *(أحيانا)*. يشير الرّقم السّفليّ *(الدّليليّ)* إلى كيفية ارتباط ذرات العناصر معًا.

المركّب Compound: مادة تنتج عن ارتباط ذرات عناصر مختلفة معًا.

الصّيغة الكيميائيّة Chemical formula: ترميز يستخدم للإشارة إلى مكونات المركّب. يتكوّن من الرّمز الذّريّ للعناصر المكوّنة له كأرقام سفليّة *(دليليّة)* تشير إلى النسبة التي تتّحد بها الذرات.

أسئلة مراجعة

1.14 الكيمياء: العلم المركزيّ

1. ما الفرق بين البحثين: الأساسيّ والتّطبيقيّ؟
2. لماذا تسمّى الكيمياءُ عادة العلمَ المركزيّ؟
3. بِمَ تعهد أعضاء مجلس الكيمياء الأمريكي في برنامج الاهتمام الإيجابيّ؟

2.14 العالم دون المجهريّ

4. هل تتكون الذرات من جزيئات، أم أنّ الجزيئات تتكوّن من ذرّات؟
5. كيف يختلف ترتيب الذّرات في الصّلابة عنها في السّيولة؟
6. كيف يختلف ترتيب الذّرات في الغاز عن ترتيبها في السّيولة والصلابة؟
7. ايّ مما يلي يحتلّ حجمًا أكبر: 1جم من الجليد، أم 1جم من الماء السّائل، أم 1جم من بخار الماء؟

3.14 الخصائص الفيزيائيّة والكيميائيّة

8. ما الخاصيّة الفيزيائيّة؟
9. ما الذي لا يتغيّر خلال التّغيّر الفيزيائيّ؟
10. ما التّغيّر الفيزيائيّ؟
11. ما الرابطة الكيميائيّة؟
12. ما الذي يتغيّر خلال التّفاعل الكيميائيّ؟

4.14 تحديد التّغيرات الفيزيائيّة والكيميائيّة

13. لماذا يعدّ تجمد الماء تغيّرًا فيزيائيًّا؟
14. لماذا يكون من الصعب أحيانًا أن تقرر ما إذا كان التّغيّر فيزيائيًّا أم كيميائيًّا؟
15. لماذا يعدّ الصدأ تغيّرًا كيميائيًّا؟
16. ما بعض الإرشادات التي تُساعد على تحديد ما إذا كان التّغيّر الملاحظ فيزيائيًّا أم كيميائيًّا؟

5.14 من العناصر إلى المركّبات

17. ما الفرق بين الذّرة والعنصر؟
18. ما عدد الذّرات في جزيء الكبريت الذي له الصّيغة العنصريّة S_8؟
19. ما الفرق بين العنصر والمركّب؟
20. ما عدد الذّرات في جزيء واحد من H_3PO_4؟
وما عدد ذرات كلّ عنصر في هذا المركّب؟
21. هل من الضروريّ أن تكون الخصائص الفيزيائيّة والكيميائيّة للمركّب تشبه العناصر التي تكوّن منها؟

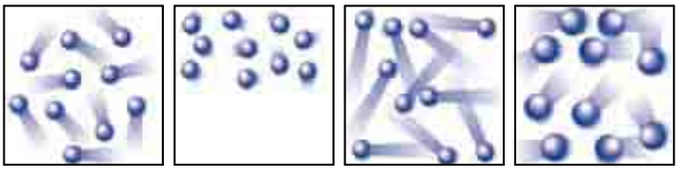
6.14 تسمية المركّبات

22. أي العناصر المكونة للمركب يظهر اسمه أولًا؟
23. ما الاسم المنهجيّ للمركّب KF وفق IUPAC؟
24. ما الصّيغة الكيميائيّة لمركب ثاني أكسيد التيتانيوم؟
على الأغلب، لِمَ تستخدم الأسماء المعروفة للمركّب الكيميائيّ بدلا من الاسم المنهجي لها؟

تمارين

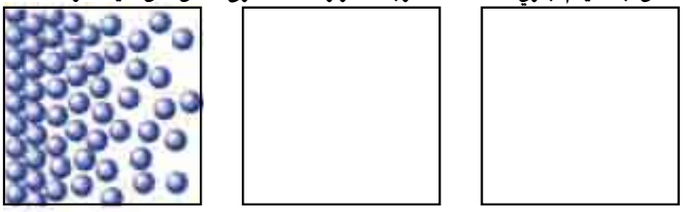
● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● في أثناء زيارتك بلدًا أجنبيًّا، حاول مواطن ناطق بغير الإنجليزية إعطاءك إرشادات شفهية إلى متحف محليّ بلغة البلد. إلا أنّه فشل بعد عدة محاولات. وقد لاحظ أحد الأشخاص المشاهدين إحباطك، واستنتج أنّك لست ذكيًّا بما فيه الكفاية لتفهم الإرشادات البسيطة. في حين تعاطف معك مشاهد آخر بسبب تقديره صعوبة التنقل في مدينة غير مألوفة. أيّ المشاهدَيْن على حقّ؟
2. ● إذا استطاع أحد أن يفسّر لك فكرة باستخدام كلمات مألوفة، فما الذي يمكن قوله حول فهم ذلك الشخص للفكرة؟
3. ● يستطيع الشّخص A تفسير فكرة لمجموعة من طلبة الجامعة. في حين يستطيع الشّخص B تفسير الفكرة نفسها بالعمق نفسه لطلبة مدارس المرحلة الإعدادية. أيّهما لديه فهم أعمق للفكرة؟
4. ● ما أفضل طريقة عملية تثبت فيها لنفسك أنك استوعبت فكرة ما؟
5. ● بأيّ منطق تشبّه شاشة الحاسوب الملوّن أو التلفاز مع نظرتنا للمادة؟ ضع قطرة فقط من الماء على شاشة الحاسوب أو التلفاز للنظر عن قرب.
6. ■ أيّ العلوم التالية أكثر تعقيدًا: الفيزياء، أم الكيمياء، أم علوم الحياة؟
7. ■ هل الكيمياء هي دراسة دون المجهريّ، أم المجهريّ، أم الجاهري، أم جميع ما ذكر؟ دافع عن إجابتك.
8. ● عُمست كرة من القطن في الكحول ثم مسح بها سطح الطاولة. فسّر ماذا يحدث لجزيئات الكحول المترسبة على سطح الطاولة. هل هذا تغيّر فيزيائيّ أم كيميائيّ؟
9. ■ توضع طبقة رقيقة من الزيت في المقلاة، وفوقها طبقة من حبات الذرة غير المفتقة. عند التسخين، تتفتت حبّات الذرة جميعها، ومن ثمّ تغادر المقلاة. اذكر التّغييرات الفيزيائيّة والكيميائيّة في هذه الحالة.
10. ● عند مسح سطح طاولة بكرة من القطن مغموسة في الكحول. هل تكون ملاحظة رائحة الكحول الناتجة أقلّ أم أكثر مما إذا كان سطح الطاولة أكثر سخونة؟ فسّر.
11. ■ استخدم التمرين 9 لمقارنة ما يحدث في التمرين 10. هل من المنطقيّ التّفكير في أنّ الكحول مكوّن من جسيمات صغيرة (جزيئات) بدلا من مادة متصلة لا نهائيّة؟
12. ● يختفي الكحول الممسوح على سطح الطاولة بسرعة. ماذا يحدث لدرجة حرارة سطح الطاولة؟ ولماذا؟
13. ● تضاف بلورات Red Kool - Aid (أحد المشروبات) إلى كأس ماء نقيّ ساخن. تغرق البلورات إلى القاع. وبعد 24 ساعة يصبح المحلول كلّه أحمر اللون، حتى لو لم يحرك أحدٌ الماء. فسّر.
14. ● أضيفت بلورات Red Kool - Aid إلى كأس ماء نقيّ ساخن. وعند إضافة كمية البلورات نفسها إلى الكمية نفسها من ماء بارد، ودون أيّ تحريك، وبتوقعك، أيهما يُصبح متجانس اللون أولا: الماء السّاخن أم البارد؟ ولماذا؟
15. ● دون أن يرى أحد، أضف 5 مللترات من محلول القرفة إلى بالون أزرق، حيث ربطته وتركته مغلقًا. أضف أيضًا 5 جم من الماء العذب إلى بالون أحمر، حيث ربطته وأغلقته أيضًا. سخّن البالونين في الميكروويف حتى ينتفخا إلى حجم حبة كرفوت. جاء أخوك ليتفحص البالونين فقال: إنّ البالون الأزرق يحتوي على القرفة. كيف عرف ذلك؟
16. ■ أيهما لها جاذبات أقوى بين جسيماتها دون المجهريّة: مادة صلبة عند درجة 25° س أم غازية عند درجة 25° س؟ فسّر.
17. ♦ يبيّن الشّكل الأبعد لليسار الجسيمات المتحركة للغاز ضمن وعاء صلب. أيّ الصناديق الثلاثة التي عند اليمين — أ، ب، ج - تمثّل هذه المادة على نحو أفضل بعد تسخينها؟



(أ) (ب) (ج)

18. ♦ يبين الشّكل عن اليسار (الأول) طورين لمادة واحدة. ارسم في الصندوق الأوسط كيف تبدو الجسيمات إذا بردّت المادة. أمّا في الصندوق الذي عن اليمين، فبيّن كيف تبدو الجسيمات إذا سخّنت المادة. إذا مَثّلَ كلُّ جسيم جزيءَ ماء، فما درجة حرارة الصّندوق الذي عن اليسار؟



19. ● أيّ ما يلي يحتلّ حجمًا أكبر: 1جم من الجليد، أم 1جم من الماء السّائل، أم 1غم من بخار الماء؟

20. ■ تنتقل جسيمات الغاز بسرعات تصل إلى 500 م/ث. لماذا؟ هل تستغرق جزيئات الغاز وقتًا طويلًا جدًّا للانتقال عبر الغرفة؟

21. ■ الرّطوبة مقياس لكمية بخار الماء في الغلاف الجويّ. لماذا تكون الرّطوبة دائمًا منخفضة داخل المجمدة في المطبخ؟

22. ■ إذا وضعت 50 مللترًا من الـ BBs (أحد المشروبات) الصغير مع 50 مللترًا من الـ BBs الكبير، فستحصل على مجموع 90 مللترًا من الـ BBs مخلوط الحجم. فسّر.

23. ■ إذا وضعت 50 مللترًا من الماء مع 50 مللترًا من الكحول النقيّ، فستحصل على مزيج مجموعه 98 مللترًا. فسّر.

24. ■ تصنع حلوى الفيرمنتيون "سكّر على الثلج" في الشتاء. يصبّ شراب القيقب المغلي في مِغرفةٍ من الثّلج النّظيف الطّازج. عندما يقع الشّراب على الثّلج تنتج حلوى لذيذة. ما التغييرات الفيزيائيّة المرتبطة بصنع السّكر فوق الثلج. أين التغيّر الكيميائيّ هنا؟

25. ■ درجة غليان الأكسجين، O_2، هي 90 كلفن (- 183°س)، أمّا درجة غليان النيتروجين، N_2 فهي 77 كلفن (- 196°س). أيّهما سائل وأيّهما غاز عند درجة 80 كلفن (- 193°س)؟

26. ■ اذكر ما إذا كان كلّ ما يلي مثالًا على الخصائص الفيزيائيّة أو الكيميائيّة للمادة:

أ. يوصل الجرافيت الكهرباء.

ب. يفقد البزموث، Bi سطوعه عند انصهاره.

ت. يُكبس القرش النحاسيّ على شكل قطعة تذكارية.

27. ■ اذكر ما إذا كان كلّ ما يلي مثالًا على الخصائص الفيزيائيّة أو الكيميائيّة للمادة:

أ. انبعاث ثاني أكسيد الكربون عند فتح علبة الصّودا.

ب. تحوّل لون التمثال البرونزي إلى اللون الأخضر.

ت. يخفّ بريق لون ملعقة الفضة.

28. ■ صنّف التّغيرات الآتية إلى فيزيائية وكيميائية. حتى لو كنت مخطئا في تقديرك، فعليك أنْ تكون قادرا على الدفاع عن اختيارك.

أ. يتحول عصير العنب إلى خمر.

ب. يحترق الخشب ويتحول إلى رماد.

ج. يبدأ الماء في الغليان.

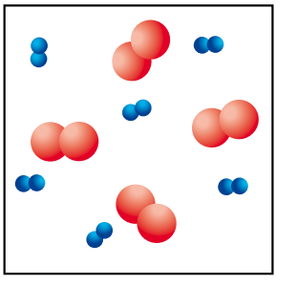
د. الرجل المكسورة تجبر نفسها.

هـ. نموّ العشب.

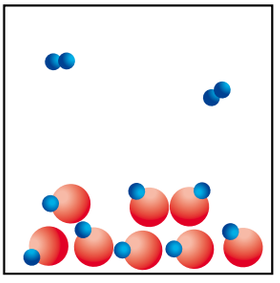
و. يكسب الطّفل 10 أرطال.

ز. تحطّم صخرة وتحوّلها إلى مسحوق.

29. ● تمثّل كلّ كرة في الأشكال ذرة. وتمثّل الكرات المتصلة جزيئات. أيّ الصندوقين يحتوي على طور سائل؟ لِمَ لا نستطيع افتراض أنّ الصّندوق B يمثل درجة حرارة منخفضة؟



أ



ب

30. ● ما التغييرات الفيزيائيّة والكيميائيّة التي تحدث عند احتراق شمعة؟

31. ♦ الأوكتان هو أحد مركبات الجازولين. يتفاعل مع الأكسجين، O2، لتكوين ثاني أكسيد الكربون والماء. هل الأوكتان عنصر أم مركّب؟ كيف تتأكد من ذلك؟

32. ● أيّ العناصر هي المعروفة منذ القدم؟ ما أدلتك؟

33. ■ بوصفك مستهلكًا على هذه الأرض، اذكر 10 عناصر تتعامل مع عينات جاهزية؟

34. ● تستعمل ذرات الأكسجين لصناعة جزيئات الماء، هل هذا يعني أنّ الأكسجين، O_2، والماء H_2O، لهما خصائص متشابهة؟ لماذا نغرق عندما نتنفس الماء، بغض النظر عن ذرات الأكسجين الموجودة فيه؟

35. ■ إذا أكلت قطعة صوديوم فلزية أو استنشقت غاز الكلور، فعلى الأغلب ستلاقي حتفك. ولكن إذا تركت هذه العناصر تتفاعل معًا، فيمكنك نثرها على الفشار بأمان لتتمتع بمذاق جيّد. ما الذي حصل هنا؟

36. ● في الغالب، تكون أسماء المركّبات الكيميائيّة المألوفة أقصر من الأسماء المنهجية المناظرة. فالأسماء المنهجية للماء، والأمونيا، والميثان، مثلًا، هي أول أكسيد ثاني الهيدروجين، H_2O، ونيتريد ثلاثي الهيدروجين، NH_3، وكربون رباعيّ الهيدروجين، CH_4. أيّ الأسماء تفضل لهذه المركّبات، الأسماء المألوفة أم الأسماء المنهجية؟ أيهما تراه يقدم وصفًا أفضل؟

37. ● ما الصيغة الكيميائيّة لمركّب كبريت ثاني الهيدروجين؟

38. ● ما الاسم الكيميائيّ للمركّب الذي صيغته الكيميائيّة Ba_3N_2؟

39. ● ما الاسم المألوف لأكسيد ثنائي الهيدروجين؟

40. ● ما الاسم المألوف لأكسيد الأكسجين؟

أنشطة استكشافية

ماء النار

ضع وعاءً كبيرًا من الماء البارد على فرن غاز (لهب بنزن إذا أجريت النشاط داخل المختبر) وارفع الشّعلة. ما الناتج المتكثّف الذي تراه من احتراق الغاز الطبيعيّ خارج الوعاء؟ ما أصله؟ هل يتكون المزيد أم القليل منه إذا احتوى الوعاء على ماء متجمد؟ أين يذهب هذا الناتج عندما يسخّن الوعاء؟ ما التغييرات الفيزيائيّة والكيميائيّة التي يمكن تمييزها؟

اندفاع فقاقيع الأكسجين

يمكن تحطيم المركّبات إلى العناصر المكوّنة لها. مثلًا، عندما تصبّ محلول فوق أكسيد الهيدروجين، H_2O_2، على الجرح، يتحلل دمك بإنزيم موجود فيه لإنتاج غاز الأكسجين، O_2، كما يُستدل عليه من الفقاقيع الناتجة. يقتل هذا الأكسجين العالي التركيز الكائنات الدقيقة على الجرح. وهناك إنزيم مشابه في خميرة الخبز.

الأدوات والمواد اللازمة

كمية صغيرة من خميرة الخبز، 3% من محلول فوق أكسيد الهيدروجين، زجاجة ماء شرب عريضة وقصيرة، ملاقط، عيدان ثقاب.

شروط السّلامة

استعمل نظارات واقية، وأبعد المواد القابلة للاشتعال جميعها، كأوراق التنشيف من المكان. أبعد أصابعك عن الشعلة، لأنها ستتوهج أكثر عند تعرضها للأكسجين.

طريقة العمل

1. ضع الخميرة في الكأس، وأضف ما يملأ عدة أغطية قِنّينات من فوق أكسيد الهيدروجين، وراقب تكوّن فقاقيع الأكسجين.
2. اختبر وجود الأكسجين من خلال الإمساك بثقاب مشتعل بملقط، وضع اللهب بالقرب من الفقاقيع. انظر إلى سطوع اللهب أكثر عندما تتعرض للأكسجين المتصاعد. صِفِ الخصائص الفيزيائيّة والكيميائيّة للأكسجين.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكلّ مما يلي:

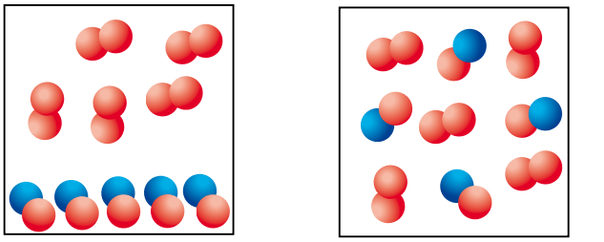
1. الكيمياء هي دراسة:
أ. المادة.
ب. تحولات المادة.
ج. المظاهر المجهريّة فقط.
د. المادة وتحولاتها.

2. تخيل أنك تستطيع رؤية الجزيئات المفردة، وتراقب مجموعة صغيرة من هذه الجزيئات وهي تتحرك ببطء وتهتز ويصدم بعضها بعضًا. تبدأ الجزيئات المتحركة في الاصطفاف ببطء، وبينما تقوم هي بذلك يزداد اهتزازها. وأخيرا تصطف الجزيئات جميعها، وتبدأ الاهتزاز حول مواقع ثابتة. إنّ ما يحدث هو:
أ. تبرد العينة وتتجمد المادة.
ب. تسخن العينة وتنصهر المادة.
ج. تبرد العينة وتتكاثف المادة.
د. تسخن العينة وتتبخر المادة.
هـ. لا تتغير العينة.

3. إنّ الطّور الذي لا تتحرك فيه الذرات والجزيئات هو:
أ. طور الصلابة.
ب. طور السيولة.
ج. الطّور الغازيّ.
د. لا شيء مما ذكر.

4. درجة تبخر الأكسجين، O_2، هي 90 كلفن (-183°س)، ودرجة تبخر النيتروجين، N_2، هي 77 كلفن (-196°س). أيهما يكون سائلًا وأيهما يكون غازًا عند درجة حرارة 50 كلفن (-223°س)؟
أ. الأكسجين سائل والنيتروجين غاز.
ب. النيتروجين سائل والأكسجين غاز.
ج. كلاهما سائل.
د. كلاهما غاز.

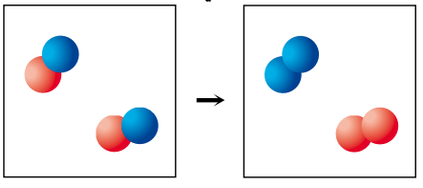
5. استنادًا إلى المعلومات المعطاة في الشّكلين، أيهما له درجة غليان أقلّ: المادة المكونة من الجزيء A أم B؟



أ ب

أ. الجزيء A، وهي أول من يتحول إلى سائل.
ب. الجزيء B، وهي أول من يتحول إلى سائل.
ج. الجزيء A، والتي تبقى في الطّور الغازيّ.
د. الجزيء B، والتي تبقى في الطّور الغازيّ.

6. يمثّل التحوّل التالي تغيّرًا :



أ. كيميائيًّا، بسبب تكوّن العناصر.
ب. فيزيائيًّا، بسبب تكون مواد جديدة.
ج. كيميائيًّا، لأنّ الذرات مختلفة الارتباط.
د. فيزيائيًّا، لأنّ التّغيّر في الطّور.
7. مثال على التّغيّر الكيميائيّ هو:
أ. تجمد الماء إلى مكعبات بلورية.
ب. دهون ما بعد الحلاقة أو العطر على الجلد تولّد رائحة.
ج. تمدد قطعة من الفلز عند تسخينها، وعودتها إلى حجمها الأصلي حينما تبرد.
د. تحطم زجاج نافذة.
هـ. استخدام الجازولين في الآلة منتجًا غازات.
8. إذا أحرقت 50 جم من الخشب ونتج 10جم من الرّماد، فإنّ الكتلة الكلية للنواتج جميعها الناتجة من حرق هذا الخشب:
أ. أكثر من 50 جم.
ب. 10 جم.
ج. أقلّ من 10جم.
د. 50 جم.
هـ. لا شيء مما ذكر.
9. اذا كان لديك جزيء من TiO_2، فكم جزيء أكسجين تحتوي؟
أ. 1، TiO_2 هو خليط من Ti وO_2.
ب. لا شيء، O_2 جزيء مختلف عن TiO_2.
ج. 2، TiO_2 هو خليط من Ti وO_2.
د. 3، يحتوي TiO_2 على 3 جزيئات.
ه. لاشيء مما ذكر.
10. اسم المركب $CaCl_2$ هو:
أ. كلوريد الكربون.
ب. ثاني كلوريد الكالسيوم.
ج. ثنائي الكالسيوم.
د. ثاني كالسيوم الكلور.
هـ. كلوريد الكالسيوم.

إجابات إختبار الإستعداد للقراءة

١هـ، ٢أ، ٣ج، ٤هـ، ٥د، ٦د، ٧هـ، ٨أ، ٩هـ، ١٠هـ

اكتشف المزيد

http://www.chemsoc.org
تحديثات أخبار الكيمياء، مجلة كيميا على الشبكة، وغيرها الكثير من المواضيع على هذا الموقع الذي تشرف على أدارته الجمعية الملكية للكيمياء.

http://www.chemsoc.org/viselements/pages/periodic
مشروع العناصر البصرية للجمعية الملكية للكيمياء الذي يوفر رسوم كرتونية متحركة لجميع العناصر تقريباً. هناك حاجة لتوفير مصدر للشبكة بسرعة عالية.

http://www.gsi.de
موقع منشأة أبحاث الأيونات الثقيلة في دار مشتات بالألمانيا، حيث يتم تحضير الكثير من العناصر الثقيلة جداً التي تعيش لفترة قصيرة جداً.

http://www.newton.dep.anl.gov
قسم مختبر البرامج التعليمية التابع لمختبر ارغوون الوطني يقدم خدمة لوحة كشرات نيوتن والتي تقدم: (أسأل عالماً). استكشف ارشيف الكيمياء للحصول على اجابات أسئلة جميعها أكثر من *1500* طالب منذ العام *1991*.

http://www.nevscientist.com
الصفحة الرئيسة لمجلة العلوم والتقنية الأسبوعية البريطانية. حيث تعرض القضايا الراهنة والكثير من «المواضيع الساخنة» في العلوم

http://www.csicop.org
الصفحة الرئيسة للجنة الاستقصاء التشكيلي. هذه المنظمة التي تضم الحائزين على جائزة نوبل وغيرها من العلماء ذو الشهرة العالمية حيث تقوم بتحدي إدعاءات العلوم الزائفة بكل ما يتطلب ذلك من صرامة وحزم ودقة لأي إعادة علمي.

http://www.randi.org
هذا هو الصفحة الرئيسة لجايمي إند، الساحر الواسع الشهرة الذي يقوم باختبار الادعاءات حول الخوارق على الادعاءات حول الخوارق على نحو نشط.

الفصل 14 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية
- 14.9

دورس تعليمية
- ما الكيمياء؟

أشرطة فيديو
- إنفجار فقاعة الأكسجين
- ماء الحريق (الماء الملوث المتبقي بعد اطفاء الحرائق)

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط

كيف ترتبط الذّرّات؟ وكيف تتجاذب الجزيئات؟

15

1.15 تركيب الإلكترون – النّقطيّ

2.15 تكوين الأيونات

3.15 الرّوابط الأيونيّة

4.15 الرّوابط الفلزّيّة

5.15 الرّوابط التّساهميّة

6.15 الرّوابط التّساهميّة القطبيّة

7.15 القطبيّة الجزيئيّة

8.15 التّجاذب الجزيئيّ

■ قبل ملايين السنين، كانت منطقةُ السّهول العظمى التي تعرف اليـوم بالولايات المتحدة محيطًـا. وعندما انخفض مستوى البحر، وظهرت قارة أمريكا الشّماليّة، بقيت العديد من جيوب مياه البحر، والتي تسمّى الآن البحيرات المالحة. ومع مرور الزمن، تبخرت هـذه البحيرات مخلّفة وراءها مـواد صلبـة كانت ذائبة فـي مياه البحـر. إنّ الأكثر وفرة هو كلوريـد الصوديوم الذي شـكّل بلّـورات مكعّبة يطلق عليهـا علماء المعادن *ملـح الطّعام* المعدنـي. وعند توافر الشّروط المناسبة، تنمو بلورات الملح لتصبح بعرض عدة سـنتمترات كما تبدو في صورة افتتاحية هذا الفصل. لماذا يكون لبلورات الملح المعدنيّ هذا الشّكل المميّز؟ كما سنرى في هـذا الفصل، فإنّ الخصائص الجاهرية لأيّ مادة يمكن إرجاعهـا إلى كيفيـة ارتباط أجزائهـا دون المجهرية معًا. فأيونات الصوديـوم والكلور في بلورات الملح الصّخريّ، على سبيل المثال، يرتبط بعضها ببعض باتجاهات مكعبة. ولهـذا، فـإنّ الجسـم الجاهريّ الـذي نعرفه بملـح الطّعام الصّخريّ هو أيضًا مكعب.

وبالمثـل، فإنّ الخصائص الجاهريـة للمواد المكونة من جزيئات هي نتيجة كيفية تماسك الذّرّات في الجزيئات معًا.

إنّ التقدم السّريع الذي يحرزه العلم الحقيقيّ يجعلني أحيانًا أمر بلحظات أندم فيها على أنني ولدت مبكرًا. من المستحيل تخيل المدى الذي ستصله قدرتنا على التحكم بالمادة خلال الألف سنة القادمة. آه، هل سيكون علم الأخلاق مستقيمًا لا يحتاج إلى تحسين، وأن يتوقف الرجال عن أن يكونوا ذئابًا بعضهم نحو بعض، وأن يتعلم الجنس البشريّ أخيرا ما يسميه الآن خطأ بشريًّا. رسالة من بنيامين فرانكلين (Benjamin Franklin) للكيميائيّ جوزيف بريستلي (Joseph Priestley) 8، شباط 1780.

ومثال ذلك أنّ العديد من الخصائص المدهشة للماء تعود إلى الزاوية بين ذرات الهيدروجين والأكسجين في جزيء الماء. وبسبب اتجاه هذه الزاوية، يكون لأحد جوانب الجزيء شحنة كهربائية سالبة ضئيلة، في حين يكون للجانب الآخر شحنة كهربائية موجبة. فجزيء الماء مستقطب كهربائيًّا، الفصل 8. إنّ استقطاب جزيئات الماء أدى إلى بروز بعض الظواهر، كعدم اختلاط الماء بالزيت، وارتفاع درجة غليان الماء.

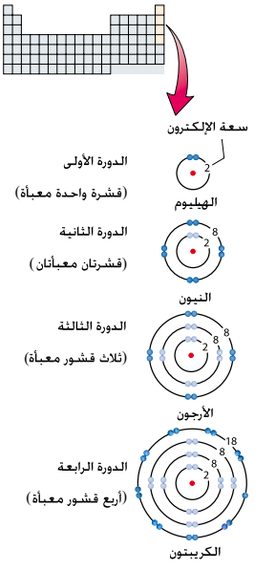
تنشأ قوة التجاذب التي تربط الأيونات أو الذرات معًا من قوة كهربائية بين الشحنات المتعاكسة للجسيمات. يطلق الكيميائيون على قوة الربط- الأيونية أو قوة الربط الذرية الرابطةَ الكيميائية. وفي هذا الفصل، سندرس ثلاثة أنواع من الروابط الكيميائية هي: 1- الرابطة الأيونية، والتي تربط الذرات معًا في البلورة. 2- الرابطة التساهمية، والتي تربط الذرات معًا في الجزيئات. 3- الرابطة الفلزية، والتي تربط الذرات معًا في عينة فلز. وسندرس في هذا الفصل لاحقًا كيف يؤدي سلوك الأيونات والجزيئات إلى الظواهر الجاهرية، مثل خلط الماء والملح.

1.15 تركيب الإلكترون - النّقطيّ

نحتاج إلى نموذج ذري لمساعدتنا على فهم كيفية ربط الذّرّات. سنبدأ هذا الفصل بموجز مختصر لنموذج القشرة الذي أشير إليه في البند 9.12. تذكر كيفية ترتيب الإلكترونات حول نواة الذّرّة. بدلاً ا من الحركة في مدارات محددة مثل الكواكب حول الشّمس. فالإلكترونات شيء شبه موجي يملأ مختلف الأحجام في الفضاء يسمى *القشور*.

وكما يبين الشّكل 29.12. تتوافر سبع قشور للإلكترونات في الذّرّة. وتملأ الإلكترونات هذه القشور بالترتيب. من الداخل. الأقرب إلى النواة إلى الأبعد عنها. أضف إلى ذلك أنّ السّعة القصوى المسموح بها في القشرة الأولى هي إلكترونان. و8 لكلّ من القشرتين الثّانية والثّالثة. و18 لكلّ من القشرتين الرّابعة والخامسة. و32 لكلّ من القشرتين السّادسة والسّابعة* . تساوي هذه الأرقام عدد العناصر في كلّ دورة (السّطر الأفقيّ) من الجدول الدّوريّ. ويبيّن الشّكل 1.15 كيفية تطبيق هذا النموذج على العناصر الأربعة الأولى من المجموعة 18.

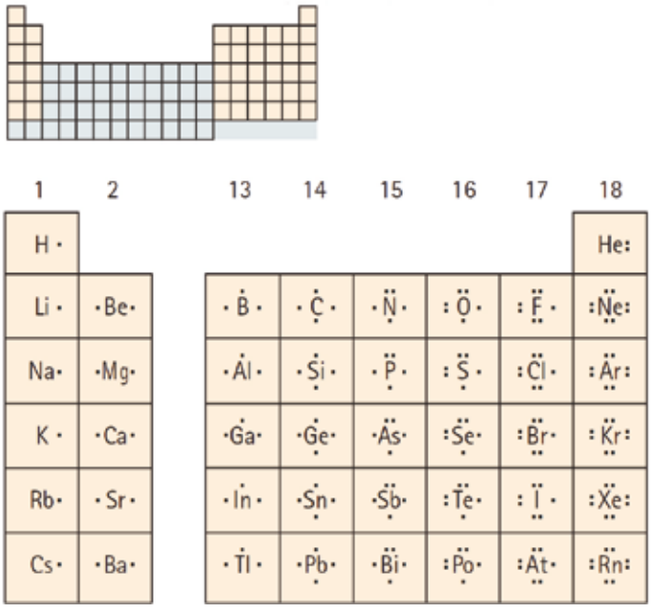
تؤدّي إلكترونات القشرة الأخيرة المعبأة دورًا مهمًّا في الخصائص الكيميائية للذرة. بما فيها قدرتها على تشكيل روابط. وللتدليل على أهميتها. سميت هذه الإلكتروناتُ إلكتروناتِ التّكافؤ (كما وُصف في البند 5.15) وتسمّى القشرةُ التي تحتله **قشرةَ التّكافؤ *(Valence Shell)***. يمكن تمثيل إلكترونات التّكافؤ بسهولة كمتتالية من النقاط تحيط بالرّمز الذّرّيّ. ويسمّى هذا التّرميز **تركيبَ الإلكترون - النّقطيّ**. أو في بعض الأحيان رمزَ لويس النّقطيّ (تكريمًا للكيميائيّ الأمريكي *G.N.Lewis* الذي كان أوّل من اقترح مفاهيم القشور وإلكترونات التّكافؤ).



الشّكل 1.15

القشور المعبأة لعناصر المجموعة 18 من الهيليوم وحتى الكريبتون. القشرة الخارجية لكلّ من هذه العناصر معبأة بالكامل، ويكون عدد الإلكترونات في كلّ منها يناظر عدد الإلكترونات في الدورة التي ينتمي إليها كلّ من عناصر المجموعة 18.

* كنقطة مرجعية للفيزيائيين الذين يدرسون هذا المقرر. تجمع هذه القشور من المدارات. بمستويات طاقة متشابهة بدلا من العدد الكميّ الرّئيس. إنها القشور "الأرجونية" التي طوّرها لينوس باولي *Linus Pauli* لتفسير الرّابطة الكيميائية وتنظيم الجدول الدّوريّ.



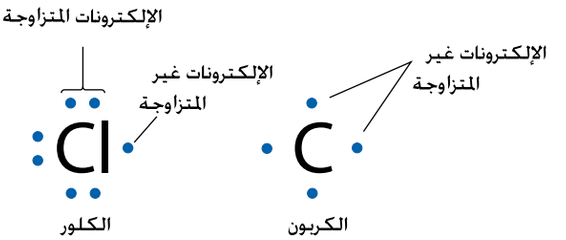
الشّكل 2.15

إلكترونات التّكافؤ للذرة مبينة في تركيب الإلكترون النّقطيّ. لاحظ أنّ الدورات الثلاث الأولى المبينة هنا في الشّكل الموازي 30.12. لاحظ أيضًا أنه في الذّرّات الكبيرة، لا تكون الإلكترونات جميعها في قشرة التّكافؤ. مثلًا، الكريبتون، Kr، له 18 إلكترونًا في غلاف التّكافؤ، كما بين الشّكل 1.15، ولكن 8 إلكترونات فقط هي المصنفة على أنها إلكترونات تكافؤ.

هناك تفاصيل كثيرة لتتعلمها؟ ماذا يمكن للعلماء أن يعطوا قبل 200 سنة ماضية، مقابل المعلومات المتوافرة لك الآن بسهولة؟

يبيّن الشّكل 2.15 تراكيب الإلكترون - النّقطيّ للذرّات المهمة في نقاشنا للرّوابط الأيونيّة والتّساهميّة. أمّا في نقاشنا للرّوابط الفلزّيّة في نهاية هذا الفصل، فسنركز على إلكترونات التّكافؤ للذرّات الفلزّيّة فقط، وليس على تراكيب نقط الإلكترون.

عندما تنظر إلى تركيب نقط الإلكترون للذرة، ستتعرف مباشرة شيئين مهمين حول العنصر. وستعرف عدد إلكترونات التّكافؤ له، وعدد الإلكترونات *المتزاوجة* كذلك. الكلور مثلًا، له ثلاث مجموعات من الإلكترونات المتزاوجة وإلكترون واحد مفرد. أمّا الكربون فله أربعة إلكترونات غير متزاوجة:



تكون إلكترونات التّكافؤ المتزاوجة مستقرة نسبيًّا. أي أنّها لا تشكل روابط كيميائية مع الذّرّات الأخرى في العادة. ولهذا، تسمى الإلكترونات المتزاوجة في تركيب نقط الإلكترون **الأزواج غير الرّابطة *(Nonbonding Pairs)***. (لا تتعامل مع المصطلح بحرَفيته؛ لأنك سترى في الفصل 18 وفي ظلّ ظروف مناسبة أنّ الأزواج "غير الرّابطة" تستطيع كذلك تشكيل رابطة كيميائية).

وفي المقابل، فإنّ إلكترونات التّكافؤ غير المتزاوجة لها ميل قويّ للاشتراك في الرّبط الكيميائيّ. وبفعلها هذا تصبح زوجية مع إلكترون من ذرة أخرى. إنّ الرّوابط الأيونيّة والتّساهميّة التي سنناقشها في هذا الفصل هي نتيجة انتقال أو مشاركة لإلكترونات التّكافؤ غير المتزاوجة.

الشّكل 3.15

أحدث جلبرت نيوتن لويس ((Gilbert Newton Lewis 1875 – 1946)) ثورة في الكيمياء بنظريته حول الرّابطة الكيميائية التي نشرت عام 1916م. لقد عمل معظم حياته في قسم الكيمياء بجامعة كاليفورنيا بيركلي (Berkeley)، حيث لم يكن باحثًا منتجًا فقط، بل كان باحثًا استثنائيًّا أيضًا. وكان من بين إجراءاته التدريسية تزويد الطلبة بمجموعات مسائل متابعة للمحاضرات ومزيد من القراءات.

■ نقطة فحص

أين تقع إلكترونات التّكافؤ؟ وما سبب أهميتها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

تقع إلكترونات التّكافؤ في القشرة المعبأة الأخيرة للذرة. إنها مهمة؛ لأنها تؤدّي دورًا رئيسًا في تحديد الخصائص الكيميائية للذرّة.

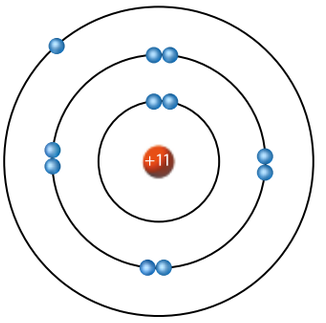
2.15 تكوين الأيونات

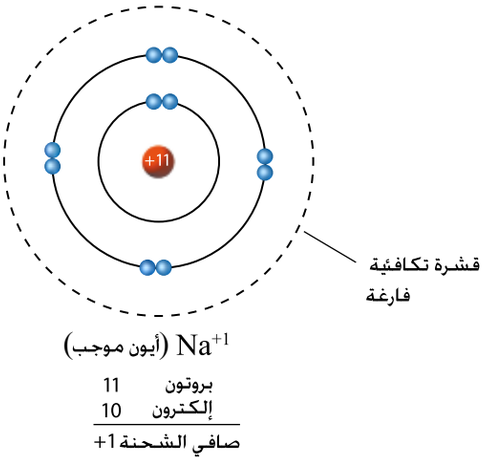
عندما يتساوى عدد كلّ من البروتونات والإلكترونات في نواة الذّرّة، تتعادل الشّحنات وتكون الذّرّة متعادلة. ولكن إذا اكتسب أو فُقِدَ إلكترون أو أكثر، كما يوضح الشّكلان 4.15 و5.15، فإنّ التوازن يختل، وتأخذ الذّرّة شحنة كهربائية نهائية صافية. أيّ ذرة لها شحنة كهربائية صافية هي أيون. وعند فقد إلكترونات، يفوق عددُ البروتونات عددَ الإلكترونات، ويتكون أيون له شحنة موجبة صافية.

يستخدم الكيمائيون رمزا دليليًّا علويًّا عن اليمين من الرّمز الذريّ يشير إلى قيمة شحنة الأيون وإشارتها. وهكذا، فكما هو مبين في الشّكلين 4.15 و5.15، يكتب أيون الصوديوم الموجب Na^{1+}، في حين يكتب الأيون السالب المكون من ذرة الفلور F^{1-}. وعادة لا يُذكر الرقم 1 عند الإشارة إلى كلّ من الشّحنة +1 و -1. ولهذا، يُكتب هذان عادة كما يلي: Na^{+} وF^{-}.

وإليك هذان المثالان: تكتب ذرة الكالسيوم التي تفقد إلكترونين Ca^{2+}، وتكتب ذرة الأكسجين التي تكسب إلكترونين O^{2-}. (اتفق على كتابة الرقم قبل الإشارة وليس بعدها: +2، وليس 2+).

يمكن استخدام نموذج القشرة لاستنتاج نوع الأيون الذي تميل الذّرّة إلى تكوينه. فوَفْق هذا النموذج، *تميل الذّرّات إلى فقد الإلكترونات التي ينجم عنها ملء القشور الخارجية بسعتها القصوى أو اكتسابها*. ولإلقاء نظرة على هذه النقطة، ننظر إلى الشّكلين 4.15 و5.15 كأدلة مرئية.





الشّكل 4.15

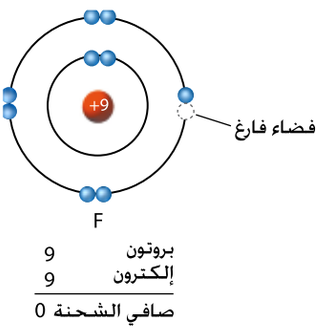
تحتوي ذرة الصوديوم المتعادلة كهربائيًّا على 11 إلكترونا مشحونًا بشحنة سالبة، و11 بروتونًا في النواة مشحونًا بشحنة موجبة. عندما تفقد هذه الذّرّة إلكترونا، فالنتيجة هي أيون موجب.

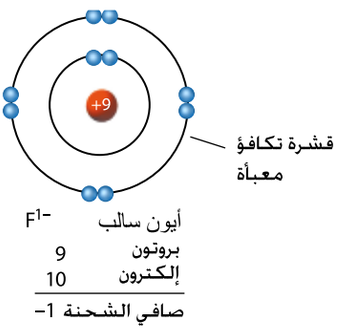
إذا كانت الذّرّة تمتلك إلكترونًا واحدًا فقط أو عددًا قليلًا من الإلكترونات في قشرة التّكافؤ، فإنها تميل إلى فقد هذه الإلكترونات، تصبح القشرة التالية التي قبلها، القشرة الخارجية المعبأة، والتي هي معبأة بسعتها القصوى. إنّ ذرة الصوديوم في الشّكل 4.15، مثلًا، لها إلكترون واحد في قشرة التّكافؤ، والتي هي القشرة الثالثة. وعند تشكيل أيون، تفقد ذرة الصّوديوم إلكترونًا واحدًا، جاعلة القشرة الثانية معبأة بسعتها الكاملة، أي القشرة المعبأة الخارجية. ولأنّ ذرة الصوديوم تمتلك إلكترون تكافؤ واحدًا لتفقده، فإنها تميل إلى تكوين أيون +1.

إذا كانت قشرة التّكافؤ للذرة معبأة تقريبًا، فإنّ هذه الذّرّة تجذب إلكترونات من ذرات أخرى مكونة أيونًا سالبًا. ومثال هذا ذرة الفلور في الشّكل 5.15، التي يوجد فيها فراغ واحد في قشرة التّكافؤ لاستيعاب إلكترون إضافيّ. وعند كسب هذا الإلكترون الإضافيّ، تحصل ذرة الفلور على قشرة تكافؤ معبأة. وهكذا يميل الفلور إلى تكوين أيون سالب -1.

يمكنك استخدام الجدول الدّوريّ للمراجعة السّريعة لكي تحدّد نوع الأيون الذي تميل الذّرّة إلى تكوينه. كما يبين الشّكل 6.15 كلّ ذرة في عناصر المجموعة 1؛ فإذا كان لها إلكترون تكافؤ فقط على سبيل المثال، فإنها تميل إلى تكوين أيون +1.

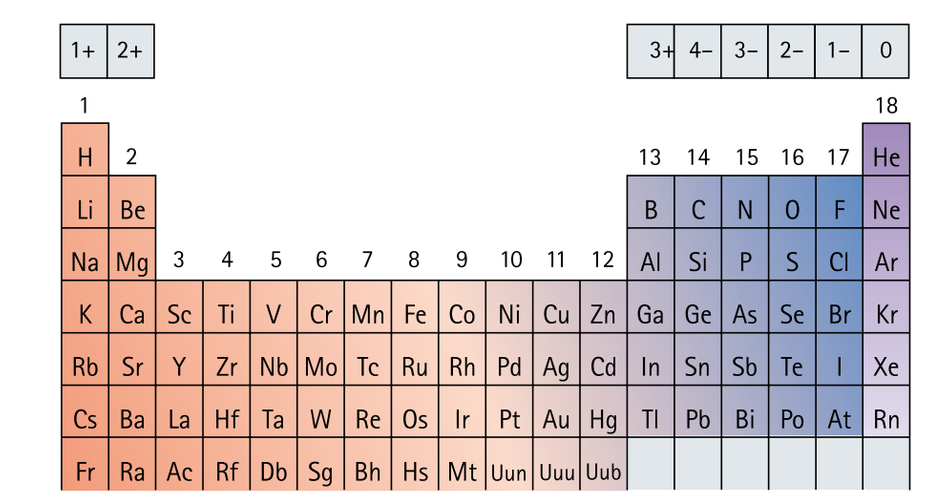
كلّ ذرة في عناصر المجموعة 17 لها فراغ لإضافة إلكترون واحد إلى قشرة التّكافؤ. لذا، تميل إلى تكوين أيون -1. إنّ ذرات عناصر الغازات النبيلة لا تميل إلى تشكيل أيونات من أيّ نوع؛ لأنّ قشورها التكافئية معبأة بسعتها الكاملة.





الشّكل 5.15

تحتوي ذرة الفلور المتعادلة كهربائيًّا على 9 بروتونات و9 إلكترونات. وعندما تكسب هذه الذّرّة إلكترونًا واحدًا، فإنّ النتيجة تكون أيونًا سالبًا.



الشّكل 6.15
الجدول الدّوريّ هو دليلك إلى أنواع الأيونات التي تميل الذّرّات إلى تكوينها.

نقطة فحص

ما نوع الأيون التي تميل ذرة الماغنسيوم Mg إلى تكوينه؟

هل كانت هذه إجابتك؟

توجد ذرة الماغنسيوم (العدد الذري 12) في المجموعة الثانية. ولها إلكترونا تكافؤ يمكنها فقدانهما (الشّكل 2.15). لذا تميل إلى تكوين أيون +2.

كما أشير إليه في الشّكل 6.15، فإنّ التّجاذب بين نواة الذّرّة وإلكترونات التّكافؤ هي الأضعف للعناصر الموجودة في يسار الجدول الدّوريّ، والأقوى للعناصر التي عن اليمين. ويمكننا أن نرى من موقع الصوديوم في الجدول الدّوريّ، أنّ إلكترون التّكافؤ المفرد لذرة الصوديوم غير مرتبط بقوة. وهذا يفسر السبب في سهولة فقدانه. ولكن جذب نواة الصوديوم لإلكترونات أكبر بكثير. ولهذا، فمن النادر أن تفقد ذرة الصّوديوم أكثر من إلكترون واحد.

وعلى الجانب الآخر من الجدول الدّوريّ، فإنّ نواة ذرة الفلور تمسك إلكترونات التّكافؤ بقوة. وهذا يفسّر سبب عدم ميل ذرة الفلور إلى فقدان أيّ من الإلكترونات لتكوين أيون موجب. وبدلًا من ذلك، فإنّ قوة السّحب النّوويّ للفلور لإلكترونات التّكافؤ كافية لاستيعاب إلكترون إضافيّ "مستورد" من ذرة أخرى.

إنّ قوة السّحب لأنوية الغاز – النبيل لإلكترونات التّكافؤ كبيرة بحيث يصعب فقدانها. وبسبب عدم توافر فراغ في قشرة التّكافؤ لذرة الغاز – النبيل، فإنه لا يكسب إلكترونات إضافية. وهكذا، لا تميل ذرة الغاز – النبيل إلى تكوين أيونات من أيّ نوع.

الإلكترونات السالبة الشّحنة. ينتج الأيون السالب عن اكتساب إلكترون، في حين ينتج الأيون الموجب عن فقد إلكترون.

نقطة فحص

لماذا تميل ذرة الماغنسيوم إلى تكوين أيون +2؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يقع الماغنسيوم إلى اليسار في الجدول الدّوريّ، لذا لا تمسك ذرات هذا العنصر بإلكتروني التّكافؤ بقوة كبيرة؛ لأنّ هذين الإلكترونين غير مرتبطين بشدة. ولهذا، يسهل فقدانهما. وعليه، تميل ذرة الماغنسيوم إلى تكوين أيون +2.

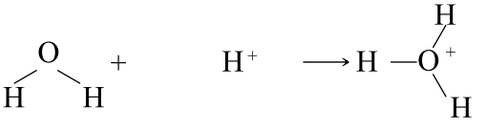
لمعلوماتك

■ ما الشّيء المشترك بين أيونات العناصر التالية: الكالسيوم، Ca، الكلور، Cl، الكروميوم، Cr، الماغنسيوم، Mg، المنجنيز، Mn، الموليبيديوم، Mo، النيكل، Ni، الفوسفور، P، البوتاسيوم، K، السيلينيوم، Se، الصّوديوم، Na، الكبريت، S، الزّنك، Zn؟ الجواب: جميعها فلزات مغذية وهي ضرورية للمحافظة على صحة جيدة، ولكن قد تكون ضارة، وحتى مميتة، إذا أخذت بكميات كبيرة.

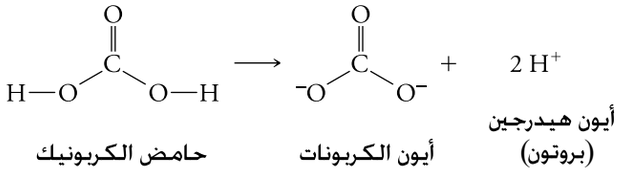
وباستخدامنا لنموذج القشرة، فقد استطعنا تفسير تكوّن الأيونات في المجموعات: 1 و2 و13 حتى 18. ولكن نموذج القشرة هذا مبسط جدًّا لتفسير عناصر المجموعات الانتقالية من 3 حتى 12. أو حتى الفلزات الانتقالية الداخلية. وعلى العموم، فإنّ ذرات هذه الفلزات تميل إلى تكوين أيونات موجبة، ولكن عدد الإلكترونات المفقودة يتغير. فمثلًا، يمكن لذرة الحديد أن تفقد إلكترونين لتكون Fe^{2+} أيون،وقد تفقد ثلاثة إلكترونات لتشكّل أيون Fe^{3+}.

يمكن أن تكون الجزيئات أيونات

هكذا تصبح الذّرّات أيونات بفقد الإلكترونات أو اكتسابها. ومن المدهش أنّ الجزيئات أيضًا يمكن أن تصبح أيونات. يحدث هذا في معظم الأحيان، عندما يفقد الجزيءُ أو يكتسب بروتونًا- مكافئًا لأيون الهيدروجين، H^+. (تذكر أنّ ذرة الهيدروجين هي بروتون مع إلكترون. أيون الهيدروجين، H^+ هو ببساطة بروتون). مثلًا، جزيء الماء، H_2O، يمكن أن يكتسب أيون هيدروجين، H^+ (بروتون) لتشكيل أيون الهيدرونيوم، H_3O^+:



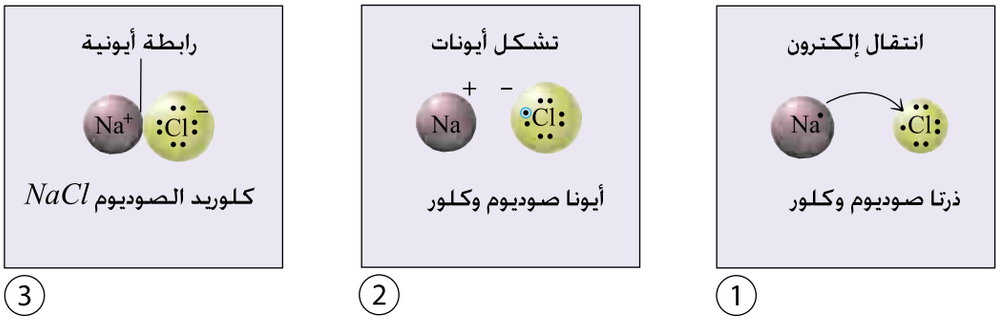
وبالتشابه، يمكن لجزيء حامض الكربونيك H_2CO_3 أن يفقد بروتونين لتشكيل أيون الكربونات، CO_3^{2-}:



سوف ندرس كيفية حدوث هذه التفاعلات في الفصول الآتية. أمّا الآن، فعليك فهم أيونات الهيدرونيوم والكربونات كأمثلة على الأيونات المتعددة الذّرّات (*Polyatomic Ions*)، وهي جزيئات تحمل شحنة كهربائية صافية. يقدم الجدول 1.15 قائمة بأيونات متعددة الذّرّات التي تدرسها عادةً.

الجدول 1.15 الأيونات المتعددة الذّرّات المألوفة

الاسم	الصّيغة
أيون الهيدرونيوم	H_3O^+
أيون الأمونيوم	NH_4^+
أيون الكربونات الثّنائيّة	HCO_3^-
أيون الأسيتات	$CH_3CO_2^-$
أيون النيترات	NO_3^-
أيون السيانيد	CN^-
أيون الهيدروكسيل	OH^-
أيون الكربونات	CO_3^{2-}
أيون الكبريتات	SO_4^{-2}
أيون الفوسفات	PO_4^{-3}



الشّكل 7.15

(1) تفقد ذرة الصوديوم المتعادلة كهربائيًّا إلكترون التّكافؤ الذي لها لذرة الكلور المتعادلة كهربائيًّا. (2). تكون نتيجة انتقال الإلكترون هذا أنه يصبح لدينا أيونان مشحونان متعاكسان. (3). ويرتبط الأيونان معًا برابطة أيونية. تشير الكرات المرسومة حول هذه والإيضاحات اللاحقة لتراكيب نقط الإلكترون إلى الأحجام النسبية لذرات الأيونات. لاحظ أنّ أيون الصوديوم أصغر من ذرة الصوديوم وذلك لفقدان الإلكترون الوحيد في الغلاف الثالث عند تكوّن الأيون، مبقيًا على قشرتين معبأتين فقط. ويكون أيون الكلور أكبر من ذرة الكلور؛ لأنّ إضافة إلكترون للقشرة الثالثة يجعلها تتمدد بسبب التنافر بين الإلكترونات.

3.15 الرّوابط الأيونيّة

عند وضع ذرة لها ميل إلى فقد إلكترونات على اتصال مع ذرة لها ميل إلى اكتساب هذه الإلكترونات، فإنّ النتيجة هي انتقال إلكترون أو أكثر من ذرة إلى أخرى، وتكوين أيونين لهما شحنات متعاكسة. يحدث هذا عند اتحاد الصوديوم مع الكلور. وكما هو مبين في الشّكل 7.15، فإنّ ذرة الصوديوم تفقد أحد إلكتروناتها لذرة الكلور، وتكون النتيجة تكوين أيون صوديوم موجب وأيون كلور سالب. ينجذب الأيونان المشحونان بشحنتين متعاكستين أحدهما إلى الآخر بقوة كهربائية، تبقيهما متقاربين. يسمّى هذا الجذبُ الكهربائيّ بين أيونين مشحونين بشحنتين متعاكستين **الرّابطةَ الأيونيّةَ**.

يشكّل أيونا الصوديوم والكلور معًا المركّب الكيميائيّ كلوريد الصوديوم المعروف بملح الطّعام. يعرف هذا المركّب وكذلك المركّبات الكيميائية جميعها التي تحتوي على أيونات **بالمركّبات الأيونيّة *(Ionic Compounds)***. تختلف المركّبات الأيونيّة جميعها عن العناصر المكوّنة لها. كما ناقشنا ذلك في البند 5.14، فكلوريد الصوديوم ليس صوديوم، ولا كلور، بل إنه تجميع أيونات كلّ من الصوديوم والكلور والتي تشكّل مادة فريدة من حيث خصائصها الفيزيائية والكيميائية.

الرّابطة الأيونيّة هي مجرد قوة الجذب الكهربائيّ التي تمسك الأيونات ذات الشّحنات المتعاكسة معًا بحسب قانون كولوم (الفصل 8).

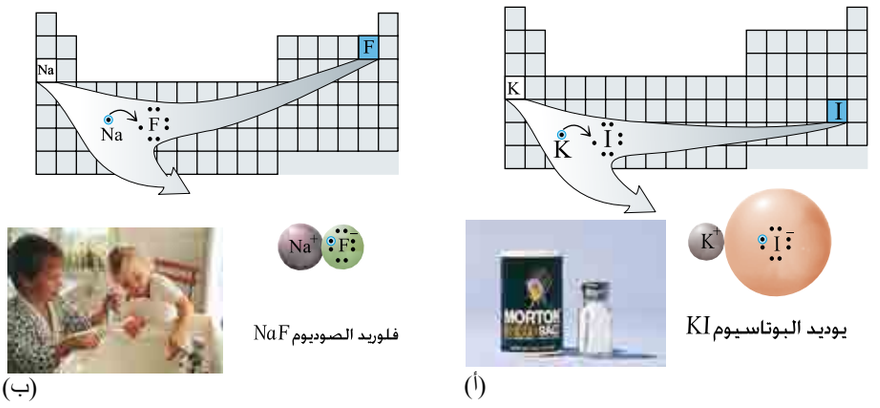
نقطة فحص

هل يعدّ انتقال الإلكترون من ذرة الصوديوم إلى ذرة الكلور تغيّرًا فيزيائيًّا أم تغيّرًا كيميائيًّا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

تذكر من الفصل 14 أنّ التّغيّر الكيميائي يتضمن تكوين مواد جديدة فقط. وعليه، فهذا وغيره من انتقال الإلكترون، وبسبب تكوين مواد جديدة، هو تغيّر كيميائيّ.

كما يبين الشّكل 8.15، تتكون المركّبات الأيونيّة عادة من عناصر موجودة على الجانبين المتعاكسين من الجدول الدّوريّ. علاوة على ذلك، وبسبب كيفية ترتيب الفلزات وغير الفلزات في الجدول الدّوريّ، فعادةً ما تُشتقّ الأيونات الموجبة من العناصر الفلزّيّة، أمّا الأيونات السّالبة فتُشتقّ من العناصر غير الفلزية.

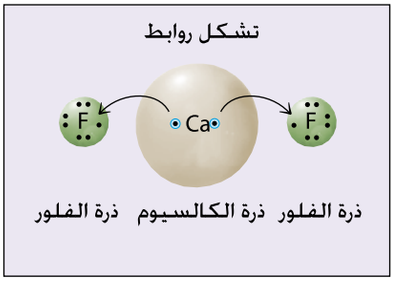


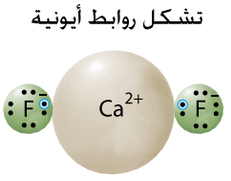
الشّكل 8.15

(أ) يضاف المركّب الأيونيّ يوديد البوتاسيوم، KI بكميات قليلة إلى الملح التجاريّ؛ لأنّ أيون اليود، I يحتوي على المعدن المغذي الأساسي. (ب) يضاف المركّب الأيونيّ فلوريد الصوديوم، NaF، إلى ماء البلدية، ومعاجين الأسنان لأنه مصدر جيد لأيونات الفلور، F-، المقوية للأسنان.

الشّكل 9.15

تفقد ذرة الكالسيوم إلكترونين لتكوين أيون الكالسيوم، Ca^{2+}. يمكن التقاط هذين الإلكترونين من ذرتي فلور تتحوّلان إلى أيونين من الفلور. يتّحد أيون الكالسيوم مع أيوني الفلور لتكوين المركّب الأيونيّ فلوريد الكالسيوم، CaF_2، والذي يتوافر في الطبيعة لمعدن الفلورات.





فلوريد الكالسيوم CaF2

الفلورات

يجب أن تتعادل الشّحنات الموجبة والسالبة في المركّبات الأيونيّة جميعها. في كلوريد الصوديوم مثلًا، هناك أيون +1 لكلّ أيون كلور -1. ويجب أن تتوازن الشّحنات في المركّبات التي تحتوي على الأيونات التي تحمل شحنات متعددة. مثلًا، يحمل أيون الكالسيوم شحنة +2، ولكن أيون الفلور يحمل شحنة -1 فقط. وبسبب لزوم أيونين من الفلور لمعادلة كلّ أيون كالسيوم، فإنّ صيغة فلوريد الكالسيوم تكون CaF_2 كما يوضح الشّكل 9.15. يوجد فلوريد الكالسيوم طبيعيّا في ماء الشرب لبعض المجتمعات، لأنه مصدر جيد لأيون الفلور المقوي للأسنان، F^-.

يحمل أيون الألومنيوم شحنة +3، ويحمل أيون الأكسجين شحنة -2. ومعًا، تكون هذه الأيونات المركّب الأيونيّ أكسيد الألومنيوم Al_2O_3، المكوّن الرّئيس للأحجار الكريمة، مثل الياقوت (*Ruby*) والصفيري (*Sapphire*). يوضح الشّكل 10.15 تكوين أكسيد الألومنيوم؛ تحمل أيونات الأكسجين الثلاثة في Al_2O_3 شحنة مقدارها -6، والتي تعادل مجموع الشّحنة +6 التي يحملها أيونا الألومنيوم. وكما ذُكر سابقا، فإنّ الياقوت يختلف عن الصفيري في لونه بسبب الشوائب التي يحتوي عليها؛ فالياقوت أحمر اللون بسبب وجود أيونات قليلة من الكروم، في حين لون الصفيري أزرق بسبب وجود أيونات قليلة من الحديد والتيتانيوم.

■ **نقطة فحص**

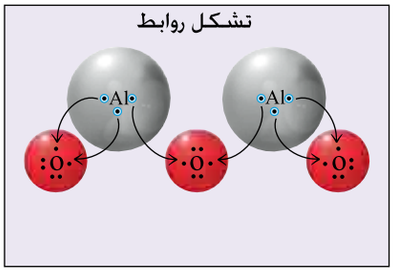
ما الصيغة الكيميائيّة للمركب الأيونيّ أكسيد الماغنسيوم؟

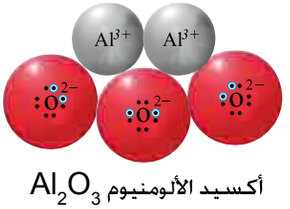
هل كانت هذه إجابتك؟

بسبب أنّ الماغنسيوم أحد عناصر المجموعة 2، فأنت تعلم أنّ ذرة الماغنسيوم تفقد إلكترونين لتكوين أيون Mg^{2+}. وبسبب أنّ الأكسجين من عناصر المجموعة 16، فإنّ ذرة الأكسجين تكسب إلكترونين لتكوين أيون O^{2-}. تتعادل هذه الشّحنات بنسبة 1-1، وهكذا تكون الصيغة الكيميائية لأكسيد الماغنسيوم MgO.

الشّكل 10.15

تفقد ذرتا ألومنيوم ما مجموعه ستة إلكترونات لتكوين أيونين من الألومنيوم، Al^{3+}. ويمكن التقاط هذه الإلكترونات الستة من ثلاث ذرات أكسجين، محولة إياها إلى ثلاثة أيونات أكسجين، O^{2-}. تتحد أيونات الألمنيوم مع أيونات الأكسجين لتكوين المركّب الأيونيّ أكسيد الألومنيوم، Al_2O_3.





أكسيد الألومنيوم Al_2O_3

ياقوت

ياقوت أزرق

يحتوي المركّب الأيونيّ عادة على عدد كبير من الأيونات مجتمعة معًا في ثلاثة أبعاد بدرجة ترتيب عالية؛ ففي كلوريد الصوديوم، مثلًا، يحاط كلّ أيون صوديوم بستة أيونات من الكلور، وكلّ أيون كلور محاط بستة أيونات صوديوم (الشّكل 11.15). على العموم، يوجد أيون صوديوم واحد لكلّ أيون كلور، ولا يوجد أزواج محددة من كلوريد الصوديوم. إنّ هذا الترتيب من الأيونات يعرف بالبلور الأيونيّ. وكما ذكرنا في بداية هذا الفصل على المستوى الذري، فإنّ التركيبَ البلوريَّ لكلوريد الصوديوم مكعّبٌ. ولهذا، فالبلورات الجاهرية لملح المائدة مكعبة أيضًا. حَطِّم مكعّبًا كبيرًا من بلورة كلوريد صوديوم بمطرقة، علام تحصل؟ ستحصل على بلورات كلوريد الصوديوم صغيرة!

وبالمثل، يكون التركيب البلوريّ للمركبات الأيونيّة الأخرى، مثل فلوريد الكالسيوم، وأكسيد الألومنيوم، نتاجًا لكيفية رصّ الأيونات معًا. وسوف ندرس تفاصيل أكثر عن التركيب البلوريّ للمعادن في الفصل 20.

(أ)

(ب)

الشّكل 11.15

(أ) في كلوريد الصوديوم كما هو الحال في المركّبات الأيونيّة الأخرى، تتشكّل بلورات أيونية، حيث يكون أيون داخلي محاطًا بأيونات بشحنات معاكسة. (للتبسيط، جزء صغير فقط من مصفوفة الأيون تظهر هنا. تتضمن بلورة NaCl عادية ملايين الأيونات.) (ب) يبين المجهر التركيب التكعيبي لبلورات ملح المائدة. إنّ شكل المكعب هو نتاج ترتيب أيونات الصوديوم والكلور.

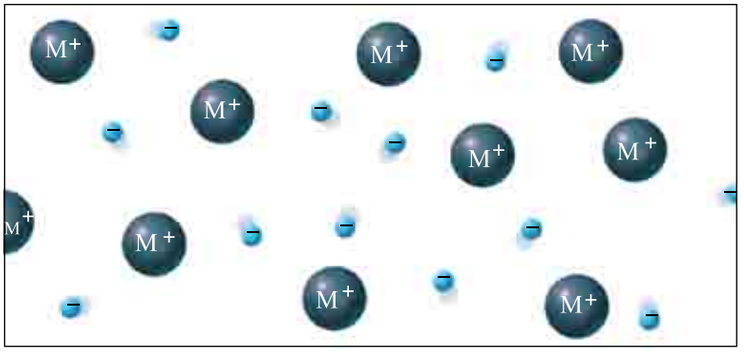
4.15 الرّوابط الفلزّيّة

لقد درسنا في البند 4.12 بعض خصائص الفلزات؛ فهي موصلة للكهرباء والحرارة، معتمة للضوء، وتتشوّه تحت الضغط بدلًا من أن تتكسر. وبسبب هذه الخصائص، تستخدم الفلزات في بناء البيوت، والأجهزة، وناطحات السّحاب. تبثّ أسلاك الفلزات إشارات الاتصالات عبر الأراضي وكذلك الطاقة الكهربائية. كما أنّنا نلبس المجوهرات الفلزية، ونصرف العملات الفلزية، ونشرب كذلك من علب فلزية. ومع هذا، ما الذي يعطي الفلزّ خصائصه؟ يمكن الإجابة عن هذا السّؤال بالنظر إلى سلوك ذراتها.

تميل الإلكترونات الخارجية لذرات معظم الفلزات إلى الارتباط الضعيف بالنواة الذرية. ويتبع ذلك سهولة نزع هذه الإلكترونات، مخلفة وراءها أيونًا فلزيًّا موجب الشّحنة. تنساب العديد من الإلكترونات المنزوعة من مجموعة كبيرة من الذرّات بحرية عبر أيونات الفلز كما هو موضح في الشّكل 12.15. يمسك هذا "المائع" من الإلكترونات أيونات الفلز الموجبة الشّحنة معًا في نوع من الرّابطة الكيميائية تسمّى **الرّابطةَ الفلزية.**

تفسّر حركة الإلكترونات في الفلز قدرته المهمة على توصيل الكهرباء والحرارة. كما أنّ الفلزات معتمة ولامعة لأنّ الإلكترونات الحرّة تهتز بسهولة، وبذبذبات الضّوء السّاقط عليها نفسها، عاكسة معظمه. وأكثر من ذلك، فإنّ أيونات الفلزّ ساكنة لا تكون في مواقع ثابتة، كما هو حال الأيونات في البلورة الأيونيّة. وبدلًا من ذلك، وبسبب تماسك أيونات الفلزّ معًا "بمائع" الإلكترونات، تتحرك هذه الأيونات في الاتجاهات جميعها بعضها بالنسبة إلى بعض، وهذا ما يحدث عند طرق هذه الأيونات وسحبها لتشكيلها بعدة أشكال.

يمكن ربط فلزين أو أكثر معًا بالرّوابط الفلزية. مثلًا، يحدث هذا عند مزج الذهب المصهور مع البلاديوم المصهور لتكوين محلول متجانس يعرف بالذهب الأبيض. يمكن تعديل جودة الذهب الأبيض



الشّكل 12.15

تتماسك الأيونات الفلزّيّة معًا بالانسياب الحرّ لإلكتروناتها. تشكّل هذه الإلكترونات الضعيفة الارتباط ما يسمّى "المائع الإلكترونيّ"، وهي تنساب خلال الشّبيكة من الأيونات الموجبة.

الشّكل 13.15
يتكوّن لون السّطح الخارجيّ الذّهبيّ للدولار الفلزيّ الأمريكي (تذكار) من سبيكة ملونة بنسب 77% نحاس، 12% خارصين، 7% منجنيز، 4% نيكل. أمّا جسم القطعة فهو من النّحاس النّقيّ

بتغيير نِسَب الذهب والبلاديوم. الذهب الأبيض هو مثال على **السبيكة *(Alloy)***. والتي هي أيّ خليط مكوّن من عنصرين فلزيين أو أكثر. يستطيع صانعو الفلزات تعديل خصائص أيّ سبيكة عن طريق تغيير نِسب العناصر الفلزيّة المكوّنة. ومثال هذا تصميم الدولار المعدني على شكل المرأة الطير المبين في الشّكل 13.15. أو الميداليات الفلزية. وغيرها من العملات الفلزيّة المستخدمة لأغراض كثيرة.

هناك عدة فلزات فقط متوافرة في الطبيعة على شكل فلزّ: كالذهب والبلاتينيوم. إنّ مخازنَ هذه الفلزات الطبيعية. والمعروفة أيضا *كفلزات* وطنية نادرةٌ حقًّا. في معظم الحالات. توجد الفلزات في الطبيعة على شكل مركبات كيميائية؛ فالحديد مثلًا يوجد في معظمه على شكل أكسيد الحديد Fe_2O_3. والنحاس على شكل بيريت النحاس $CuFeS_2$. تسمّى الخزاناتُ الجيولوجية التي تحتوي على تراكيز عالية نسبيًّا من المركّبات المحتوية على الفلزات *الناجمَ*. تستخرج صناعة الفلزات من المناجم في الأرض. كما يبين الشّكل 14.15. ومن ثمَّ تعالج كفلزات. وعلى الرّغم من وجود المركّبات المحتوية على فلزات في كلّ مكان. إلا أنّ ما يستخلص منها من المناجم هو الفلزات ذات التركيز الكافي. والتي تكون بكميات ذات جدوى اقتصادية.

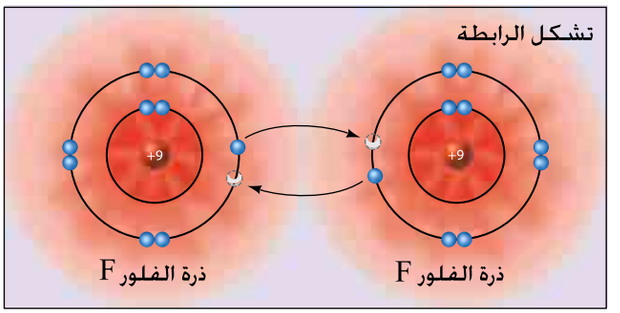
لمعلوماتك

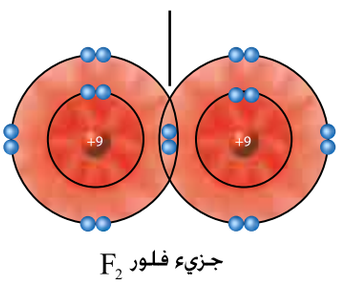
■ خامات الفلز مركبات أيونية حيث تكون ذرات الفلز قد فقدت إلكترونات لتصبح أيونات موجبة. يتطلب تحويل الخامات إلى فلزات إعطاء إلكترونات مرة أخرى إلى أيونات الفلز. ويتمّ هذا بتسخين الخام في وجود مواد تطلق إلكترونات. مثل الكربون. في أفران تصل درجة حرارتها إلى 1500°س. ينشأ الفلز في حالة الانصهار. والذي يمكن تحويله إلى أشكال مفيدة.

الشّكل 14.15
أكبر منجم نحاس في العالم في وادي بينجهام، يوتا.

■ 5.15 الرّوابط التّساهميّة

تخيّل طفلين يلعبان معًا ويتشاركان في ألعابهما. ربما تكون الرّابطة التي تبقيهما معا هي اجذابهما المتبادل إلى الألعاب التي يتشاركان فيها. وبالطريقة نفسها. تتماسك ذرتان بالتّجاذب المتبادل للإلكترونات التي تتشاركان بها. مثلًا. ذرة الفلور لها جذب قوى لإلكترون إضافي حتى تملأ القشرة الأخيرة المعبأة. وكما يبين الشّكل 15.15. تستطيع ذرة الفلور الحصول على إلكترون إضافي بالإمساك بإلكترون التّكافؤ غير المتزاوج من ذرة فلور أخرى.





وينتج عن هذه الحالة أن تتبادل الجذب ذرتا الفلور للإلكترونين نفسيهما. يسمّى هذا النوعُ من التّجاذب الكهربائي الذي من خلاله تتماسك الذّرّات بواسطة التّجاذب المتبادل للإلكترونات المشتركة **الرّابطةُ التّساهميّةُ**. ويدلّ المقطع (Co) بالإنجليزية على التشارك، وكلمة valent على التّكافؤ، لتصبح تشاركًا بإلكترونات التّكافؤ.(Covalence).

تسمّى المادةُ التي تتكون من ذرات متماسكة معًا بروابط مشتركة مركباتٍ مساهمةً. إنّ الوحدة الأساسية لمعظم المركّبات التّساهميّة المشتركة هي الجزيء، والذي يمكن تعريفه رسميّا على أنه مجموعة من الذّرّات التي ترتبط معًا بروابط تساهمية. يستخدم الشّكل 16.15 عنصر الفلور لتوضيح هذا المبدأ.

يستخدم الكيمائيون الخطَّ المستقيم، عادة، للدلالة على ارتباط إلكترونين برابطة تساهمية عند كتابة التركيب البنائي لنقط الإلكترون للمركبات المساهمة. وفي بعض التمثيلات، تهمل أزواج الإلكترونات غير المرتبطة. ويحدث هذا في الحالات التي لا تقوم فيها هذه الإلكترونات بأيّ دور مهم في العملية المراد توضيحها. هنالك طريقتان تستخدمان عادة لتوضيح بناء الإلكترون النّقطيّ لجزيء الفلور دون استخدام الكرات لتمثيل الذّرّات، هما:

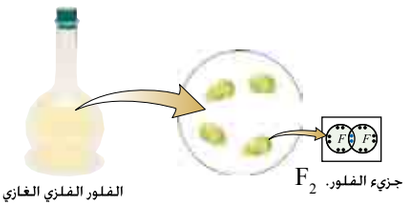
$$:\ddot{F}—\ddot{F}: \qquad F—F$$

تذكر أنّ الخطّ المستقيم يمثّل في الحالتين إلكترونين، واحد من كلّ ذرة. وعليه، فلدينا الآن نوعان من أزواج الإلكترونات لاقتفاء أثرهما. يشير مصطلح *الأزواج غير المرتبطة* إلى أيّ زوج من الإلكترونات موجود في تركيب الإلكترون النّقطيّ للذرة المفردة. كما يشير مصطلح *الزوج المرتبط* إلى أيّ زوج ينتج عن رابطة تشاركية تساهمية. ينتج الزوج غير المرتبط عندما يكون أصل الإلكترونين هو الذّرّة نفسها. أمّا للزوج المرتبط فيأتي إلكترون واحد من ذرة تشترك في الرّابطة التساهمية، في حين يأتي الإلكترون الآخر من ذرة أخرى تشترك في الرّابطة التّساهميّة نفسها.

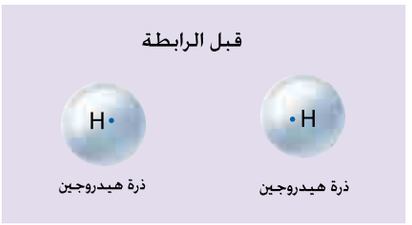
تذكر أنّ الرّابطة الأيونيّة (الجزء 3.15) تنشأ عند توافر ذرة لها استعداد لفقدان إلكترون على اتصال مع ذرة أخرى عندها استعداد لاكتساب هذا الإلكترون. وفي المقابل، تتشكل الرّابطة التّساهميّة عند اتصال ذرتين لدى كلتيهما الاستعداد لاكتساب إلكترونات إحداهما من الأخرى. وبشكل رئيس، إنّ الذّرّات التي تميل إلى تكوين روابط تساهمية هي ذرات لعناصر غير فلزية، في زاوية أعلى يمين الجدول الدّوريّ (ما عدا عناصر الغازات النبيلة والتي هي مستقرة جدًّا، ولا تميل إلى تكوين روابط).

يميل الهيدروجين إلى تكوين روابط تساهمية بشكل مغاير لعناصر المجموعة 1؛ لأنّ له جذبًا قويًّا كافيًا لإلكترون إضافي. فمثلًا، ترتبط ذرات الهيدروجين برابطة تساهمية لتكوين جزيء الهيدروجين، H_2، كما هو مبين في الشّكل 17.15.

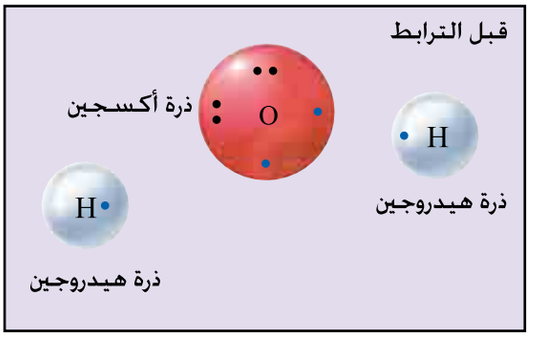
الشّكل 15.15
يمتد أثر الشّحنة النووية الموجبة (الملونة بالظل الأحمر) لذرة الفلور إلى أبعد من القشرة المعبأة الأخيرة. يمكن أن تتسبب هذه الشّحنة الموجبة في تجاذب بين ذرة الفلور والإلكترون غير المتزاوج في ذرة فلور مجاورة. ومن ثم تتماسك هاتان الذرتان في جزيء الفلور من خلال التّجاذب الذي تتأثر كلتاهما به من خلال تشاركهما بالإلكترونين. وتحصل كلّ ذرة فلور على قشرة معبأة.



الشّكل 16.15
الجزيئات هي الوحدة الأساسية للمركب التساهمي الغازي الفلور F_2. لاحظ في نموذج جزيء الفلور هذا، أنّ الكرات تتداخل، في حين لا تتداخل الكرات التي بينت سابقًا للمركبات الأيونيّة. الآن، تعرف أنّ الفرق في الوصف يعزى إلى الفرق في أنواع الرّابطة.



الشّكل 17.15
تكوّن ذرتا الهيدروجين رابطة تساهمية عندما تتشاركان بإلكتروناتهما غير المتزاوجة.



الشّكل 18.15

يتزاوج إلكترونا التّكافؤ غير المتزاوجين للأكسجين مع إلكتروني التّكافؤ غير المتزاوجين لذرتي الهيدروجين لتكوين المركّب التساهميّ الماء.

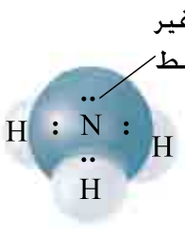
لمعلوماتك

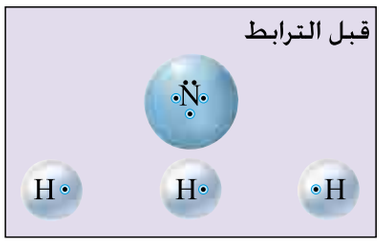
■ دلّت الدراسات الطيفية للغبار بين النجوم على وجود أكثر من 120 نوعًا من الجزيئات، مثل كلوريد الهيدروجين HCl، والماء H_2O، والأستيلين H_2C_2، وحامض الفورميك HCO_2H. والميثانول CH_3OH، ومثيل الأمين NH_2CH_3، وحامض الأستيك CH_3CO_2H، وحتى الحامض الأميني الجلايسين $NH_2CH_2CO_2H$. ومن الجدير بالملاحظة أن نصف هذه الجزيئات بين النجمية هي جزيئات عضوية ذات الأساس – الكربون. وكما ناقشنا في الفصل 13، فإنّ أصل هذه الذّرّات هو الاندماج النووي للنجوم القديمة؛ من المدهش كيف تنضم الذّرّات بعضها إلى بعض لتشكيل الجزيئات حتى في الفراغ في أعماق الفضاء الخارجي. وفي الحقيقة، الكيمياء موجودة في كلّ مكان.

يساوي عدد الرّوابط التّساهميّة التي تستطيع أن تكونها ذرة ما عدد الإلكترونات الإضافية التي تستطيع جذبها، وهو العدد اللازم لملء قشرة التّكافؤ. يجذب الهيدروجين إلكترونًا إضافيًّا واحدًا. وهكذا، فهو يكوّن رابطة تساهمية واحدة. الأكسجين، الذي يجذب إلكترونين إضافيين، يجدهما عندما يواجه ذرتي هيدروجين، ويتفاعل معهما لتكوين الماء، H_2O، كما يبين الشّكل 18.15. في الماء، لا تتمكن ذرة الأكسجين من الحصول على إلكترونين إضافيين بالترابط تساهميًّا لذرتي هيدروجين فحسب، ولكن كلّ ذرة هيدروجين تحصل على إلكترون إضافي عند ارتباطها بذرة أكسجين. وهكذا، فإنّ كلّ ذرة تحصل على قشرة تكافؤ معبأة.

يجذب النيتروجين ثلاثة إلكترونات إضافية. لذا، فهو يشكّل ثلاث روابط تساهمية، كما يحدث في الأمونيا، NH_3، وهذا مبيّن في الشّكل 19.15. وبالمثل، تجذب ذرة الكربون أربعة إلكترونات إضافية. ولهذا، تستطيع تكوين أربع روابط تساهمية، كما يحدث في الميثان، CH_4. لاحظ أنّ عدد الرّوابط التّساهميّة المشكلة من هذه العناصر غير الفلزّيّة يساوي نوع الأيونات السالبة التي تميل إلى تكوينها (الشّكل 6.15). وهذا منطقي؛ لأنّ تكوينَ كلّ من الرّابطة التّساهميّة والأيون السّالب تطبيقان للمفهوم نفسه: تميل الذّرّات غير الفلزّيّة إلى اكتساب إلكترونات حتى تملأ قشور تكافئها.

إنّ الماس مركب تساهميّ بصورة غير عادية؛ فهو يتكون من أربع ذرات كربون مرتبطة تساهميًّا الواحدة مع الأخرى في الاتّجاهات الأربعة. والنتيجة بلورة تساهمية، وهي شبكة ذرات مرتبطة تساهميًّا في ثلاثة أبعاد، عالية الترتيب، كما هو مبين في الشّكل 20.15. تكون هذه الشّبكة من ذرات الكربون تركيبًا صلبًا وقويًا جدًّا. ولهذا يكون الماس صلبًا جدًّا. وأيضًا، لأنّ الماس مكوّن من مجموعة ذرّات متماسكة معًا بروابط تساهمية، فإنّها تصنّف على أنها جزيء مفرد. وعلى عكس معظم الجزيئات الأخرى، يكون جزيء الماس كبيرًا بما فيه الكفاية بحيث يرى بالعين المجردة. وهكذا فإنّ التسميةَ المناسبة له هي الجزيءُ الضخم.

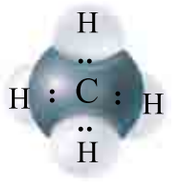


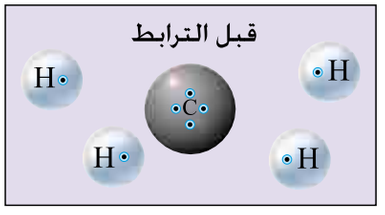


(أ)

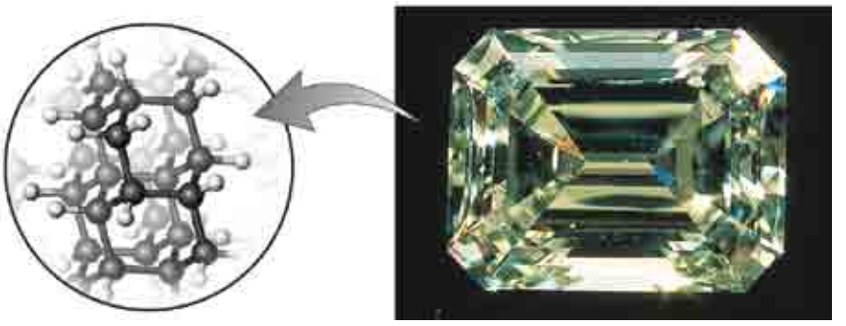
الشّكل 19.15

(أ) تجذب ذرة النيتروجين الإلكترونات الثلاثة من ذرات الهيدروجين لتكوين الأمونيا، NH_3، وهو غاز يمكن أن يذوب في الماء لتكوين منظّف فاعل. (ب) تجذب ذرة الكربون الإلكترونات الأربعة في أربع ذرات هيدروجين لتكوين الميثان، CH_4، المكون الرئيس للغاز الطبيعي. في هذه الحالات، وفي معظم حالات تشكل الرّابطة التّساهميّة، تكون النتيجة غلاف تكافؤ معبأ بالذّرّات المرتبطة جميعها.





(ب)



الشّكل 20.15
يوضح الشّكل جمالية التركيب البلوري للماس، حيث تمثل العيدان الرّوابط التّساهميّة. تعدّ الطبيعة الجزيئيّة للماس السببَ في الصلابة الشديدة له.

من المحتمل أن تتشارك ذرتان بأكثر من إلكترونين. وهناك أمثلة عدة في الشّكل 21.15 . يتكون جزيء الأكسجين ، O_2، من ذرتي أكسجين موصولتين بتشارك أربعة إلكترونات. يسمّى هذا الترتيب رابطة تساهمية ثنائية، أو، باختصار، رابطة ثنائية . وإليك مثال آخر. يتكوّن المركّب التساهمي، ثاني أكسيد الكربون CO_2، من رابطتين ثنائيتين موصلتين بين ذرتي أكسجين مع ذرة الكربون المركزية.

لمعلوماتك

■ اكتشف الفلكيون حديثًا نجمًا خامدًا، له نواة صلبة مصنوعة من الماس. يبلغ عرض هذا الماس ذي الحجم النجمي نحو 4000 كم. أي أنّه يعادل 10 بلايين تيريليون تيريليون قيراط تقريبًا. وقد سمّي "لوسي" بعد أغنية فرقة الخنافس "لوسي في السّماء مع الماس" . في غضون 7 بلايين سنة، فعلى الأغلب أنّ نجمنا، الشّمس، سيتبلور إلى كرة ماسية ضخمة.

■ **نقطة فحص**

ما عدد الإلكترونات التي تكون الرّابطة التّساهميّة؟

هل كانت هذه إجابتك؟
2 – 1 من كلّ ذرة مشاركة.

وهناك بعض الذّرّات التي تكوّن روابط تساهمية ثلاثية؛ حيث تشترك ستة إلكترونات؛ ثلاثة إلكترونات من كلّ ذرة. ومن الأمثلة النيتروجين الجزيئيّ، N_2. يشار إلى أعلى الرّابطة المزدوجة أو الرّابطة الثلاثية على أنّها رابطة تساهمية متعددة. إنّ الرّوابط التّساهميّة أعلى من هذه، مثل الرّابطة التّساهميّة الرباعية، لا تُلاحَظُ عادة.

الأكسجين ، O_2 — ثاني أكسيد الكربون ، CO_2 — نيتروجين ، N_2

الشّكل 21.15
الرّابطة التّساهميّة الثّنائيّة في جزيء الأكسجين، O_2، وثاني أكسيد الكربون، CO_2 والرّابطة التّساهميّة الثلاثية في جزيء النيتروجين N_2.

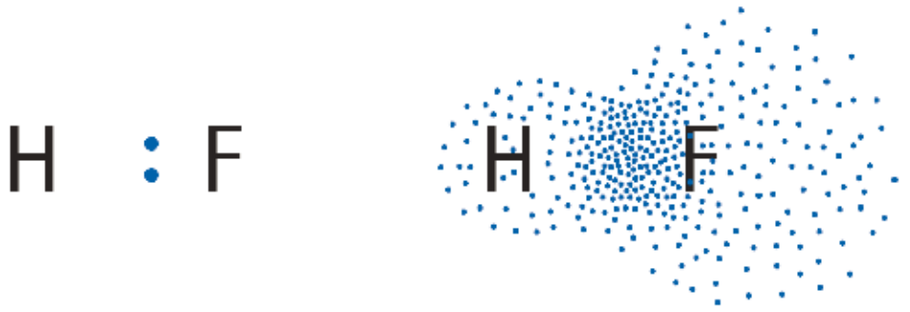
■ 6.15 الرّوابط التّساهميّة القطبيّة

إذا كانت ذرتا الرّابطة التّساهميّة متماثلتين فإنّ لأنويتهما الشّحنة الموجبة نفسها، لذا، تتشاركان في الإلكترونات بالتساوي. ويمكننا تمثيل هذه الإلكترونات بوضعها في المركز وباستخدام تركيب نقط – الإلكترون بحيث تكون هذه الإلكترونات في المنتصف تمامًا بين الرموز الذرية. أو يمكننا رسم غيمة بحيث

هناك إلكترونات لكل رابطة تساهمية دائمًا. لذا، فالرابطة الثنائية تتكون من أربعة إلكترونات، أما الرابطة الثلاثية فتتكون من ستة إلكترونات.

تظهر مواقع إلكترونات الربط مقابل الزمن كسلسلة من النقاط. وحيثما تكون النقاط أكثر تركيزًا، تكون احتمالية وجود الإلكترونات أعلى ما يمكن.

في الرّابطة التّساهميّة بين الذّرّات غير المتماثلة، تكون الشّحنات النووية مختلفة. ولهذا، قد تكون المشاركة في الإلكترونات غير متكافئة. وهذا ما يحدث في رابطة الهيدروجين – الفلور، حيث تنجذب الإلكترونات أكثر نحو شحنة الفلور الكبيرة:



تمكث إلكترونات الربط وقتًا أطول حول ذرة الفلور. ولهذا، يكون جانب الفلور من الرّابطة سالبًا قليلًا. وبسبب ابتعاد إلكترونات الربط عن ذرة الهيدروجين، يجعل ذلك جانب الهيدروجين من الرّابطة موجبًا قليلا. يسمّى فصل الشّحنات هذا **الثنائقطبيّ (*Dipole*)**، الذي يمثّل بالرمز $\delta+$ أو $\delta-$ (نقرأ "سالب قليلا" أو "موجب قليلا" على الترتيب) أو بالسّهم المصلّب الذي يشير إلى الجانب السّالب من الرّابطة:

$$\overset{\delta+}{H}—\overset{\delta-}{F} \qquad H—F \longrightarrow$$

وهكذا تنهمك الذّرّات المكونة للرابطة في صراع على الإلكترونات. لقد قيس مقدار قوة الذّرّة على امتلاك إلكترونات الربط تجريبيًّا، وسميت **السالبية الكهربائية *(electronegativity)*** للذرة. يكون مدى السالبية الكهربائية من 0.7 إلى 3.98 كما يبين الشّكل 22.15. وكلّما كانت السالبية الكهربائية للذرة أعلى، كانت مقدرتها على سحب الإلكترونات إلى جانبها أعلى عند تكوين رابطة. وهكذا، في فلوريد الهيدروجين، يكون للفلور سالبية كهربائية أعلى، أو قوة لسحب الإلكترونات أكثر منها للهيدروجين.

H 2.2																	He –
Li 0.98	Be 1.57											B 2.04	C 2.55	N 3.04	O 3.44	F 3.98	Ne –
Na 0.93	Mg 1.31											Al 1.61	Si 1.9	P 2.19	S 2.58	Cl 3.16	Ar –
K 0.82	Ca 1.0	Sc 1.36	Ti 1.54	V 1.63	Cr 1.66	Mn 1.55	Fe 1.83	Co 1.88	Ni 1.91	Cu 1.90	Zn 1.65	Ga 1.81	Ge 2.01	As 2.18	Se 2.55	Br 2.96	Kr –
Rb 0.82	Sr 0.95	Y 1.22	Zr 1.33	Nb 1.6	Mo 2.16	Tc 1.9	Ru 2.2	Rh 2.28	Pd 2.20	Ag 1.93	Cd 1.69	In 1.78	Sn 1.96	Sb 2.05	Te 2.1	I 2.66	Xe –
Cs 0.79	Ba 0.89	La 1.10	Hf 1.3	Ta 1.5	W 2.36	Re 1.9	Os 2.2	Ir 2.20	Pt 2.8	Au 2.54	Hg 2.00	Tl 2.04	Pb 2.33	Bi 2.02	Po 2.0	At 2.2	Rn –
Fr 0.7	Ra 0.9	Ac 1.1	Rf –	Db –	Sg –	Bh –	Hs –	Mt –	Uun –	Uuu –	Uub –						

الشّكل 22.15
السالبية الكهربائية المقيسة تجريبيًّا للعناصر.

تكون السالبية الكهربائية كبيرة للعناصر في الجانب الأيمن العلوي من الجدول الدّوريّ، في حين تكون قليلة للعناصر التي في الجانب الأيسر السفلي. لا تذكر الغازات النبيلة عند مناقشة السالبية الكهربائية لأنها نادرًا ما تشارك في الربط الكيميائي، كما ذُكر سابقًا.

عندما يكون للذرتين في الرّابطة التّساهميّة سالبية الكهرباء نفسها، فإنّ الثنائقطبي لا يتكون حينها (كما هو الحال في H_2). وتصنّف الرّابطة على أنّها رابطة غير قطبيّة (nonPolar). وعندما تختلف سالبية الكهرباء للذرّات يمكن تكوّن الثنائقطبي (كما هو الحال في HF) عندئذٍ. وهنا تصنف الرّابطة على أنّها رابطة قطبيّة (Polar). يعتمد مقدار قطبيّة الرّابطة على الفرق بين قيمتي سالبية الكهرباء للذرتين؛ وكلما كان الفرق كبيرًا زادت القطبيّة.

في رابطة الفلور – الهيدروجين، يكون لأحد الأطراف كثافة إلكترونات أعلى. لذا، يكون سالبًا قليلًا، أمّا الطرف الآخر فيكون موجبًا قليلًا. ويشكل بذلك *ثناقطبي*، وهو امتداد لاستقطاب الشّحنة الكهربائية التي نوقشت في الفصل 8.

الثنائقطبي كمية متجهة لها مقدار واتجاه. عندما يتساوى ثنائقطبيان ويتعاكسان، فإن أحدهما يلي الآخر فعليّا.

ويمكننا أن نقرأ من الشّكل 22.15، كلما زاد البعد بين ذرتين في الجدول الدّوريّ، زاد الفرق في سالبية الكهرباء بينهما. وعليه، زادت قطبيّة الرّابطة بينهما أيضًا. ولهذا، يستطيع الكيميائي التنبؤ بأيّ الرّوابط أكثر قطبيّة من غيرها دون قراءة سالبية الكهرباء لهما. يمكن معرفة قطبيّة الرّابطة بالنظر إلى المواقع النسبية للذّرّات في الجدول الدّوريّ: كلما ابتعدتا إحداهما عن الآخر، وخصوصًا إذا كانت إحداهما في أسفل اليسار والأخرى في أعلى اليمين، زادت قطبيّة الرّابطة بينهما.

■ **نقطة فحص**

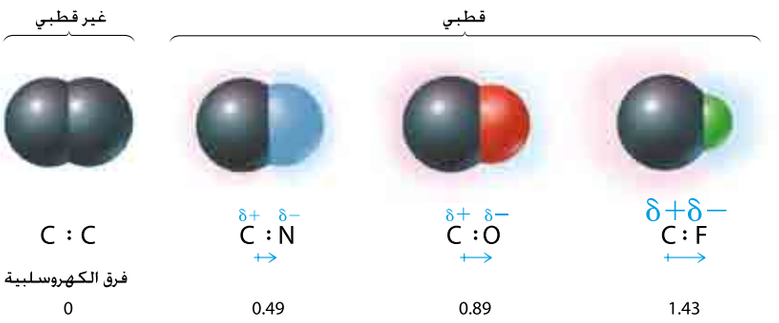
رتّب الرّوابط التالية وفق زيادة القطبيّة P—F، S—F، Ga—F، Ge—F:(F.
الفلور ذو العدد الذري 9، وP، الفوسفور ذو العدد الذري 15، وS، الكبريت ذو العدد الذري 16، وGa، الجاليوم ذو العدد الذري 31، وGe، الجيرمانيوم ذو العدد الذري 32):
(الأقل قطبيّة)----------.----------.----------.---------- (الأكثر قطبيّة)

هل كانت هذه إجابتك؟

إذا أجبت هذا السؤال، أو حاولت إجابته دون قراءتك للجواب، فهذا جيد؛ فقد تعلمت أكثر من قراءتك للمقرر؛ لقد تعلمت العلوم الطبيعية. كلما زاد فرق سالبية الكهرباء بين الذّرّات المرتبطة، زادت قطبيّة الرّابطة. ولهذا فإنّ ترتيب زيادة القطبيّة هو Ga—F < Ge—F < P—F < S—F.

لاحظ أنه يمكن الحصول على هذه الإجابة بالنظر إلى المواقع النسبية لهذه العناصر في الجدول الدّوريّ، بدلًا من حساب الفرق في سالبية الكهرباء بينها.

يعبر عن مقدار قطبيّة الرّابطة أحيانًا بطول السهم المصلب، أو بحجم الرمزين $\delta+$ و $\delta-$ اللذين يستخدمان لتوضيح الثناقطبي، كما هو مبين في الشّكل 23.15.



الشّكل 23.15
هذه الرّوابط مرتبة من اليسار إلى اليمين وفق تزايد القطبيّة، كما يستدل على ذلك من حجم السهم المصلب، وكذلك من حجم رمز $\delta+/\delta-$. أيّ هذه الأزواج أبعد في الجدول الدّوريّ بعضها عن بعض؟

لاحظ أنّه يمكن حساب فرق سالبية الكهرباء بين الذّرّات في الرّابطة الأيونيّة أيضًا. مثلًا، في رابطة كلوريد الصوديوم، فرق سالبية الكهرباء هو 2.23، وهو أكبر كثيرًا من الفرق 1.43 المبين لرابطة C—F، الموضحة في الشّكل 23.15.

إنّ المهم هو الوصول إلى حقيقة عدم وجود حدّ فاصل واضح بين الرّوابط الأيونيّة والتّساهميّة. بل إنّ هناك تغيّرًا تدريجيًّا من واحدة إلى أخرى، بحسب بعد الذّرّات بعضها عن بعض في الجدول الدّوريّ. وهذا الاتصال موضّح في الشّكل 24.15. يكون للذّرّات على الجوانب المتعاكسة من الجدول الدّوريّ فرق كبير في سالبية الكهرباء. ولهذا، تكون الرّوابط بينها عالية القطبيّة؛ أي أنّها أيونية. ويكون للذّرّات غير الفلزّيّة من النوع نفسه سالبية كهرباء متماثلة. وهكذا تكون الرّوابط تساهمية غير قطبيّة. أمّا في الرّابطة التّساهميّة القطبيّة فيكون توزيع الإلكترونات غير متساوٍ، وتكون الذّرّات مشحونة قليلًا، وتقع بين هذين الطرفين.

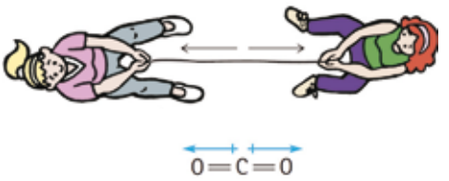
الشّكل 24.15
تمثل الرّابطتان؛ الأيونيّة والتّساهميّة غير القطبيّة طرفي الرّوابط الكيميائية. تتضمن الرّابطة الأيونيّة انتقال إلكترون أو أكثر، في حين تتضمن الرّابطة التّساهميّة غير القطبيّة التشارك المتساوي في الإلكترونات. أمّا خصائص الرابطة التّساهميّة القطبيّة فتقع بين هاتين الرابطتين.

7.15 القطبيّة الجزيئيّة

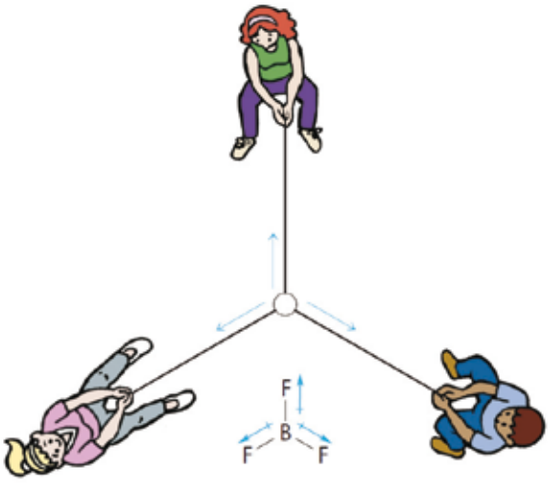
عندما تكون الرّوابط جميعها في الجزيء غير قطبيّة، يكون الجزيء غير قطبي بالكامل؛ كحالة H_2, O_2, N_2. وعندما يتكون الجزيء من ذرتين فقط، وتكون الرّابطة بينهما قطبيّة، يكون استقطاب الجزيء تمامًا كاستقطاب الرّابطة، كما في HF، وHCl، وClF.

تنشأ الصعوبة عند تقييم القطبيّة في الجزيئات التي تحتوي على أكثر من ذرتين. خذ ثاني أكسيد الكربون CO_2، المبين في الشّكل 25.15. إنّ المسبب للتناقطبي في كلّ من رابطة الكربون - أكسجين هو القدرة الكبيرة للأكسجين على سحب إلكترونات الربط (لأنّ الأكسجين أكثر سالبية كهربائية من الكربون). وفي الوقت نفسه، فإنّ الأكسجين على الجانب المعاكس الآخر لذرة الكربون يسحب هذه الإلكترونات ثانية إلى الكربون. وتكون المحصلة النهائية توزيعًا منتظمًا لإلكترونات الربط حول كامل الجزيء. وهكذا، فوجود ثناقطبين متساويين في القيمة ويسحبان في اتجاهين متعاكسين عمليًّا يلغي كلّ منهما الآخر. وأخيرا، يكون الجزيء ككلّ غير قطبي.

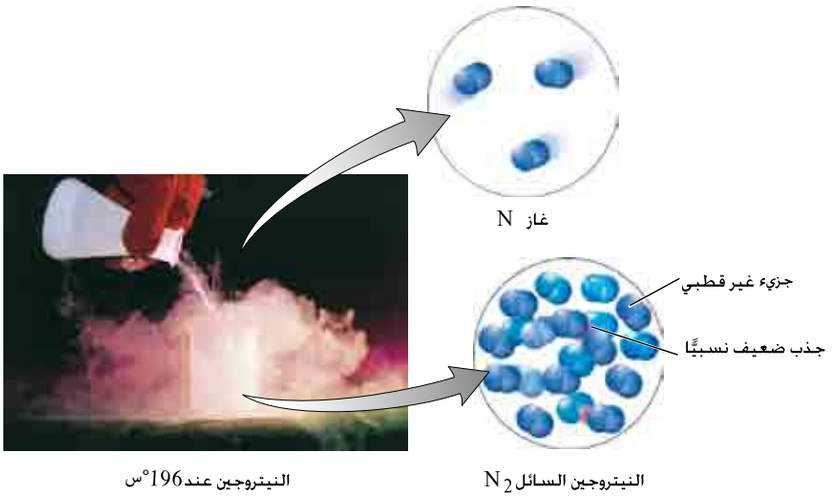
يوضح الشّكل 26.15 حالة مشابهة لثلاثي فلوريد البورون، BF_3، الذي تشكّل فيه ثلاث ذرات فلور زاوية 120° بعضها مع بعض حول ذرة البورون المركزية. ولأنّ الزوايا جميعها متساوية، ولأنّ كلّ ذرة فلور تسحب إلكترون البورون – فإنّ لرابطة الفلور القوة نفسها. وتكون المحصلة النهائية لقطبيّة الجزيء صفرًا



الشّكل 25.15
لا يوجد ثناقطبي صاف لجزيء ثاني أكسيد الكربون. لذا، يكون الجزيء غير قطبي. وهذا يناظر شخصين يمارسان لعبة شدّ الحبل. ما دام الشخصان يشدّان بقوى متساوية ولكن في اتجاهات متعاكسة، فإنّ الحبل يبقى ثابتًا.



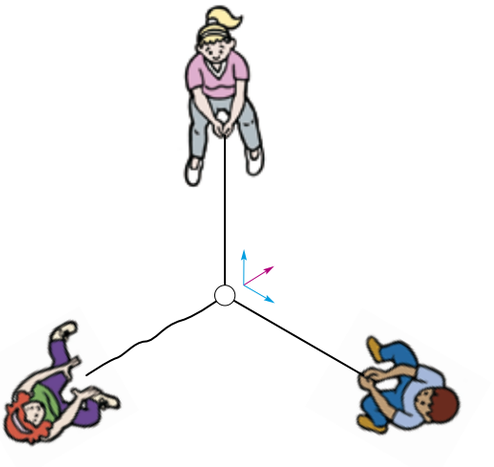
الشّكل 26.15
تقابل الثناقطبيات الثلاث لثلاثي فلوريد البورون بعضها بعضًا بزاوية مقدارها 120°، وهذا ما يجعل الجزيء كاملا غير قطبي. كما أنّ هذا يناظر ثلاثة أشخاص يسحبون حبلًا مربوطًا بحلقة مركزية بقوى متساوية. طالما بقي الثلاثة يسحبون الحبل المرتبط بحلقة مركزية وبقوى متساوية، وكلّ منهم يحافظ على زاوية 120°، فستبقى الحلقة ثابتة في مكانها.



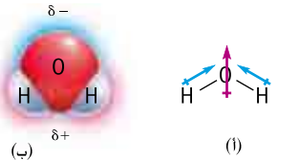
الشّكل 27.15
يكون النيتروجين سائلًا عند درجة غليانه الباردة جدًا 196°س. لا تنجذب جزيئات النيتروجين بعضها إلى بعض لأنها غير قطبيّة. وعلى هذا، فإنّ كمية الحرارة القليلة المتوافرة عند درجة -196°س تكفي لفصل بعضها عن بعض، وتسمح للنيتروجين بدخول الطّور الغازيّ.

يكون هناك جذب ضعيف نسبيًّا من الجزيئات غير القطبيّة للجزيئات غير القطبيّة الأخرى. مثلًا، الرّوابط التّساهميّة في جزيء ثاني أكسيد الكربون أقوى عدة مرات من أيّ قوى جذب يمكن أن تحدث بين جزيئين متجاورين من ثاني أكسيد الكربون. يفسر غياب الجذب بين الجزيئات غير القطبيّة انخفاض درجات الغليان للعديد من المواد غير القطبيّة. تذكر من الجزء 2.14 أنّ الغليان هو عملية إبعاد جزيئات السّائل عن بعضها عند تحوّلها إلى الطّور الغازيّ. وعندما يكون هناك تجاذب ضعيف بين جزيئات السّائل، فإنّنا نحتاج إلى حرارة تسخين أقلّ لفصل الجزيئات بعضها عن بعض، والسماح لها بدخول الطّور الغازيّ. وهذا يعني أنّ درجة غليان السّائل منخفضة نسبيًّا. ومثال هذا النيتروجين الجزيئيّ، N_2، المبين في الشّكل 27.15. كذلك تكون درجات الغليان لكلّ من الهيدروجين (H_2)، والأكسجين (O_2)، وثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وثلاثي فلوريد البورون(BF_3) منخفضة جدًا للسبب نفسه.

هناك الكثير من الحالات التي لا تستطيع ثناقطبيات الرّوابط المختلفة في الجزيء من إلغاء بعضها بعضًا. أنعم النظر في تناظر الحبل في الشّكل 26.15. وما دام كان السّحب متساويًا من الجميع فإنّ الحلقة تبقى مشدودة. ولكن، تخيّل أنّ أحد الأشخاص بدأ يرخي حبله لتخفيف الشّدّ قليلًا. عندئذٍ، لا يكون السّحب متزنًا، وتبدأ الحلقة في الابتعاد عن الشّخص المتراخي، كما في الشّكل المبين 28.15. وبالمثل، إذا بدأ شخص يشدّ بقوة أكبر فإنّ الحلقة تبتعد عن الشخصين الآخرين.



الشّكل 28.15
إذا تراخى شخص بالسحب، في حين استمر الآخران به، فإنّ الحلقة تتحرك في اتجاه الشخص ذي اللباس الأرجواني.



الشّكل 29.15

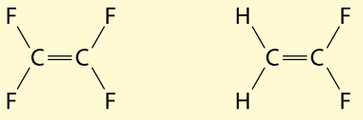
(أ) تتجمع الثناقطبيات المفردة في جزيء الماء لتكون ثناقطبيًا كليًّا كبيرًا للجزيء، كما هو مبيّن بالأرجواني. (ب) لذا، تكون المنطقة حول ذرة الأكسجين سالبة قليلًا، والمنطقة حول ذرتي الهيدروجين موجبة قليلًا.

تحدث الحالة نفسها في الجزيئات. حيث تكون الرّوابط القطبيّة التّساهميّة غير متساوية ومتعاكسة. ربما يكون المثال المناسب هو الماء H_2O، حيث الرّابطة التّساهميّة بين الهيدروجين والأكسجين لها ثناقطبي كبير نسبيًّا بسبب الفرق الكبير في السالبية الكهربائية. وبسبب الشّكل المائل للجزيء، فإنّ الثناقطبيين المبينين بالأزرق في الشّكل 29.15 لا يلغي أحدهما الآخر كما تفعل أقطاب C — O في الشّكل 25.15. وبدلًا من ذلك، فإنّ الثناقطبي لجزيء الماء تعمل معًا لإكساب جزيء الماء ثناقطبيًا محصلًا كما هو مبين باللون الأرجواني.

جزيء الماء هو ثناقطبي طبيعيّ- موجب قليل جدًّا في إحدى نهاياته، وسالب قليل جدًّا في الجانب الآخر. ما الشّحنة الكلية للثناقطبي؟

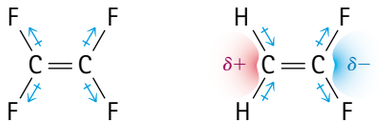
■ نقطة فحص

أيّ هذه الجزيئات قطبيّ وأيّها غير قطبيّ؟



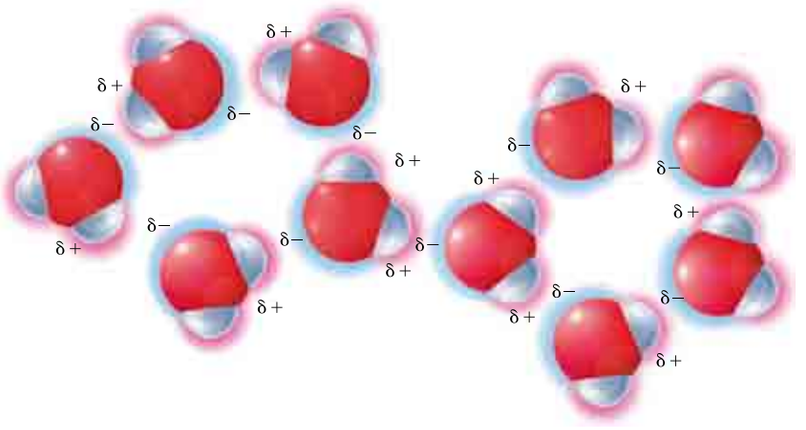
هل كانت هذه إجابتك؟

عادة ما يكون التّماثل أعظم مفتاح لتحديد القطبيّة. وبسبب أنّ الجزيء الذي عن اليسار متماثل فإنّ الثناقطبيين على الجانبين يلغي أحدهما الآخر. ولهذا فإنّ الجزيء غير قطبي:



وبسبب أنّ الجزيء الذي عن اليمين أقلّ تماثلية (مائل إلى جانب) فإنّه يكوّن جزيئًا قطبيًّا. ولأنّ الكربون أكثر سالبية كهربائية من الهيدروجين، فإنّ الثناقطبي لذرتي الهيدروجين — كربون يكون في اتجاه الكربون. ولأنّ الفلور أكثر سالبية كهربائية من الكربون، فإنّ الثناقطبي لروابط الكربون — فلور يكون في اتجاه الفلور. وبسبب اتجاه أسهم الثناقطبيات جميعها نحو الفلور، واتجاه معدل توزيع إلكترونات الربط، فإن جانب الجزيء يكون سالبًا قليلًا عند الفلور، أمّا عند الهيدروجين فيكون جانب الجزيء موجبًا قليلا.

يوضح الشّكل 30.15 كيفية انجذاب الجزيئات القطبيّة بعضها ببعض كهربائيًّا، بحيث يصعب فصلها. أي، يمكن التفكير في الجزيئات القطبيّة كأنها "لاصقةً" ولهذا نحتاج إلى طاقة أكبر لفصلها عن بعضها — لتغيير الطور—. ولهذا، تكون درجات غليان المواد المكونة من جزيئات قطبيّة أعلى من درجة غليان المواد المكونة من جزيئات غير قطبيّة، كما هو مبين في الجدول 2.15.



الشّكل 30.15

تجذب جزيئات الماء بعضها بعضًا؛ لأنّ كلّ جزيء يحتوي على جانب موجب قليلًا وجانب آخر سالب قليلًا. تتموضع الجزيئات بعضها بالنسبة إلى بعض بحيث يواجه الوجه الموجب لجزيء ما الوجه السالب للجزيء المجاور.

الجدول 2.15 درجات الغليان لبعض المواد القطبيّة والمواد غير القطبيّة

المادة	درجة الغليان (°س)
قطبيّة	
فلوريد الهيدروجين، HF	20
الماء، H_2O	100
الأمونيا، NH_3	-33
غير قطبيّة	
الهيدروجين، H_2	-253
الأكسجين، O_2	-183
النيتروجين، N_2	-196
ثلاثي فلوريد البورون، BF_3	-100
ثاني أكسيدالكربون، CO_2	-79

يغلي الماء عند درجة 100° س. في حين يغلي ثاني أكسيد الكربون عند درجة -79° س. الفرق بين هاتين الدرجتين كبير. ويساوي 179° س إذا أخذنا في الحسبان أنّ كتلة جزيء ثاني أكسيد الكربون أكثر من ضعفي كتلة جزيء الماء.

وبسبب الدور الذي يقوم به التماسك الجزيئي في تحديد الخصائص الجاهرية للمواد، فإنّ مفهوم القطبيّة الجزيئيّة مفهوم مركزي في الكيمياء. والشّكل 31.15 يصف مثالًا مناسبًا.

الشّكل 31.15
يصعب خلط الزيت بالماء، كما يتضح من بقعة الزيت على شاطئ أسبانيا عام 2002، ليس بسبب تنافر جزيئات الماء والزيت، بل لأنّ جزيئات الماء تتجاذب معًا أكثر بسبب قطبيتها. وعليه، فإنّ جزيئات الزيت غير القطبيّة تُستثنى وتبقى وحدها. ولأنّ الزيت أقلّ كثافة، فإنه يطفو على السّطح، حيث يُشكّل ذلك خطرًا كبيرًا على الطيور والحياة البرّية الأخرى.

8.15 التّجاذب الجزيئيّ

حتى الآن، علمنا أنّ ذرات الجزيء تتماسك معًا من خلال الرّوابط التّساهميّة. علاوة على ذلك، يسلك الجزيء سلوك وحدة أساسية. له تجاذب كهربائيّ مع الجزيئات المجاورة. وكما ناقشنا في الجزء السابق.

كلّما زادت قطبيّة الجزيء، كبر جذبه للجزيئات المجاورة. وهذا يفسر سبب ارتفاع درجة غليان الماء؛ لأنّ جزيئات الماء تتمتع بقطبيّة عالية، وينجذب بعضها إلى بعض بقوة ولهذا، تتطلب طاقة كبيرة لفصل الجزيئات بعضها عن بعض حتى تتحول إلى الطّور الغازيّ. في هذا الجزء، سنتعمق في دراسة كيفية معرفة الخصائص الفيزيائية للمواد، مثل درجة الغليان، من خلال معرفة قطبيّة الجزيئات. بالإضافة إلى دراسة الجذب بين الجزيئات في مادة واحدة، كما سندرس الجذب بين الوحدات الأساسية للمواد كجزيئات الماء والملح.

كما يبين الجدول 3.15، هناك أربعة أنواع من الجذب الكهربائيّ بين الجزيئات. وأنّ شدة أقوى نوع من هذه التّجاذبات هي أضعف كثيرًا من الرّابطة الكيميائية. إنّ الجذب بين جزيئي ماء متجاورين، مثلًا، يساوي من قوة الرّوابط الكيميائية التي تربط ذرتي الأكسجين والهيدروجين معًا في جزيء الماء. وعلى الرّغم من أنّ جذب الجزيء – الجزيء ضعيف نسبيًّا، إلاّ أنه إشارة مهمة جدًّا على الخصائص الفيزيائية للمواد.

في الجزء الأول من هذا الفصل، تحدثنا عن كيفية تشكّل الجزيئات. وسنرى الآن كيفية اختلاطها معًا.

الجدول 3.15 الجذب الكهربائي بين الجزيء والجزيء المجاور

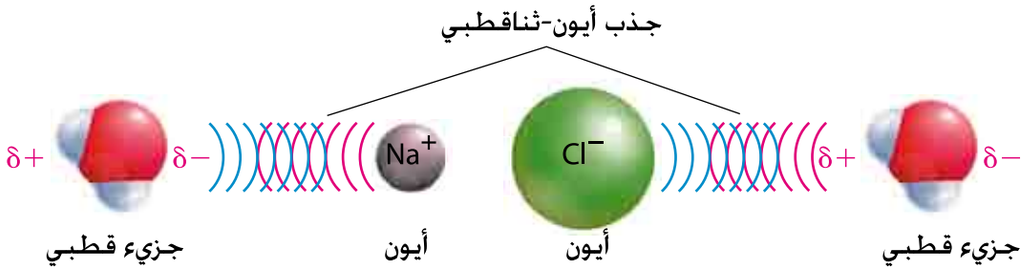
الجذب	القوة النّسبيّة
الأيون – ثناقطبيّ	الأقوى
ثناقطبيّ – ثناقطبيّ	
ثناقطبيّ – ثناقطبيّ مستحث	
ثناقطبيّ مستحثّ - ثناقطبيّ مستحثّ	الأضعف

الأيونات والثّناقطبيّات

تذكر من الجزء 7.15 أنّ *الجزيء القطبيّ* هو ذلك الجزيء الذي تكون إلكترونات الربط فيه موزعة دون تماثل. يحمل أحد جوانب الجزيء شحنة سالبة صغيرة، ويحمل الجانب المعاكس شحنة موجبة صغيرة. إنّ هاتين الشحنتين المتباعدتين تشكلان *الثناقطبي*.

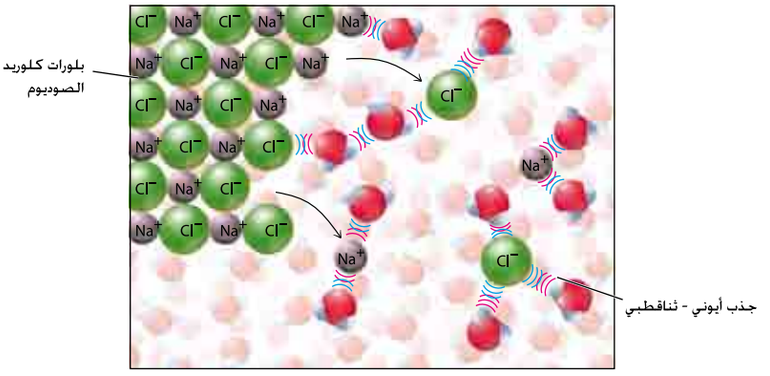
إذن، ماذا يحدث للجزيئات القطبيّة، مثل جزيئات الماء، عندما تكون بجانب مركب أيوني، مثل كلوريد الصوديوم؟ إنّ الشّحنات المختلفة تجذب الواحدة الأخرى. فيجذب أيون الصوديوم الموجب الجانب السالب من جزيء الماء، ويجذب أيون الكلور السالب الجانبَ الموجب من جزيء الماء. وهذه الظاهرة موضّحة في الشّكل 32.15. يسمّى هذا التّجاذب بين الأيون والثناقطبي لجزيء قطبي تجاذبَ *أيون – ثناقطبي*.

إنّ تجاذب الأيون- ثناقطبي هو أضعف كثيرًا من الرّوابط الأيونيّة. ولكن تضافر عدد كبير من تجاذبات الأيون- ثناقطبي يفتت الرّوابط الأيونيّة. هذا ما يحدث لكلوريد الصوديوم في الماء. تحطم التّجاذبات الناجمة عن جزيئات الماء الرّوابط الأيونيّة، وتسحب الأيونات بعيدًا بعضها عن بعض. يمثل الشّكل 33.15، محلول كلوريد الصوديوم في الماء. (يسمّى المحلولُ في الماء *المحلولَ المائيّ*.)



الشّكل 32.15
تظهر التّجاذبات الكهربائية كسلسلة من الأقواس المتداخلة. يشير القوس الأزرق إلى الشّحنة السالبة، في حين يشير القوس الأحمر إلى الشّحنة الموجبة.

يسمى الجذبُ بين جزيئين قطبيين الجذبَ الثناقطبي – الثناقطبي. يكون تجاذب الثناقطبي- الثناقطبي قويًّا بشكل غير عادي في **الرّابطة الهيدروجينية *(Hydrogen Bond)***. يحدث هذا التّجاذب بين الجزيئات التي تربط تساهميًّا فيها ذرة الهيدروجين مع ذرة لها سالبية كهربائية عالية.



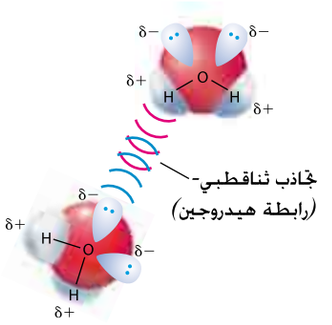
محلول مائي من كلوريد الصوديوم

الشّكل 33.15
تنفصل أيونات الصوديوم عن أيونات الكلور المرتبطة بقوة معًا في شبكة البلورة بالجذب الجمعي (الكلي) من العديد من جزيئات الماء لتشكيل محلول مائي من كلوريد الصوديوم

عادة النيتروجين أو الأكسجين أو الفلور. تذكر من الجزء 6.15 أنّ السالبية الكهربائية للذرة هي وصف لقدرة الذّرّة على سحب إلكترونات الربط نحوها. كلما زادت السالبية الكهربائية للذرة كانت قدرتها أفضل لاكتساب إلكترونات. لذا تزداد شحنتها السالبة.

انظر إلى الشّكل 34.15 لمعرفة كيفية عمل الرّابطة الهيدروجينية. إنّ جانب الهيدروجين من الجزيء المستقطب (الماء في هذه الحالة). له شحنة موجبة؛ لأنّ السالبية الكهربائية للأكسجين عالية. ويسحب بقوة إلكترونات الرّابطة التّساهميّة. لذا. ينجذب الهيدروجين إلى زوج من الإلكترونات غير المرتبطة على الذّرّة السالبة الشّحنة لجزيء آخر (في هذه الحالة. جزيء ماء آخر). إنّ هذا الجذب المتبادل بين الهيدروجين والذّرّة السالبة الشّحنة لجزيء آخر هو الرّابطة الهيدروجينية.

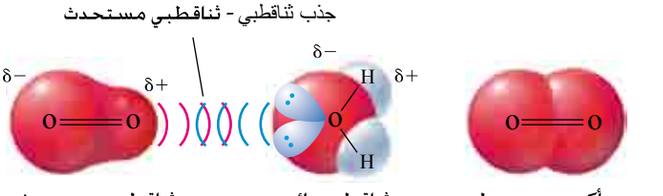
ومع أنّ الرّابطة الهيدروجينية أضعف كثيرًا من الرّابطتين الأيونيّة أو التّساهميّة. فإنّ آثار الرّوابط الهيدروجينية تكون واضحة جدًّا. مثلًا. يعزى العديد من خصائص الماء إلى الرّوابط الهيدروجينية. كما أنّ الرّابطة الهيدروجينية مهمة جدًّا في كيمياء الجزيئات الكبيرة. مثل الـ د.ن.ا (DNA). والبروتينات التي توجد في الكائنات الحية.



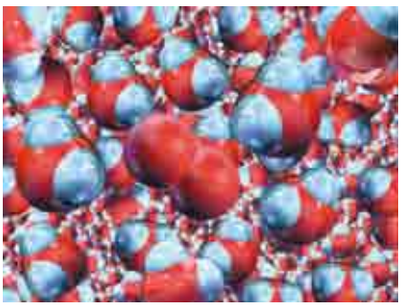
الشّكل 34.15
إنّ جذب الثناقطبي بين جزيئات الماء هو رابطة هيدروجين؛ لأنه يتضمن ارتباط ذرات هيدروجين بذرات الأكسجين ذات سالبية كهربائية مرتفعة.

الثّناقطبيّ المستحثّ (Induced Dipole)

تتوزّع الإلكترونات بانتظام في العديد من الجزيئات. وفي هذه الحالة لا يوجد ثناقطبي. جزيء الأكسجين، O_2. كمثال. يمكن أن يستحثّ هذا الجزيء غير القطبي ليصبح ثناقطبيًا مؤقتًا بتقريبه من جزيء ماء (أي جزيء قطبي)، كما يوضح الشّكل 33.15. إنّ الجانب ذا السالبية الكهربائية الضعيفة من جزيء الماء يدفع الإلكترونات في جزيء الأكسجين بعيدًا. وهكذا تدفع إلكترونات جزيء الأكسجين إلى الجانب الأبعد من جزيء الماء. وتكون النتيجة توزيعًا غير منتظم مؤقتًا للإلكترونات. وهذا ما يُطْلَق عليه **الثناقطبي المستحث**. إنّ الجذب الناتج بين الثناقطبي الدائم (الماء) والثناقطبي المستحث (الأكسجين) هو جذب *ثناقطبي – ثناقطبي مستحث*.



الشّكل 35.15
(أ) لا يوجد لجزيء الأكسجين المعزول ثناقطبي؛ حيث تتوزع إلكتروناته بالتساوي. (ب) يستحث جزيء الماء المجاور إعادة توزيع الإلكترونات في جزيء الأكسجين. (يظهر الجانب السالب قليلًا من جزيء الأكسجين أكبر من الجزء الموجب قليلًا؛ لأنّ الجزء السالب قليلًا يحتوي على إلكترونات أكثر).



الشّكل 36.15

يكون التّجاذب الكهربائيّ بين جزيئات كلّ من الماء والأكسجين ضعيفا نسبيّا، وهذا يفسر عدم ذوبان الأكسجين بشكل كبير في الماء. مثلا، الماء المليء بالهواء عند درجة حرارة الغرفة يحتوي على نحو جزيء من الأكسجين لكلّ 200,000 جزيء ماء. وعليه، تكون خياشيم السّمك ذات فاعلية عالية في استخلاص الأكسجين الجزيئيّ من الماء.

■ **نقطة فحص**

كيف يتغير التوزيع الإلكترونيّ في جزيء الأكسجين عندما يكون جانب الهيدروجين في جزيء الماء بالجوار؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لأنّ جانب الهيدروجين من جزيء الماء موجب الشّحنة قليلا، تسحب الإلكترونات في جزيء الأكسجين نحو جزيء الماء. مستحثة جزيء الأكسجين لثناقطبي مؤقت حيث يكون الجانب الأكبر بالقرب من جزيء الماء (بدلًا من أن يكون بعيدًا ما أمكن. كما كان في الشّكل 35.15).

تذكر أنّ الثناقطبي المستحث هو مؤقت فقط . وإذا أبعد جزيء الماء من الشّكل 35.15ب، فسيرجع جزيء الأكسجين إلى وضعه الطبيعي: حالة ثناقطبي غير مستقطب. أي أنّ جذب الثناقطبي – المستحث أضعف من تجاذب الثناقطبي – الثناقطبي. ولكن جذب الثناقطبي – الثناقطبي المستحث قوي بما فيه الكفاية ليجعل كميات قليلة من الأكسجين تذوب في الماء. كما هو مبيّن في الشّكل 36.15. يحدث هذا التّجاذب بين الماء والأكسجين المذاب في الماء.

يكون جذب الثناقطبي – الثناقطبي المستحثّ مسؤولا عن حفظ غلاف البلاستيك للزجاج كما في الشّكل 37.15. تصنع الغُلَف جزيئات غير قطبيّة طويلة. تستحث ليصبح لها ثناقطبيات عندما توضع على اتصال مع الزجاج الذي له قطبيّة عالية. وكما سنناقش لاحقا، فإنّ جزيئات المواد غير المستقطبة، مثل غُلَف البلاستيك، يمكنها حثّ ثناقطبي بينها. وهذا يفسر سبب إلصاق غلاف البلاستيك ليس للمواد المستقطبة مثل الزجاج فقط، ولكن مع بعضها بعضًا.

الشّكل 37.15

الثناقطبيات المؤقتة المستحثة في الجزيئات التي عادة ما تكون غير قطبيّة في غلف البلاستيك يجعلها تلتصق بالزجاج.

■ **نقطة فحص**

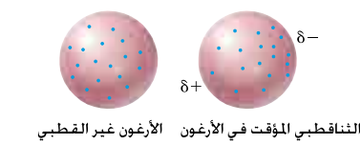
ميز بين جذب الثناقطبي- الثناقطبي من جهة، وجذب الثناقطبي – الثناقطبي المستحث من جهة أخرى؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يكون جذب الثناقطبي – الثناقطبي أقوى، ويتعلق بثناقطبيين دائمين.
إنّ جذب الثناقطبي- الثناقطبي المستحث أضعف، ويرتبط بثناقطبي دائم وآخر مؤقت.

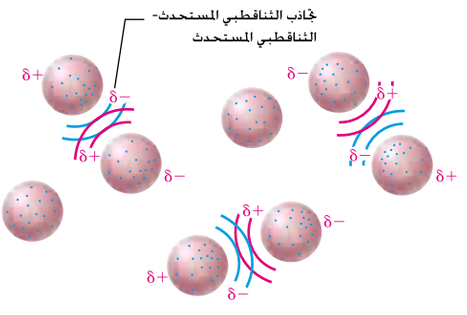
يكون للذّرّات الفردية والجزيئات غير المستقطبة في المعدل تقريبا توزيع إلكترونات منتظم. ولكن بسبب حركة الإلكترونات العشوائية، يمكن أن تتكون الإلكترونات إلى جانب معين في لحظة معينة للجزيء غير القطبي. ينتج هذا الوضع ثناقطبيا مؤقتا، كما هو مبين في الشّكل 38.15.

وكما أنّ الثناقطبي الدائم لجزيء قطبي يستطيع إحداث ثناقطبي مستحثّ في جزيء غير قطبي، فإنّ الثناقطبي المؤقت يستطيع أن يفعل الشيء نفسه. وهذا يؤدي إلى جذب ضعيف نسبيّا من نوع الثناقطبي المستحث- ثناقطبي مستحث، كما هو موضح في الشّكل 39.15.



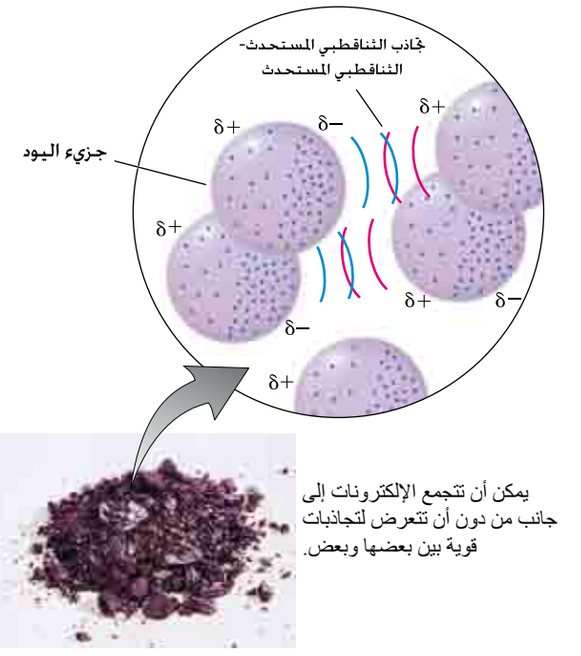
الشّكل 38.15

يكون التوزيع الإلكتروني للذرة عادة متساويًا عند أي لحظة، ويكون التوزيع فيه غير متساوٍ، وينتج ثناقطبيا مؤقتا.

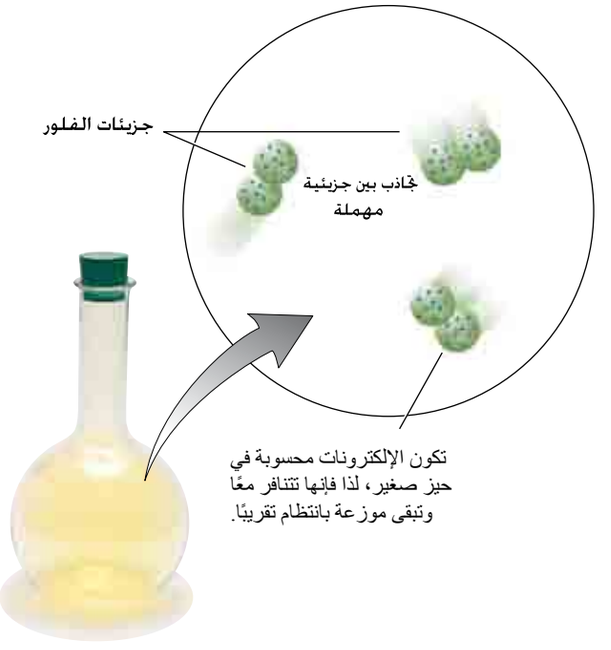


الشّكل 39.15

بسبب أنّ توزيع الإلكترونات المتساوي في العادة للذّرّات يصبح توزيعًا غير متساوٍ لحظيا، فإنّ الذّرّات تتجاذب مع بعضها بالثناقطبي المستحث – الثناقطبي المستحث.



(أ) اليود I_2، صلب عند درجة حرارة الغرفة



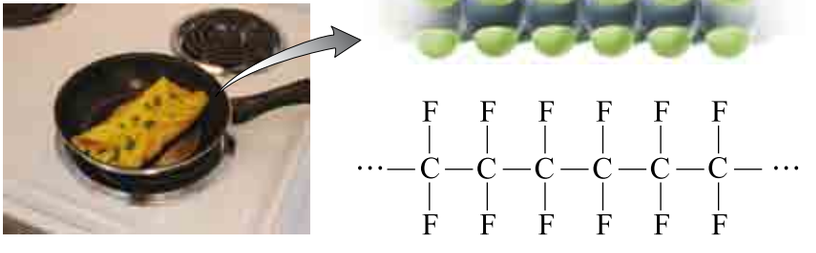
(ب) غاز الفلور، F_2، عند درجة حرارة الغرفة

الشكل 40.15

(أ) يسهل تشكيل الثناقطبيات المؤقتة في الذّرّات الكبيرة، مثل جزيئات اليود بسبب تجمع الإلكترونات في أحد الجوانب، وتكون متباعدة نسبيًّا، ولا تتنافر بالقوة الكهربائية. (ب) في الذّرّات الصغيرة مثل جزيئات الفلور، لا تستطيع الإلكترونات التجمع في أحد الجوانب بسهولة بسبب تزايد قوة التنافر الكهربائية عندما تقترب الإلكترونات بعضها من بعض.

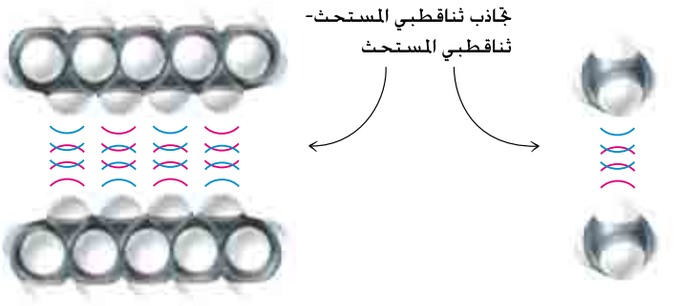
إنّ الإلكترونات تتنافر مع الإلكترونات. وهذا يعني أنّ هناك مقاومة لاجتماعهما معًا على جانب واحد من الذّرّة. ولكن في الذّرّات الكبيرة، تجد الإلكترونات سهولة في التجمع على جانب واحد. وللتشبيه؛ خذ سفينة تطوف في البحر، وعلى متنها 10 مسافرين. ولأنّ السفينة كبيرة فمن السهولة أن يتجمع المسافرون على أحد الجوانب. ولكن لو كان هؤلاء على مركب نجاة صغير، لوجدوا من الضرورة أن يباعدوا بين أنفسهم بانتظام قدر الإمكان، خشية انقلاب المركب بهم. وبطريقة مشابهة، فإنّ من السهل على الذّرّات الكبيرة تكوين ثناقطبيات مؤقتة من الذّرّات الصغيرة، كما هو موضح في الشّكل 40.15. وهكذا، فإنّ الذّرّات الكبيرة- والجزيئات المكونة من ذرات كبيرة لها أقوى جذب ثناقطبي مستحث- ثناقطبي مستحث. أي أنّ الإلكترونات تكون أكثر "التصاقًا" . يكون جزيء اليود، I مثلًا أكثر التصاقًا من جزيء الفلور، F_2. وهذا يفسر سبب صلابة اليود عند درجة حرارة الغرفة، في حين يكون الفلور غازًا، مع أنّ كليهما من المواد غير المستقطبة.

الفلور من أصغر الذّرّات، وتمتلك الجزيئات غير المستقطبة المصنوعة من ذرات الفلور جذبًا ثناقطبيًا مستحثًا - ثناقطبيًا مستحثًا ضعيفًا جدًا. وبسبب هذا المبدأ، يكون سطح التفلون غير لاصق. تتكون جزيئات التفلون - المبين جزء منها في الشّكل 41.15 - من سلسلة طويلة من ذرات الكربون مرتبطة كيميائيًّا مع ذرات الفلور. ولهذا لا تؤثر هذه الذّرّات بأيّ جذب ملموس في أيّ مادة على تواصل مع سطح التفلون؛ ومثال هذا البيض المخفوق في مقلاة.



الشكل 41.15

تلتصق أشياء قليلة بالتفلون بسبب وجود نسبة عالية من ذرات الفلور فيه. يوضح التركيب المبين هنا جزءًا فقط من الطول الكلي للجزيء.



الشّكل 42.15

(أ) يتجاذب جزيئان من الميثان غير القطبي معًا عن طريق جذب الثناقطبي المستحث - الثناقطبي المستحث، ولكن بتجاذب واحد لكلّ جزيء فقط. (ب) يشبه جزيئان من الأوكتان جزيئين من الميثان، ولكنهما أطول. لذا يكون عدد تجاذبات الثناقطبي المستحث- الثناقطبي المستحث بين جزيئين من الأوكتان أكبر.

■ **نقطة فحص**

ما الفرق بين التجاذب الثناقطبيّ- الثناقطبيّ المستحثّ "وتجاذب" الثناقطبيّ المستحثّ – الثناقطبيّ المستحثّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ تجاذب "الثناقطبيّ – ثناقطبيّ المستحثّ" هو أقوى، ويتضمن ثناقطبيًّا دائمًا وثناقطبيًّا مؤقتًا آخر. في حين يكون تجاذب "الثناقطبيّ المستحثّ – الثناقطبيّ المستحثّ" أضعف، ويتضمن ثنائي قطبين مؤقتين.

يساعدنا جذب الثناقطبيّ المستحثّ - الثناقطبيّ المستحثّ على تفسير سبب أنّ الغاز الطبيعيّ غاز عند درجة حرارة الغرفة. أمّا البنزين فيكون سائلا. إنّ المكوّن الرّئيس للغاز الطبيعيّ هو الميثان CH_4. في حين أنّ المكوّن الأساس للبنزين هو الأوكتان C_8H_{18}. ويمكن أن نرى من الشّكل 42.15 أنّ عدد التجاذبات "الثناقطبيّ المستحثّ – الثناقطبيّ المستحثّ" بين جزيئين من الأوكتان أقل كثيرًا من عدد التجاذبات بين جزيئين من الميثان. لقد سبق أنْ عرفت أنّ قطعتين صغيرتين من رابطة البلاستيك* يمكن فصلهما أسهل من الأربطة الطويلة. ويكون جزيء الميثان مثل الأربطة القصيرة. يمكن فصل بعضها عن بعض بقليل من الجهد. ولهذا تكون درجة غليان الميثان منخفضة. (-161°س) وهو غاز على درجة حرارة الغرفة. إنّ جزيء الأوكتان كحزام البلاستيك الطويل. يصعب فصلهما نسبيًا بسبب كبر عدد جذب الثناقطبي المستحث - الثناقطبي المستحث. وتكون نقطة الغليان للأوكتان 125°س، أعلى كثيرًا من تلك التي للميثان. كما يكون الأوكتان سائلًا عند درجة حرارة الغرفة. (تؤدي كتلة الأوكتان الكبيرة دورًا في جعل درجة الغليان عالية).

إنّ جذب الثناقطبي المستحث – الثناقطبي المستحث، والمعروف *بقوى التعليق*، يمكنه تفسير كيفية تسلّق أبي بريص جدار الزجاج، ودعم وزن جسمه كاملًا بإصبع رِجْلٍ واحدة فقط. تكون قدم أبي بريص مغطاة ببلايين الشعيرات دون المجهرية تسمى الملوق، ويبلغ سمك الواحدة منها نحو $\frac{1}{300}$ من سمك شعرة الإنسان. إنّ قوى الجذب بين هذه الشعيرات والحائط هو جذب الثناقطبي المستحث- الثناقطبي المستحث الضعيف. ولكن بسبب العدد الضخم جدًّا لهذه الشعيرات، فإنّ قوى التلاصق تكون كبيرة، أو أنّ قوى الجذب الكلية تكون كافية لمنعه من السقوط (الشّكل 43.15). وهناك بحوث تجرى حاليًّا لتطوير غراء صناعي جاف مبني على التصاق أبي بريص.

الشّكل 43.15

إذا كانت قدم (أبو بريص) لاصقًا قويًّا، فكيف يحتفظ بأقدامه نظيفة؟ الجواب: لأنّ قدمه غير قطبية تمامًا. يمكن للوسخ أن يلتصق بها لبرهة، ولكن بعد عدة خطوات، يلتصق الوسخ بكمية أكبر على السطح الذي يمشي عليه. وبالطبع، هناك سطح واحد على الأقل يجد صعوبة في التسلق عليه؛ إنّه التفلون.

■ **نقطة فحص**

الميثانول CH_3OH والذي يمكن استخدامه كوقود، ليس أكبر كثيرًا من الميثان، CH_4، ولكنه سائل عند درجة حرارة الغرفة. ما السبب برأيك؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ الرّابطة التّساهميّة القطبيّة بين الأكسجين – الهيدروجين في كلّ جزيء ميثانول تؤدي إلى رابطة هيدروجينية بين الجزيئات. تكون هذه تفاعلات جذب بينية قوية نسبيًا، وتمسك جزيئات الميثانول معًا كسائل عند درجة حرارة الغرفة.

ملخّص المصطلحات

قشرة التّكافؤ Valence shell: القشرة الخارجية الأخيرة المعبأة في الذّرّة.

تركيب الإلكترون النّقطيّ Electron- dot structure: ترميز مختصر لنموذج القشرة للذرة، والذي يبين إلكترونات التّكافؤ حول الرمز الذري.

الأزواج غير المرتبطة Nonbonding pairs: تزاوُج اثنين من إلكترونات التّكافؤ التي لا تميل إلى الاشتراك في رابطة كيميائية.

الأيون Ion: جسيم مشحون كهربائيًّا يتكون عندما تفقد ذرة أو تكسب واحدًا أو أكثر من إلكتروناتها.

أيون متعدد الذّرّات polyatomic ion: جزيء أيوني مشحون.

الرّابطة الأيونيّة Ionic bond: رابطة كيميائية حيث تمسك قوة الجذب الكهربائيّ الأيونات ذات الشّحنات المتعاكسة معًا.

المركّب الأيونيّ Ionic Compound: أيّ مركّب كيميائيّ يحتوي على أيونات.

الرّابطة الفلزّيّة Metallic bond: رابطة كيميائية تكون فيها أيونات الفلز الموجبة الشّحنة متماسكة معًا ضمن "المائع".

السبيكة Alloy: خليط من عنصرين أو أكثر من العناصر الفلزية.

الرّابطة التّساهميّة Covalent bond: رابطة كيميائية تمسك الذّرّات معًا بالجذب المتبادل لإلكترونين أو أكثر من الإلكترونات التي تتشارك فيها.

المركّب التساهمي Covalent compund: عنصر أو مركّب كيميائيّ تتماسك الذّرّات بالرّوابط التّساهميّة.

الجزيء Molecule: مجموعة من الذّرّات تتماسك بشدة معًا بالرّوابط التّساهميّة.

الثّنائقطبيّ Dipole: انفصال في الشّحنة يحدث في الرّابطة الكيميائية بسبب الفرق في السّالبية الكهربائيّة للذّرّات المرتبطة.

السّالبيّة الكهربائيّة Electronegativity: مقدرة الذّرّة على جذب الزوج المرتبط من الإلكترونات إلى نفسها عندما ترتبط بذرة أخرى.

غير قطبيّ Nonpolar: خاصية للرابطة الكيميائية التي لا يوجد لها ثناقطبيّ.

قطبيّ Polar: خاصية للرابطة الكيميائية التي لها ثناقطبيّ.

الرّابطة الهيدروجينية Hydrogen bond: تجاذب ثناقطبيّ – ثناقطبيّ قوى بين ذرة هيدروجين مشحون قليلًا بشحنة موجبة لجزيء وزوج من الإلكترونات غير المرتبطة لجزيء آخر .

الثّنائقطبيّ المستحثّ Induced dipolar: ثناقطبيّ صنع مرحليًّا في جزيء كان غير قطبي، مستحث من شحنة مجاورة.

أسئلة مراجعة

1.15 تركيب الإلكترون النّقطيّ

1. ما عدد الإلكترونات التي يمكن وضعها في القشرة الأولى؟ وما العدد في القشرة الثانية؟
2. أيّ الإلكترونات تتمثل بتركيب الإلكترون النّقطيّ؟
3. كيف تقارن تراكيب الإلكترون النّقطيّ للعناصر في المجموعة نفسها من الجدول الدّوريّ بعضها ببعض؟
4. ما عدد الأزواج غير المرتبطة في غلاف التّكافؤ لذرة الأكسجين؟ ما عدد إلكترونات التّكافؤ غير المتزاوجة؟

2.15 تكوين الأيونات

5. كيف يختلف الأيون عن الذّرّة؟
6. هل تفقد الذّرّة إلكترونات أم تكتسبها لتصبح أيونًا سالبًا؟
7. لماذا تميل ذرة الفلور إلى اكتساب إلكترون واحد فقط؟
8. ماذا تفقد الجزيئات أو تكتسب حتى تصبح أيونات متعددة الذّرّات؟

3.15 الرّوابط الأيونيّة

9. أيّ العناصر تميل إلى تكوين روابط أيونية؟
10. ما الشّحنة الكهربائية لأيون الكالسيوم في كلوريد الكالسيوم، $CaCl_2$؟
11. افترض أنّ ذرة الأكسجين تكتسب إلكترونين حتى تصبح أيون أكسجين. فما شحنتها الكهربائية ؟
12. ما البلورة الإلكترونية؟

4.15 الرّوابط الفلزّيّة

13. ما الأسهل على الفلزات: اكتساب الإلكترونات أم فقدها؟
14. ما السبيكة؟
15. ما الفلز الطبيعي؟

5.15 الرّوابط التّساهميّة

16. أيّ العناصر تميل إلى تكوين الرّوابط التّساهميّة؟
17. ما عدد الإلكترونات المشتركة في الرّابطة التّساهميّة الثّنائيّة؟
18. ما عدد الرّوابط التّساهميّة التي تستطيع ذرة الأكسجين تكوينها؟

6.15 الرّوابط التّساهميّة القطبيّة

19. ما الثناقطبي؟
20. أيّ العناصر في الجدول الدّوريّ له أكبر سالبية كهربائية؟ ما العنصر الأقل سالبية كهربائية؟
21. أيّ الرّابطتين أكثر قطبيّة: الكربون – أكسجين أم الكربون – نيتروجين؟

7.15 القطبيّة الجزيئيّة

22. كيف يمكن أن يكون الجزيء غير قطبي عندما يتكون من ذرات لها سالبيات كهربائية مختلفة؟
23. لماذا تغلي المواد غير القطبيّة عند درجات حرارة منخفضة نسبيًّا؟
24. أيّ الجزيئين له درجة تماثل أعلى: القطبي أم غير القطبي؟
25. لماذا لا يمتزج الزيت والماء؟
26. ما الجزيء الذي تصفه بأنه "أكثر لصقًا": القطبي أم غير القطبي؟

8.15 التجاذب الجزيئيّ

27. ما الفرق الرّئيس بين الرّابطة الكيميائية والجذب بين جزيئين؟
28. أيهما أقوى: جذب الثناقطبي- الأيون أم جذب الثناقطبي المستحث- الثناقطبي المستحث؟
29. ما الرّابطة الهيدروجينية؟
30. هل الثناقطبي المستحث دائم؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● كيف ترتبط إلكترونات التّكافؤ غير المتزاوجة في الذّرّة مع عدد الرّوابط التي تستطيع الذّرّة تكوينها؟
2. ● لماذا تميل ذرة الفلور إلى كسب إلكترون واحد فقط؟
3. ■ تفقد الذّرّة إلكترونًا وتقدمه لذرة أخرى. هل هذا مثال على التغير الفيزيائيّ أم الكيميائيّ؟
4. ● تحمل أيونات الماغنسيوم شحنة 2-، وتحمل أيونات الكلور شحنة (1-). ما الصيغة الكيميائية للمركب الأيونيّ كلوريد الماغنسيوم؟
5. ● تحمل أيونات الباريوم شحنة 2+، وأيونات النيتروجين شحنة (3-). ما الصيغة الكيميائية للمركب الأيونيّ نيتريد الباريوم؟
6. ● إذا سحبت مالًا من البنك أكثر مما لديك في حسابك، فسيظهر احتياط سالب. ولكن إذا أخذت إلكترونًا من الذّرّة، فستظهر الذّرّة موجبة الشّحنة. فسّر.
7. ● يفقد حامض الكبريتيك H_2SO_4 بروتونين لتشكيل أيون متعدد الذّرّات. ما هذا الأيون؟
8. ● ما الجزيء الذي عندما يفقد بروتونًا يتحول إلى أيون الهيدروكسيل، OH^-؟
9. ■ أيهما يجب أن يكون أكبر: ذرة البوتاسيوم K، أم أيون البوتاسيوم K^+؟
10. ♦ أيهما له درجة انصهار أعلى: كلوريد الصوديوم NaCl، أم أكسيد الألومنيوم Al_2O_3؟
11. ♦ ترتبط ذرات الفلور معًا لتكوين رابطة تساهمية. لماذا لا تقوم ذرات البوتاسيوم بالشيء نفسه؟
12. ■ أيّ العناصر ملائم لتشكيل روابط أيونية أو روابط تساهمية؟
13. ■ ماذا يحدث عندما يقترب إلكترون الهيدروجين من غلاف التّكافؤ لذرة الفلور؟
14. ■ هل التّغيّر بين الرّوابط الأيونيّة والرّوابط التّساهميّة مباشر أم تدريجي؟ فسّر
15. ■ صنّف الرّوابط التالية إلى أيونية، أو تساهمية، أو لا هذه ولا تلك (العدد الذري للأكسجين O هو 8. العدد الذري للفلور، F هو 9. العدد الذري للصوديوم، Na، هو 11. العدد الذري للفلور F، هو 17. العدد الذري لليورانيوم U، هو 92).

أ- O مع F _____

ب- Ca مع Cl _____

جـ- Na مع Na _____

د) U مع Cl _____

16. ■ تكوّن ذرات العناصر غير الفلزّيّة روابط تساهمية، ولكنها تشكّل أيضًا روابط أيونية. كيف يمكن ذلك؟
17. ■ تكوّن ذرات العناصر الفلزّيّة روابط أيونية، ولكنها ليست جيدة لتكوين روابط تساهمية. لماذا؟ ما الصيغة الكيميائية لهذا المركّب؟
18. ■ الفوسفين مركب تساهمي لعنصر الفوسفور، *P*، والهيدروجين، *H*. ما الصيغة الجزيئية الكيميائية له؟
19. ■ ما مصدر السالبية الكهربائية للذرة؟
20. ● أيّ الرّوابط الآتية أكثر قطبيّة: C—C، C—O، C—N، N—H، O—H، أو C—H؟
21. ■ أيّ الجزيئات الآتية أكثر قطبيّة:
S=C=S، O=C=O، S=C=O؟
22. ● في كلّ جزيء، الذرة التي تحمل أكبر شحنة موجبة فيما يلي هي:

أ- H—Cl

ب- Br—F

ج- C≡O

د- Br—Br

23. ■ رتّب الرّوابط التالية بحسب تزايد القطبيّة:

N—N, N—F, N—O, H—F

_____ > _____ > _____ > _____

(الأعلى قطبيّة) (الأقلّ قطبيّة)

24. ♦ كلما زادت الشّحنة النووية للذرة زادت سالبيتها الكهربائية. هل هذا صحيح؟ فسّر.
25. ♦ كلما زادت القشور في الذّرّة نقصت سالبيتها الكهربائية. هل هذا صحيح؟ فسّر.
26. ● لماذا لا يمتزج الماء مع الزيت؟
27. ■ يختلف الماء H_2O، والميثان CH_4، بنوع واحد من الذّرّات، ولكن لهما الكتلة نفسها تقريبًا. لماذا تكون درجة غليان الماء أكبر كثيرًا من درجة غليان الميثان؟
28. ● تكون رابطة الكربون- الأكسجين المفردة قطبيّة. ومع ذلك فإنّ ثاني أكسيد الكربون، CO_2، والذي يوجد رابطة كربون – أكسجين، هو غير قطبي. لماذا؟

29. ■ يجلس ثلاثة أطفال يتشاركون في حلوى الفاصوليا حول طاولة. فإذا كانت المسافة بين كل اثنين منهما متساوية، ولكن أحد الأطفال يميل إلى حلوى الفاصوليا، ومن النادر أن يعطي واحدة منها. إذا مثّلت كلّ قطعة حلوى من الفاصوليا بإلكترون، فمن الذي ينتهي سالبا قليلًا؟ ومن منهم ينتهي موجبا قليلًا؟ هل سالبية الطفل السالب بقدر موجبية الطفل الموجب؟ وهل تصف الوضع هذا بأنّه وضع قطبي أم غير قطبي؟ ماذا لو كان الأطفال جميعهم شرهين بالقدر نفسه؟

30. ■ أيهما أقوى: الرّابطة التّساهميّة التي تمسك الذرّات معا ضمن الجزيء، أم الجذب الكهربائي بين جزيئين متجاورين؟

31. ■ لماذا يكون جزيء الماء أكثر انجذابا لأيون الكالسيوم أكثر من أيون الصوديوم؟

32. ■ تكون الشّحنات في كلوريد الصوديوم موزونة؛ حيث لكلّ أيون صوديوم موجب هناك أيون كلور سالب مقابل له. ولأنّ الشّحنات موزونة، فكيف ينجذب كلوريد الصوديوم إلى الماء، والعكس بالعكس؟

33. ● هل ينجذب جزيء الماء أكثر إلى جزيء ماء آخر أم إلى أيون الصوديوم؟ فسّر.

34. ♦ لماذا لا توجد روابط هيدروجين قوية في سائل كبريتيد الهيدروجين، H_2S؟

35. ■ لماذا يكون جذب الأيون – الثناقطبي أقوى من جذب الثناقطبي–الثناقطبي؟

36. ■ يكون الكلور، Cl_2، غازا على درجة حرارة الغرفة، في حين يكون البروم، $2Br$ سائلا. لماذا؟

37. ● كيف تنجذب جزيئات الأكسجين لجزيئات الماء؟

38. ■ رتّب المركّبات التالية في قائمة بحسب زيادة درجة الغليان: CF_4, CCl_4, CBr_4, Cl_4.

39. ■ أيهما له ذوبانية أعلى في الماء: NH_3 أم NCl_3؟ ولماذا؟

40. ● لماذا تكون مساحة سطح قدم الحرباء ممتدة كثيرا؟

أنشطة استكشافية

قريبًا من البلورات

انظر إلى بلورات ملح المائدة بعدسة مكبرة، والأفضل، بمجهر إنْ كان متوافرا. إذا كان لديك مجهر، فكسّر البلورات بملعقة، وافحص الدقيق الناتج. اشترِ بعض الملح الخالي من الصوديوم، والذي هو كلوريد البوتاسيوم، KCl، وافحص هذه الأيونات البلورية في كلتا الحالتين: قبل التكسير وبعده. يشكّل كلّ من كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم بلورات مكعبة، ولكن هناك اختلافات جوهرية، ما هذه الاختلافات؟

جزيئات القرص الصّمغيّ

استخدم معاجين الأسنان وأقراصا صمغية أو حلوى الفاصولياء بألوان مختلفة لبناء نماذج من الجزيئات كتلك المبينة في الأشكال 17.15 وحتى 19.15 والشّكل 21.15، دع الألوان المختلفة تمثل عدة عناصر مختلفة.

عندما تتقن بناء هذه النماذج، افحص مهاراتك ببناء نماذج لثنائي فلور الميثان، CH_2F_2، والإيثان، C_2H_6، وفوق أكسيد الهيدروجين، H_2O_2، والأستيلين، C_2H_2، تذكر أنّ كلّ ذرة كربون ترتبط بأربع روابط تساهمية، وكلّ ذرة أكسجين لها رابطتان، وكلّ ذرة فلور وهيدروجين لها رابطة واحدة.

مساعدة: واحد من هذه الجزيئات ذو رابطة ثلاثية.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل إجابة صحيحة. وإنْ لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤالٍ مما يلي:

1. تفقد ذرة أحد إلكتروناتها وتقدمه لذرة أخرى. هذا مثال على:
أ. تغيّر كيميائيّ يتعلّق بتكوين أيونات.
ب. تغيّر فيزيائيّ يتعلّق بتكوين أيونات.
ج. تغيّر كيميائيّ يتعلّق بتكوين روابط تساهميّة.
د. تغيّر فيزيائيّ يتعلّق بتكوين روابط تساهميّة.

2. تحمل أيونات الألومنيوم شحنة +3، وتحمل أيونات الكلور شحنة (-1). الصيغة الكيميائية للمركب الأيونيّ كلوريد الألومنيوم هي:
(أ) Al_3Cl (ب) $AlCl_3$ (ج) Al_3Cl_3 (د) $AlCl$

3. أيهما تتوقع أن يكون له درجة انصهار أعلى: كلوريد الصوديوم $NaCl$، أم كلوريد الألومنيوم، Al_2O_3؟
أ- أكسيد الألومنيوم؛ لأنه جزيء أكبر، وله عدد أكبر من التّجاذبات الجزيئيّة.
ب- $NaCl$ ؛ لأنه صلب عند درجة حرارة الغرفة.
ج- أكسيد الألومنيوم ؛ بسبب كبر أيوناته. ولهذا، تكون قوى التّجاذب بين جزيئاته أكبر.
د- أكسيد الألومنيوم ؛ بسبب وجود الرّوابط التّساهميّة ضمن الجزيء.

4. يمكن لذرات العناصر الفلزّيّة أن تكون روابط أيونية، ولكنها ليست جيدة تماما في تشكيل الرّوابط التّساهميّة. والسبب هو أنّ:
أ- هذه الذرّات كبيرة جدًّا لتكون قريبة كثيرا من غيرها من الذرّات.
ب- لها ميلًا كبيرا لفقد إلكترونات.
ج- قشور التّكافؤ معبأة بالإلكترونات.
د- هذه الذرات على الجانب غير الصحيح من الجدول الدّوريّ.

5. بلغة الجدول الدّوريّ، هل التّغيّر بين الرّوابط الأيونيّة والتّساهميّة مباشر أم تدريجيّ؟
أ- يحدث التّغيّر المباشر في أشباه الفلزات.
ب- أيّ عنصر في الجدول الدّوريّ يمكن أن يشكّل رابطة تساهمية.
ج- هناك تغير تدريجيّ؛ كلما كانا متباعدين، تكون أيونية أكثر.
د- يعتمد تكوين العنصر لأيّ من الرابطتين على شحنة النواة، وليس على الموقع النسبي في الجدول الدّوريّ.

6. لا تستطيع ذرة الهيدروجين أن تكوّن أكثر من رابطة تساهمية واحدة لأنّ:
أ- له قشرة واحدة من الإلكترونات فقط.
ب- له إلكترونا واحدا ليتشارك فيه فقط .
ج- الهيدروجين يكون قد فقد إلكترون التّكافؤ له.
د- له سالبية كهربائية عالية جدًّا.
7. عند اتحاد النيتروجين والفلور لتكوين جزيء، فإنّ الصيغة الكيميائية المرجحة هي:
(أ) N_3F (ب) N_2F (ج) NF_4 (د) NF (هـ) NF_3
8. المادة المكونة من الجزيئات المبينة أدناه التي لها درجة غليان أعلى هي:

$S=C=O$ $O=C=O$

أ- الجزيء إلى اليسار، SCO؛ لأنه الأخير في الجدول الدّوريّ.
ب- الجزيء إلى اليسار، SCO؛ لأنّ له تماثلية أدنى.
ج- الجزيء إلى اليمين، OCO؛ لأنّ له تماثلية أعلى.
د- الجزيء إلى اليمين، OCO؛ لأنّ له كتلة أكبر.
9. يكون جذب الأيون- ثناقطبي أكبر من جذب ثناقطبي- ثناقطبي لأنّ:
أ- الرّابطة الكيميائية في جزيء – أيون – ثناقطبي مشابهة للرابطة التّساهميّة.
ب- الشّحنة المماثلة (الثناقطبي) لا تجذب الشّحنة المماثلة (ثناقطبي آخر).
ج- مساحات الثناقطبي تكون معرضة للتغير من مناطق الموجب إلى السالب في الجزيء.
د- مقدار الشّحنة الكهربائية المرتبطة بالأيون كبيرة جدًّا.
10. الكلور، Cl_2، غاز عند درجة حرارة الغرفة، ولكن البروم، Br سائل لأنّ:
أ- ذرات الكلور كبيرة، وهذا يجعل تكوين جذب الثناقطبي المستحث- الثناقطبي المستحث الأكثر تفضيلا.
ب- ذرات البروم أكبر، وهذا يجعل تكوين الثناقطبي المستحث- الثناقطبي المستحث أكثر تفضيلا.
ج- لجزيئات الكلور الصغيرة قدرة على أن تكون مرصوصة بشدة في اتجاهات فيزيائية.
د- أيونات البروم تتماسك معا بروابط أيونية.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

١أ، ٢ج، ٣د، ٤ب، ٥د، ٦ج، ٧هـ، ٨ج، ٩أ، ١٠ب

اكتشف المزيد

http://www.ada.org/public/fluoride/index.asp
هذا الموقع الرئيس لمركبات الفلورايد التابع لجمعية أطباء الاسنان الامريكية، وفيه الكثير من الروابط مع معلومات حول الفلوريدات وإضافة الكلور لماء الشرب ومعاجين الاسنان. كانت جمعية أطباء الاسنان الأمريكية واحد من الداعمين الاصليين لإضافة الكلور لماء الشرب منذ بداية عام 1940.

http://www.fluoriedealert.org/50-reasons.htm
يوفر الدكتور بول كونيت، بروفسور الكيمياء في جامعة سانت لورنس 50 سببا تعارض اضافة الكلور كماء الشرب، إضافة إلى روابط مع مقالات مراجعة لابحاث زملاء في المهنة.

http//www.saltinstitute.org/idd.htm
تظهر العديد من التقارير في المراجع فعاليّة الملح المضاف إليه اليود في التحكم في الحالة المرضية المعروفة باسم جوبترا تضخم الفترة الزمنية). استكشاف هذا الموقع للحصول على دراسات حالات تاريخية حيث أشارت الى هذا الاستنتاج ومن المشاريع المثيرة للأهتمام القيام بمقارنة جهود الابحاث الداعمة لاضافة اليود للملح وإضافة الكلور الى ماء الشرب.

http://www.soils.wisc.edu/virtual_museum
الصفحة الرئيسة للمتحف الافتراضي للمعادن والجزيئات، التي يقوم على العناية بها فيليب براك من جامعة منيسوتا وإيد ناتر من جامعة ويسكونس، في هذا الموقع، ستجد نماذج جزيئية التي يمكنك التلاعب بها في ثلاثة أبعاد. وللقيام بذلك، يجب أن يكون المتصفح الخاص بك مزود بـ chime plugin، والذي يمكنك تحميله من الشبكة مجانا بعد أن تقوم بالتسجيل على الموقع: http://www.mdl.com/my_account/register1.jsp.

الفصل 15 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية
- 15.18, 15.35

دروس تعليمية
- القوى بين الجزيئية
- الروابط التساهمية
- الروابط وقطبية الرابطة
- الجذب القطبي

أشرطة فيديو
- الروابط الأيونية
- الروابط التساهمية

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط

المخاليط

16

■ كيف يمكن تحضير الماء العذب من مياه البحر؟ هل صحيح أنّ السّمك يمكن أن يغرق في الماء؟ تختفي بلورات السّكّر عند تحريكها في الماء. ولكن، أين تذهب؟ ممّ تتكوّن الغيوم؟ وما الشّيء المشترك بينها وبين الدم الذي يسري في عروقنا؟ عندما يترك ماء الشّرب يغلي فترة طويلة فإنه يتبخّر مخلّفا وراءه مادة طباشيريّة في الوعاء. ما هذا الشّيء الطّباشيريّ؟ وما مصدره؟ كيف تُعالَجُ مياه البلدية بحيث تصبح آمنة للاستخدامات المنزلية؟ كيف تعالِجُ محطةُ معالجة المياه العادمة المياهَ الملوثة؟ إنّ الإجابة عن هذه الأسئلة تشير إلى فهم موضوع المخاليط.

1.16 معظم المواد مخاليط

2.16 تصنيف الكيميائيين للمادة

3.16 المحاليل

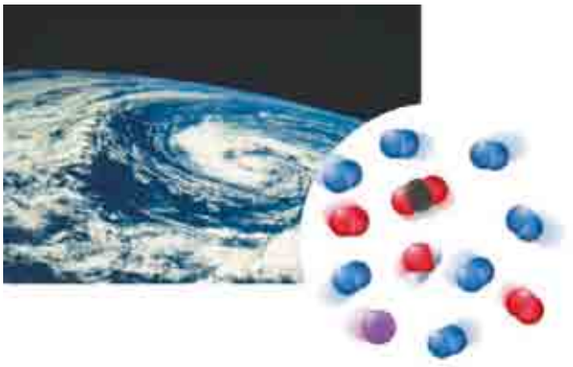
4.16 الذوبانية

5.16 الصّابون والمنظّفات

6.16 إزالة عسر الماء

7.16 تنقية الماء الذي نشربه

8.16 معالجة المياه العادمة

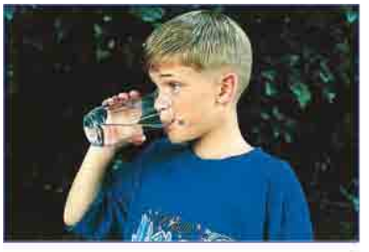


الشّكل 1.16
الغلاف الجوي للأرض هو خليط من العناصر والمركبات الغازية. يشاهد بعضها هنا.

1.16 معظم المواد مخاليط

الخليط *(Mixture)* هو اتّحاد بين مادتين أو أكثر حيث تحتفظ كلّ مادة بخصائصها. إنّ معظم المواد التي نتعامل معها هي مخاليط: مخاليط عناصر، مخاليط مركبات، أو مخاليط من العناصر والمركبات. فمثلًا، الفولاذ خليط من عناصر الحديد، والكروم، والنيكل، والكربون. والمياه المعدنية الفوارة خليط من المركب السّائل، والماء، ومركب غازي، وثاني أكسيد الكربون. إنّ غلافنا الجوي، كما يوضّح الشّكل 1.16، خليط من عناصر النيتروجين، والأكسجين، والأرجون، إضافة إلى كميات قليلة من المركبات كثاني أكسيد الكربون وبخار الماء.

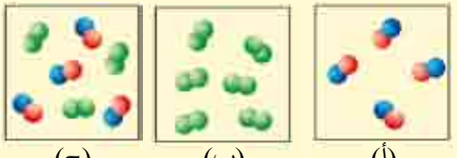
ماء الشّرب خليط يحتوي في معظمه على ماء ومركبات كثيرة أخرى. ويعتمد نوعه على مكان إقامتك. فالماء الذي تشربه يمكن أن تحتوي على مركبات الكالسيوم، والماغنسيوم، والكلور، والفلور، والحديد، والبوتاسيوم، وكميات قليلة من مركبات الرّصاص، والزّئبق، والكادميوم، ومركبات عضوية، وأكسجين، ونيتروجين، وثاني أكسيد الكربون المذاب. وعلى الرّغم من أهمية تقليل المكونات السامة في المياه التي تشربها، فإنّ تنقيتها من المواد جميعها التي فيها أمر غير ضروريّ، وغير مطلوب ومستحيل. إنّ بعض المواد الصّلبة والغازية الذائبة تعطي الماء مذاقه الخاص، والعديد منها مفيد لصحة الإنسان؛ فمركبات الفلور تحمي الأسنان، والكلور يحطم البكتيريا الضارة، بالإضافة إلى أننا نحصل على 10% من احتياجاتنا من الحديد، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والماغنسيوم، وجميعها من مياه الشّرب. الشّكلان (2.16 و3.16).



الشّكل 2.16
يزودنا ماء الشّرب بـ H_2O بالإضافة إلى العديد من المركبات. العديد منها ذو نكهة ويساعدنا على النمو، كما يوضح جراهام (Graham) في عمر 7 سنوات وعمر 21 سنة.

نقطة فحص

حتى الآن، عرفت ثلاثة أنواع من المادة هي العناصر، والمركبات، والمخاليط. أيّ الصناديق الموجودة في الأسفل يحتوي على: عناصر فقط؟ مركبات فقط؟ خليط؟



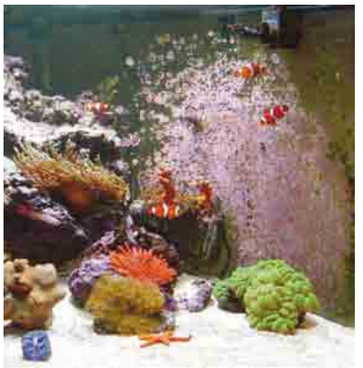
هل كانت هذه إجابتك؟

الجزيئات في الصندوق (أ) كلّ واحد يحتوي على نوعين من الذرات. لذا، فهي تمثّل المركب. أمّا الجزيئات في الصندوق (ب) فكلّ واحد يحتوي على الذرات نفسها. ولهذا، فهي تمثّل العنصر. ولكن الصندوق (ج) خليط من العناصر والمركبات.

لاحظ أنّ جزيئات كلّ من المركب والعناصر تبقى على تماس في الخليط. أي أنّه لا يوجد تبادل للذرات بين المكونات عند تشكل الخليط.

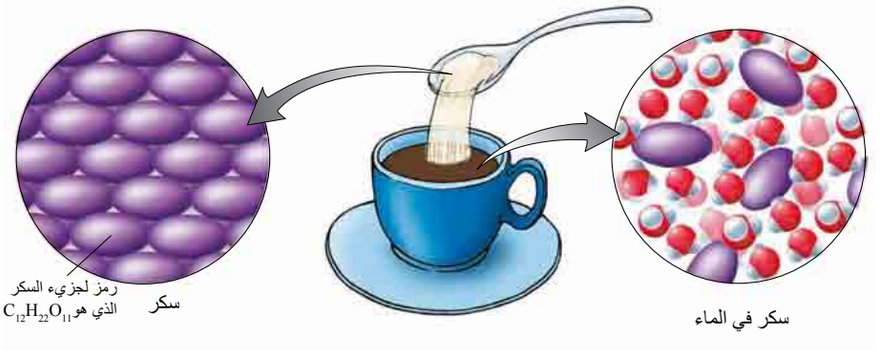
هناك فرق بين الطريقة التي تتحد بها العناصر لتكوين المركبات، والطريقة التي تتحد بها أيّ من العناصر أو المركبات لتكوين خليط. تحتفظ كلّ مادة في الخليط بهويتها الكيميائية. على سبيل المثال، جزيئات السّكّر في ملعقة شاي من السّكّر كما في الشّكل 4.16 تماثل جزيئات السّكّر الموجودة في الشّاي. أمّا الفرق الوحيد فهو أنّ جزيئات السّكّر، في الشّاي مختلطة مع جزيئات مادة أخرى في معظمها ماء. ولهذا، فإنّ تشكيل الخليط هو تغيّر فيزيائيّ. وفي المقابل، كما ناقشنا في البند 5.14، هناك تغير في الهوية الكيميائية عندما تتحد العناصر لتكوين مركبات. تذكر أنّ كلوريد الصوديوم ليس خليطًا من ذرات الصوديوم وذرات الكلور، ولكنه مركب، وهذا يعني أنه مختلف تمامًا عن العناصر المكونة له. إنّ تشكيل المركب هو تغيّر كيميائيّ.

يمكن فصل المخاليط بالطّرق الفيزيائيّة



يمكن فصل مكونات المخاليط بعضها عن بعض بالاستفادة من الاختلافات في صفات مكوناتها الفيزيائية. يمكن مثلًا فصل خليط مكون من مواد صلبة وسائلة بعضها عن بعض باستخدام ورق التّرشيح، والتي تسمح للسائل بالمرور، في حين لا تسمح بذلك للمواد الصّلبة. وهكذا تعدّ القهوة عادة: يمرر الكافيين وجزيئات النكهة في الماء الساخن عبر المرشحات، ومن ثمّ إلى إبريق القهوة. أمّا القهوة والمواد الصّلبة فتترسّب. تسمّى عملية فصل الخليط المكون من مواد صلبة وسائلة *بالترشيح*، وهذه آلية معروفة عند الكيميائيين.

كما يمكن فصل المخاليط بالاستفادة من الاختلاف في نقاط الغليان أو التجمد. ويُعدّ ماء البحر خليطًا من الماء ومركبات مختلفة، معظمها كلوريد الصوديوم. ففي حين يغلي الماء عند درجة حرارة 100° س، إلا أنّ كلوريد الصوديوم لا يذوب حتى 800° س. إحدى طرائق فصل الماء عن الخليط الذي نسميه ماء البحر، هو بتسخين هذا الماء إلى درجة 100° س. عند هذه الدرجة يتحول الماء السّائل إلى بخار ماء، ويبقى كلوريد الصوديوم مذابًا في الماء المتبقي. وعند ارتفاع بخار الماء، يمكن تمريره إلى وعاء مبرّد، حيث يتكاثف إلى سائل دون المواد الصّلبة المذابة. تسمّى عمليةُ تجميع المواد المتبخرة **التّقطير** ***(Distillation)***.



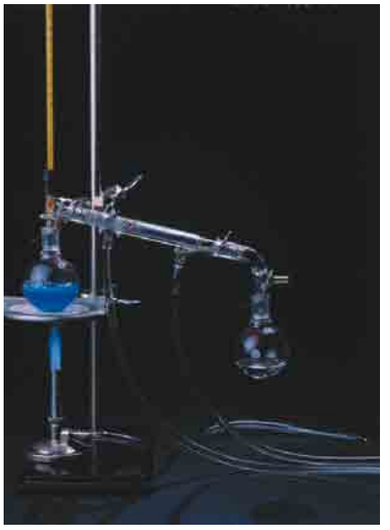
الشّكل 4.16
سكر المائدة هو مركب مكون فقط من جزيئات السّكّروز. عند مزج هذه الجزيئات مع الشاي الساخن، تصبح موزعة بين جزيئات الماء والشاي، وتشكل خليط السّكّر – الشاي – الماء. لا يتكون أيّ مركب جديد. لذا، فإنّ هذا مثالًا على التغير الفيزيائيّ.

لمعلوماتك

■ إنّ سُمّية أيّ مادة هي في كميّة الجرعة. على سبيل المثال، يمكن أن يكون الماء العذب قاتلًا عند شربه بكميات كبيرة. لماذا؟ لأنّ الكثير منه يطرد الأيونات المذابة والتي هي ضرورية جدًّا للصحّة. وبالمثل، ومع أنّ كميات قليلة من الفلور تحمي الأسنان من التّحلل، فإنّ الكثير منه يجعل الأسنان مرقشة. والأسوأ من ذلك، هو أنّ الفلور الإضافيّ يتّحد مع الكالسيوم في الدم، ليشكّل بلورات فلوريد الكالسيوم المميتة. ونقول مرة أخرى للتأكيد أنّ سُمية أيّ مادة هي في كميّة الجرعة!

الشّكل 3.16
ينتج معظم الأكسجين في فقاقيع الهواء من الهواء الذائب في الماء إلى الغلاف الجوي. ولكن بعض الأكسجين يمتزج بالماء. تعتمد الأسماك على هذا الأكسجين الذائب لتبقى حية. ومن دون هذا الأكسجين المذاب، والتي تستخلصه السمكة من الماء بخياشيمها، فإنّها ستغرق فورًا. وعليه، فالسمكة لا «تتنفس» الماء، بل تتنفس الأكسجين الذائب فيه.

لقد ابتكر الكيميائيون العديد من الطرق البارعة لفصل مكونات المخاليط. تستخدم معظم هذه الطرق المبدأ البسيط لفصل مكونات المخلوط عن طريق الاختلاف في الخصائص الفيزيائية.



(أ)

(ب)

الشّكل 5.16

(أ)جهاز تقطير يستخدم لفصل مركب واحد من مخلوط. يغلي المخلوط في دورق إلى اليمين. يحتوي البخار المتصاعد على المكونات المتطايرة فقط للمخلوط. يوجه البخار إلى أنبوب يحافظ على برودتها بانسياب ماء بارد على سطحها الخارجي. يتكاثف البخار داخل الأنبوب ويجمع في دورق عن اليسار (ب).

كما هو موضح في الشّكل 5.16. يعدّ التّقطير طريقة فاعلة جدًّا، ولكنها مكلفة. كطريقة فصل ماء البحر عن الماء العذب. وسندرس ذلك بتفاصيل أكثر في البند 7.16. بعد تقطير الماء من ماء البحر، تبقى المواد الصّلبة. على الرّغم من أنّ هذه المواد مخاليط من المركبات، وتحتوي على العديد من المركبات التجارية الثمينة مثل كلوريد الصوديوم، وبروميد البوتاسيوم. (الشّكل 6.16).

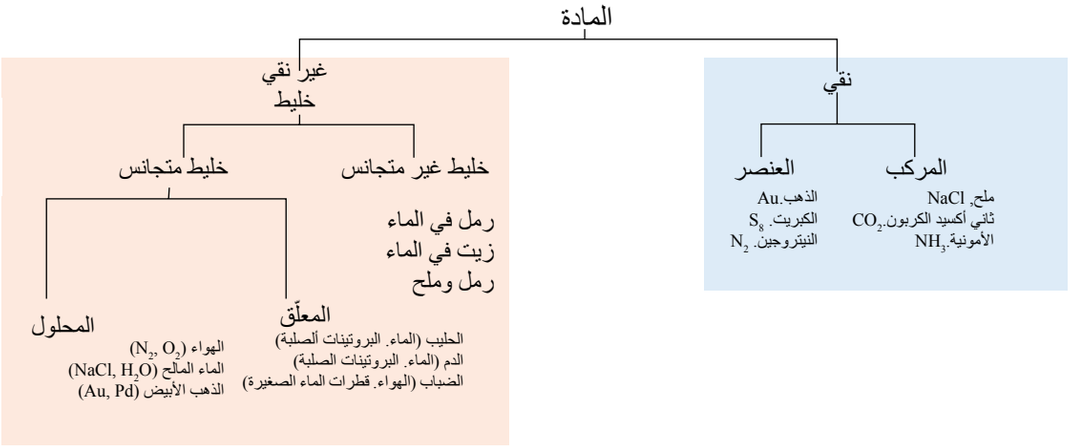
الشّكل 6.16

في الطرف الجنوبي لخليج سان فرانسيسكو، توجد مناطق مجزأة بأرصفة أرضية، ما هي إلا برك تبخير، حيث يسمح للماء بالتبخر، مخلفًا وراءه المواد الصّلبة، والتي كانت ذائبة في مياه البحر. تنقّى هذه المواد لبيعها تجاريًّا. يعود لون البرك الرائع هذا إلى الجسيمات العالقة من أكسيد الحديد وغيره من المعادن، والتي يسهل إزالتها عند التّصفية.

2.16 تصنيف الكيميائيين للمادة

إذا كانت المادة ***نقيّة (Pure)***، فإنها تتكون من عنصر واحد أو مركب واحد. فالذّهب النّقيّ مثلا، يحتوي على عنصر الذّهب فقط. كما أنّ ملح المائدة النّقيّ يحتوي على مركب كلوريد الصوديوم فقط. ولكن إذا كانت المادة ***غير نقية (Impure)***، فإنّها تكون خليطًا، وتحتوي على عنصرين أو أكثر، أو على مركبات. يبين الشّكل 7.16 مخطط التصنيف للمواد.

ولأنّ الذرات والجزيئات متناهية في الصغر، فمن غير العملي تحضير عينة تكون نقية تمامًا: أي أن تكون من مادة واحدة بنسبة 100%.



الشّكل 7.16
التّصنيف الكيميائيّ للمواد.

يمكن أن يكون عصير البرتقال طبيعيًّا 100%، ولكنه لن يكون نقيًّا بهذه النسبة.

مثلًا، إذا كانت ذرة واحدة أو جزيء واحد من كلّ تريليون تريليون من الذرات مختلفًا، فلا نستطيع القول إنّ المادة نقية. ولكن يمكن "تنقية" المواد بطرق مختلفة مثل التّقطير. يجب فهم كلمة (*نقي*)كمصطلح نسبيّ. عند مقارنة نقاوة عينتين، فالعينة الأنقى هي التي تحوي شوائب أقلّ. فعينة من الماء نقاوتها 99.9% فيها نسبة شوائب أكثر من عينة نقاوتها 99.9999%.

أحيانًا، تسمّى المخاليط المحضرة طبيعيًّا ووفق التعريف الكيميائيّ، لا يمكن أن يصنّف عصير البرتقال بالنقيّ؛ لأنه يحتوي على العديد من المواد، بما فيها الماء، واللب، والنكهات، والفيتامينات، والسّكّر.

إنّ المخاليط قد تكون متجانسة(*Hetrogeneous*) أو غير متجانسة؛ ففي **المخاليط غير المتجانسة*(Homogeneous)***، يمكن رؤية المكونات المختلفة كمواد مستقلة، مثل اللب في عصير البرتقال، والرمل في الماء، وكرات الزيت المنتشرة في الخلّ. أي أنّ المكونات المختلفة مرئية. أمّا **المخاليط المتجانسة *(Homogeneous)*** فلها التركيب نفسه في أجزائه كلّها. أي أنّ لأيّ جزء نسبة المكونات الموجودة نفسها في أيّ جزء آخر من الخليط، ولا يمكن تحديد المكونات كأشياء محددة ومستقلة. والشّكل 8.16 يظهر هذا التمييز.

يمكن أن يكون الخليط المتجانس محلولا أو معلّقًا. يكون للمكونات جميعها الطور نفسه في **المحلول*(Solution)***. إنّ الهواء الذي نتنفسه محلول غازيّ يتكوّن من عناصر غازية كالنيتروجين والأكسجين وبعض الكميات القليلة من المواد الغازية الأخرى. أمّا الماء المالح فهو محلول سائل لأنّ كلًا من الماء وكلوريد الصوديوم الذائب فيه يوجدان في الطور نفسه. وكمثال على المحلول الصّلب الذّهب الأبيض الذي هو خليط متجانس من عنصري الذّهب والبلاديوم. وسنناقش المحاليل بتفاصيل أكثر في الجزء التالي.

(أ) مخاليط غير متجانسة

(ب) مخاليط متجانسة

الشّكل 8.16
(أ) في المخاليط غير المتجانسة، يمكن رؤية المكونات المختلفة بالعين المجردة. (ب) في المخاليط المتجانسة، تمزج المكونات المختلفة على مستوى أدقّ بحيث لا يمكن تمييزها.

المحلول المعلّق *(Suspension)* خليط متجانس، وتكون مكوناته المختلفة في أطوار مختلفة، مثل الصلبة في السّوائل، والسّوائل في الغازات. وفي التّعليق يكون الخلط كاملًا في أجزائه جميعها بحيث لا يمكن تمييز الأطوار المختلفة. ويعدّ الحليب كذلك محلولًا معلّقًا لأنه خليط متجانس من البروتينات ودهون منتشرة بدقة في الماء. كما أنّ الدّم محلول معلّق لأنّه يتكوّن من انتشار دقيق لخلايا الدم في الماء. والغيوم مثال آخر على التّعليق؛ فهي مخاليط متجانسة من قطرات ماء دقيقة معلّقة في الهواء. إذا سلّطت ضوءًا على محلول تعليق، كما في الشّكل 9.16 فسينتج مخروط مرئيّ عند انعكاس الضّوء عن المكونات المعلّقة.

الشّكل 9.16
يصبح مسار الضّوء مرئيًّا عند مروره خلال محلول معلّق.

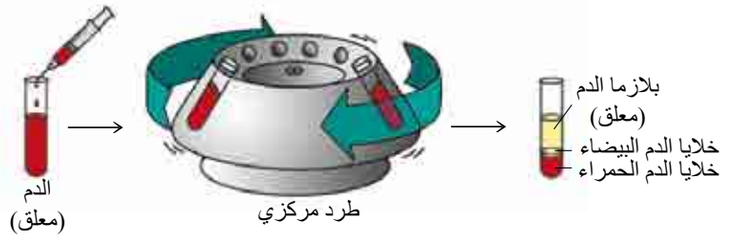
إنّ أسهل طريقة للتمييز بين المعلّق والمحلول في المختبر هو تدوير العينة في جهاز الطرد المركزي (فرازة بالطرد المركزي). يدور هذا الجهاز آلاف الدورات في الدقيقة، ويفصل مكونات التعليق وليس المحلول، كما هو موضح في الشّكل 10.16.

■ **نقطة فحص**

بأيّ مما يلي يمكن تنقية الماء غير النقي؟
أ- إزالة جزيئات الماء غير النقية.
ب- إزالة الأشياء التي ليست ماء جميعها.
ج- تفتيت الماء إلى مكوناته البسيطة.
د- إضافة المعقّمات مثل الكلور.

هل كانت هذه إجابتك؟

الجواب هو البديل ب؛ يُنقى الماء غير النقي بإزالة الأشياء التي ليست ماء جميعها. H_2O مركب من عنصري الهيدروجين والأكسجين بنسبة 2 إلى 1. كلّ جزيء من H_2O مماثل لأيّ جزيء من H_2O آخر، وليس هناك جزيء H_2O غير نقيّ. يمكن أن يحتوي الماء على أشياء كثيرة، مثل رمل الشّاطئ، ومطاط الغطس، والبكتيريا. يقال (إنّ الماء غير نقي) عند وجود أيّ شيء غير الماء فيه. ومن المهم أن تكون الشوائب في الماء وليست جزءا منه، وهذا يعني أنّ هناك إمكانية لإزالتها بطرق فيزيائية مختلفة كالتّرشيح أو التّقطير.

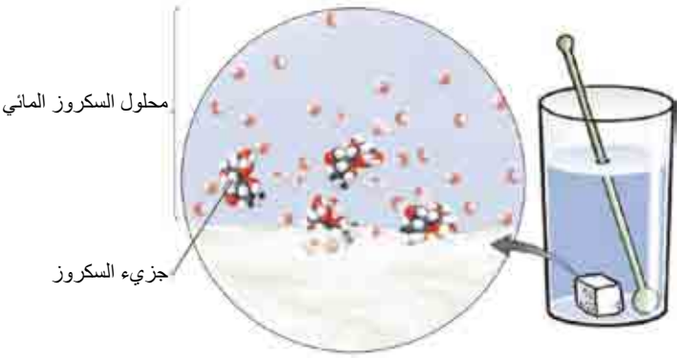


الشّكل 10.16
لأنّ الدم معلّق، يمكن فصله بالطرد المركزي إلى مكوناته التي تحتوي على بلازما الدم (محلول مائل للاصفرار) وخلايا الدم البيضاء والحمراء. ولكن لا يمكن فصل مكونات البلازما بعضها؛ عن بعض بسبب عدم تأثير الطرد المركزي في المحاليل.

■ 3.16 المحاليل

ماذا يحدث لسكّر المائدة، المعروف كيميائيًّا بالسّكّروز، عندما يُحرّك في الماء؟ هل تحطم السّكّر؟ نحن نعلم أنه لم يتحطم؛ لأنه يجعل الماء حلوًا. هل يختفي السّكّر لأنه بطريقة ما لا يحتل حيزًا، أو لأنه يختفي بين زوايا الماء وشقوقه؟ ليس كذلك؛ لأنّ إضافة السّكّر يغير الحجم. يمكن ألّا يلاحظ ذلك في البداية، ولكن إذا تابعنا إضافة السّكّر إلى الماء، فسوف نشاهد ارتفاع مستوى الماء، كما هو الحال لو أنك تضيف رملا.

يفقد السكّروز بتحريكه في الماء تركيبه البلوري. تتكوّن كلّ بلورة من السكّروز من بلايين الجزيئات المتراصة بدقة معًا. وعند تعريض البلورة للماء (كما ظهر في الشّكل 4.16 ويظهر مرة أخرى في الشّكل 11.16)، تسحب جزيئات الماء المزيد من جزيئات السكّروز عبر الروابط الهيدروجينية التي تتشكل بين جزيئات السكّروز وجزيئات الماء. وبتحريك بسيط، تختلط جزيئات السكّروز بسرعة خلال الماء. وبدلًا من بلورات السكّروز والماء، نحصل على خليط متجانس من جزيئات السكّروز والماء. وكما نوقش سابقًا، *فالتجانس* يعني أنه لو أخذ أيّ جزء من الخليط فسيكون ماثلًا لأيّ جزء آخر. في مثالنا عن السكّروز، فإنّ هذا يعني أنّ حلاوة الرّشفة الأولى تشبه حلاوة الرّشفة الأخيرة.



الشّكل 11.16
تسحب جزيئات الماء جزيئات السكّروز من بلورات السكّروز بعيدًا بعضها عن بعض. إنّ هذا السحب البعيد، لا يؤثر في الروابط التساهمية بين جزيء السّكّر نفسه. ولهذا يبقى جزيء السّكّر المذاب جزيئًا مفردًا.

تذكّر أنّ الخليط المتجانس المكوّن من طور أحادي يسمّى *محلولًا*. محلول السّكّر في الماء هو في طور السّائل، ولكنّ المحاليل لا تكون سائلة دائمًا، بل يمكن أن تكون صلبة أو غازية أيضًا، كما يبين الشّكل 12.16. إنّ الجواهر محاليل صلبة؛ فالياقوت مثلًا، محلول صلب من كميات قليلة من مركبات الكروم الأحمر في أكسيد الألومنيوم الشفاف. والياقوت الأزرق محلول صلب من كميات قليلة من مركبات الحديد الأخضر الخفيف ومركبات التيتانيوم الأزرق في أكسيد الألومنيوم. وتعدّ السّبائك الفلزية مثالًا آخر مهمًّا على المحاليل الصّلبة. إنّها خليط من عناصر فلزية مختلفة. والسّبيكة المعروفة بالنحاس الأصفر هي محلول صلب من النحاس والزنك، كما أنّ سبيكة الفولاذ محلول صلب من الحديد، والكروم، والنيكل، والكربون.

ويعدّ الهواء الذي نتنفسه مثالًا على المحاليل الغازية؛ يتكوّن 78% من حجمه من غاز النيتروجين، و21% من غاز الأكسجين، و1% غازات مواد أخرى، بما في ذلك غاز الماء وثاني أكسيد الكربون. أمّا محلول الهواء الذي نزفره فيتكوّن من 75% من النيتروجين، و14% من الأكسجين، و5% من ثاني أكسيد الكربون، ونحو 6% من بخار الماء. ولهذا، نرى أنّ الهواء الذي نتنفسه يتعرض لتغيير كيميائيّ قبل أن نزفره.

في وصف المحاليل يسمّى المكوّنُ الموجود بأكبر كمية **المذيبَ *(Solvent)***، وأيُّ مكوّن آخر **المذابَ**. مثلًا، عند خلط ملعقة شاي من سكر المائدة في لتر واحد من الماء، نعرّف السّكّر على أنه مُذاب والماء مذيب.

يرى معظم الناس أنّ الحلول تعني إيجاد الإجابات، أمّا الكيميائيون، فيرون أنّ المحاليل تعني أنّ الأشياء ما زالت مخلوطة معًا.

(ج)

(أ)

(ب)

الشّكل 12.16
توجد المحاليل في طور: (أ) الصلابة، أو (ب) السيولة، أو (جـ) الغاز.

إنّ عملية خلط المُذاب بالمذيب تسمّى **الإذابةَ *(Dissolving)***. ولعمل محلول ما؛ يجب أن يذوب المذيب، أي يجب أن يشكل المذيب والمذاب خليطًا متجانسًا. وأنّ ذوبانية إحدى المواد في الأخرى هي دالة للتجاذب الكهربائيّ بينهما.

■ **نقطة فحص**

ما المذيب في المحلول الغازي الذي يسمّى الهواء؟

هل كانت هذه إجابتك؟

النيتروجين هو المذيب لأنه المكوّن الموجود بأكبر كمية.

هناك حدّ لكمية المذاب التي يمكن أن تذوب في كمية معينة من المذيب، كما يوضح الشّكل 13.16 مثلًا. نعلم أنه عند إضافة سكر المائدة إلى كوب من الماء، فإنّ السّكّر يذوب بسرعة، وعند استمرارك في إضافة السّكّر، تصل إلى نقطة لا يذوب بعدها السّكّر، وهذا يعني أنّ الماء لا يستطيع إذابة المزيد منه. وعندما يحدث هذا، يكون لدينا **محلول مشبع *(saturated)***. يعرف بأنه لا يمكن إذابة مذاب أكثر فيه. في حين يسمّى المحلولُ الذي ما زال يستطيع إذابة المزيد من المذاب **محلولًا غير مشبع*(Unsaturated)***.

(ج) 250 جم من السكروز في 100 مللتر من الماء على درجة 20°س

(ب) 200 جم من السكروز في 100 مللتر من الماء على درجة 20°س

(أ) 150 جم من السكروز في 100 مللتر من الماء على درجة 20°س

الشكل 13.16
يذوب 200 جم من السّكّر كحدّ أقصى في 100 مللتر من الماء على درجة 20°س. (أ) ينتجُ من مزج 150 جم من السكّروز في 100 مللتر من الماء على درجة 20°س محلولٌ غير مشبع. (ب) ينتجُ من مزج 200 جم من السكّروز في 100 مللتر من الماء عند درجة 20°س محلولٌ مشبع. (جـ) إذا مزج 250 جم من السكّروز في 100 مللتر من الماء عند درجة 20°س، فسيبقى 50 جم من السّكّر غير مذاب. (كما سنناقش لاحقًا، يتغير تركيز المحاليل المشبعة في درجات الحرارة المختلفة).

يعبّر رياضيًا عن كمية المذاب في المحلول بدلالة **تركيز المحلول**، وهو كمية المذاب لكلّ كمية من المحلول:

التركيز = (كمية المذاب / كمية المحلول)

مثلًا، يمكن أن يكون تركيز محلول السّكّر- الماء هو 1 جم من السّكّر لكلّ لتر من المحلول. يمكن مقارنة تركيز هذا المحلول بتراكيز المحاليل الأخرى. فمثلا محلول السّكّر- الماء الذي يحتوي على 2 جم من السّكّر لكلّ لتر واحد من المحلول أكثر تركيزًا، والمحلول الذي يحتوي على 0.5 جم من السّكّر لكلّ لتر هو أقلّ تركيزا، أو أنّه مخفف.

إنّ الكيميائيين يهتمون عادة بعدد جسيمات المذاب في المحلول أكثر من عدد جرامات المذاب. ولكن عدد الجسيمات دون المجهرية لأيّ عينة ملاحظة مهما كانت صغيرة هو عدد هائل جدًّا. ولتفادي الارتباك الحادث من هذه الأرقام الكبيرة؛ يستخدم العلماء وحدة تسمّى المول.

لمعلوماتك

■ كم يلزم من الوقت للعد إلى المليون؟ إذا استغرق العدّ الواحد ثانية واحدة، فإنّ العدّ دون توقف إلى المليون يستغرق 11.6 يومًا. وللعدّ إلى بليون واحد؛ يستغرق 31.7 سنة. وللعدّ إلى التريليون؛ يستغرق 31,700 سنة! إنّ العدّ إلى التريليون مضروبًا في 602 بليون يستغرق مليونين ضرب العمر التقديري للكون. باختصار، إنّ العدد 602 بليون تريليون هو هائل بشكل لا يصدق.

يحتوي **المول *(Mole)*** الواحد على 6.02×10^{23} جسيم من أيّ نوع من الجسيمات. (هذا الرقم كبير جدًّا؛ أي أنّه نحو 602 بليون تريليون أو 602,000,000,000,000,000,000,000 جسيم. من المدهش أنّ مصطلح المول مشتق من الكلمة اللاتينية moles التي تعني كتلة، أو كمية كبيرة، أو مقدارًا كبيرًا. إنّ المول الواحد من الذّهب مثلًا يحتوي على 6.02×10^{23} ذرة ذهب. وأنّ المول الواحد من السكّروز يحتوي على 6.02×10^{23} جزيء سكّروز.

حتى لو لم تسمع من قبل بمصطلح *مول*، فإنك تعرف الآن الفكرة الأساسية وهي أنّ "المول الواحد" هو اختصار لـ: "6 مضروب في 10 مرفوع إلى الأسّ 23". وكما أنّ "الزوج" يعني 2 من أيّ شيء، والدستة تعني 12 من أيّ شيء، فإنّ "المول" يعني 6.02×10^{23} من وحدة أساسية معينة، مثل الذرات، أو الجزيئات، أو الأيونات. إنها ببساطة كذلك:

- زوج من جوز الهند = 2 جوز هند.
- دستة من الحلوى = 12 قطعة حلوى.
- مول من الجزيئات = 6.02×10^{23} جزيئات.

وإليك الأمثلة الآتية: يساوي المول الواحد من ذرات الذّهب 6.02×10^{23} ذرة ذهب. والمول الواحد من السكّروز يحتوي على 6.02×10^{23} جزيء سكّروز. ويصل عمود من مول واحد من القروش إلى ارتفاع نحو 860 كوادريليون كيلو متر، وهذا يساوي قطر مجرتنا تقريبًا. كما أنّ مولًا واحدًا من كرات اللعب الصغيرة يكفي لتغطية مساحة الولايات المتحدة الخمسين بعمق 1.1 كيلو متر.

ولكن جزيئات السكّروز صغيرة جدًّا بحيث إنّ 6.02×10^{23} منها توجد في 342 جم فقط من السكّروز، وهو مقدار كوب صغير من السّكّر. ونستطيع استخدام التعبير المختصر الآتي: 342 جم من السكّروز تحتوي على مول واحد من السكّروز. وكما في الشّكل 14.16 فإنّ محلولًا مائيًّا تركيزه 342 جم سكّروز لكلّ لتر من المحلول، تركيزه أيضًا يساوي 6.02×10^{23} جزيئات سكّروز لكلّ لتر من المحلول، أو له تركيز مول واحد لكلّ لتر من المحلول. إنّ عدد الجرامات يعطينا كتلة المذاب في المحلول، أمّا عدد المولات فيشير إلى عدد الجزيئات الفعليّ.

يستخدم الكيميائيون عادة وحدة **المولارتي *(Molarity)***، وهي تعبير عن تركيز المحلول بعدد المولات لكلّ لتر من المحلول. أي أنّ

المولارتي = عدد مولات المذاب / لتر من المحلول

فالمحلول الذي يحتوي على مول واحد من المذاب لكلّ لتر من المحلول هو محلول 1 مولر ويرمز إليه عادة 1M. و2-مول (2M) محلول يحتوي على مولَيْن من المذاب لكلّ لتر من المحلول.

يمكن توضيح الفرق بين الإشارة إلى عدد المولات للمذاب، والإشارة إليه بعدد الجرامات بالسّؤال التالي: محلول مائي مشبع يحتوي على 200 جم من السكّروز و100 جم من الماء. أيهما المذيب : السكّروز أم الماء؟

وكما هو موضّح في الشّكل 15.16، يوجد في 200 جم من السّكّر 3.5×10^{23} جزيء سكّروز، ونحو 10 أضعاف هذا العدد من جزيئات الماء في 100 جم ماء- 3.3×10^{24} جزيء ماء. وكما عُرّفَ سابقا، فإنّ المذيب هو المكوّن الموجود بكمية أكبر. ولكن ماذا نعني بكمية؟ إذا كانت *الكمية* تعني عدد الجزيئات فإنّ الماء هو المذيب. ولكن إذا كانت *الكمية* تعني الكتلة، فإنّ السكّروز هو المذيب. إذن، فالجواب يعتمد على كيفية تعريفك للكمية. من وجهة نظر الكيميائيّ، تعني *الكمية* عادة عدد الجزيئات. وعليه، فالماء هو المذيب.

مول واحد من السكروز
يساوي
342 جم من السكروز
يساوي
6.02×10^{23} جزيء من السكروز

الشّكل 14.16
يحتوي محلول مائيّ من السكّروز والذي تركيزه مول واحد من السكّروز لكلّ لتر من المحلول على 6.02×10^{23} جزيء سكّروز (342 جم) في كلّ لتر من المحلول.

المركب	الكتلة	عدد الجزيئات
سكروز	200 g	3.5×10^{23}
ماء	100 g	3.3×10^{24}

الشّكل 15.16
على الرّغم من أنّ 200 جم من السكّروز لها ضعف كتلة 100 جم من الماء، إلا أنّ 100 جم من الماء يحوي عشرة أضعاف عدد الجزيئات الموجودة في 200 جم سكروز. كيف يكون ذلك؟ تبلغ كتلة جزيء الماء $\frac{1}{20}$ من كتلة جزيء السكّروز (بل أقلّ)، وهذا يعني أنه نحو 10 مرات عدد جزيئات الماء التي توجد في نصف الكتلة.

لمعلوماتك

■ هل يمتد «مول» من القروش المصفوفة بشكل عمودي عبر مجرتنا؟ قدّر الإجابة بنفسك. ضع قروشًا إلى ارتفاع 1سم. لإيجاد طول «مول» واحد من القروش المصفوفة بعضها فوق بعض، خذ العدد «مول» واحد (6.02×10^{23}). ثم اقسمه على عدد القروش في ارتفاع 1سم. يكون جوابك بالسنتمترات. لتحويل الإجابة إلى كيلومترات؛ اقسم على عدد السنتمترات في الكيلومتر وهو 100,000. تجد طول مول من القروش!

■ **نقطة فحص**

1. ما عدد مولات السكّروز في 0.5 لتر لمحلول 2M؟ ما عدد جزيئات السكّروز؟
2. هل يحتوي لتر واحد لمحلول 1M سكّروز في الماء على لتر واحد من الماء، أم أقلّ، أم أكثر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. عليك معرفة أنّ 2M يعني مولَيْن من السكّروز لكلّ لتر من المحلول. ولإيجاد كمية المذاب: يجب أن نضرب تركيز المحلول في كمية المحلول

(2 مول) (0.5 لتر) = مولًا واحدًا

مثل 6.02×10^{23} جزيء.

2. إن تعريف المولارتي يعني عدد لترات المحلول وليس عدد لترات المذيب. وعند إضافة السكّروز إلى حجم معين من الماء، فإنّ حجم المحلول يزداد. ولهذا، إذا أضفنا مولًا واحدًا من السكّروز إلى لتر واحد من الماء، فإنّ حجم المحلول أكثر من لتر واحد. لذا، فإنّ 1M يحتاج إلى أقل من لتر واحد من الماء.

حساب العلوم الطّبيعيّة

■ **حسابات للمحاليل**

من صيغة تركيز المحلول، يمكن اشتقاق معادلات لكمية كلّ من المذاب والمذيب:

تركيز المحلول = كمية المذاب / حجم المحلول

كمية المذاب= تركيز المحلول × حجم المحلول

حجم المحلول = كمية المذاب / تركيز المحلول

لإيجاد أي من هذه المقادير، يجب أن تتماثل الوحدات. مثلًا، إذا كان التركيز بوحدة جم/لتر من المحلول، فإنّ كمية المذاب يجب أن تكون بالجرامات وكمية المحلول باللترات.

لاحظ أنّ هذه المعادلات أعدت لحساب حجم المحلول بدلًا من حجم المذيب. حجم المحلول أكبر من حجم المذيب، كما ناقشنا ذلك في الجزء 3.16. مثلًا، لا يعتمد حجم المحلول المائي للسكّروز على حجم الماء فحسب، بل على حجم السكّروز المذاب أيضًا.

مسألة 1

ما عدد الجرامات من السكّروز الموجودة في 3 لترات من المحلول المائي الذي تركيزه 2 جم من السكّروز لكل لتر من المحلول؟

الحل:

المطلوب في هذه المسألة هو إيجاد كمية المذاب. لذا، يجب استخدام الصيغة الثانية من الصيغ الثلاث المعطاة سابقًا:

كمية المذاب= 2 جم/لتر× 3 لتر= 6 جم.

مسألة 2

إذا كان تركيز محلول تستخدمه في المختبر هو 10 جم من المذاب لكل لتر من المحلول. وسكبت ما يكفي من المحلول في دورق فارغ بحيث أصبحت كمية المذاب في الدورق 5 جم من المذاب، فما عدد لترات المحلول الذي سكبته في الدورق؟

الحل:

المطلوب في هذه المسألة هو إيجاد كمية المحلول. ولهذا، علينا استخدام الصيغة الثالثة المعطاة سابقا، وهي أنّ:

حجم المحلول=5 جم / (10جم/لتر) = 0.5 لتر.

مسألة 3

إذا كان تركيز محلول مشبع من كلوريد الصوديوم في الماء عند درجة حرارة 20°س هو 380 جم من كلوريد الصوديوم تقريبًا لكلّ لتر من المحلول. فما عدد غرامات كلوريد الصوديوم التي نحتاج إليها لعمل 3 لترات من المحلول المشبع؟

الحل:

نضرب تركيز المحول في الحجم النهائي للمحلول للحصول على كمية المذاب اللازمة:

380 جم/لتر × 3 لترات= 1140جم.

مسألة 4

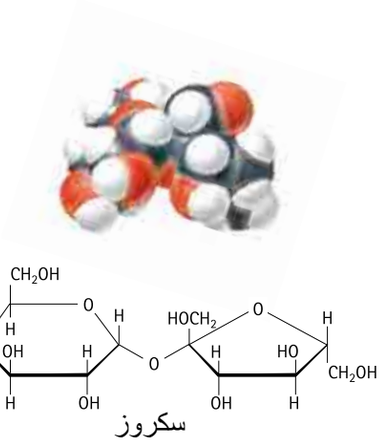
كُلّفت طالبةٌ بتحضير محلول مائيّ من كلوريد الصوديوم بحيث يكون تركيزه 10 جم لكلّ لتر، فإذا أعطيت 20 جم من ملح الطعام. فكم لترًا من المحلول تستطيع تحضيره؟

الحل:

نقسم كمية المذيب على تركيز المحلول:

20 جم / (10جم/لتر) = لترين.

4.16 الذوبانية



سكروز

الشّكل 16.16
يحتوي جزيء السّكّروز العديد من روابط الهيدروجين – الأكسجين التساهمية، حيث تكون ذرات الهيدروجين موجبة قليلًا، وتكون ذرات الأكسجين سالبة قليلًا. تنتج هذه الثناقطبيات في أيّ جزيء سكّروز روابط هيدروجينية مع جزيئات السكّروز المجاورة.

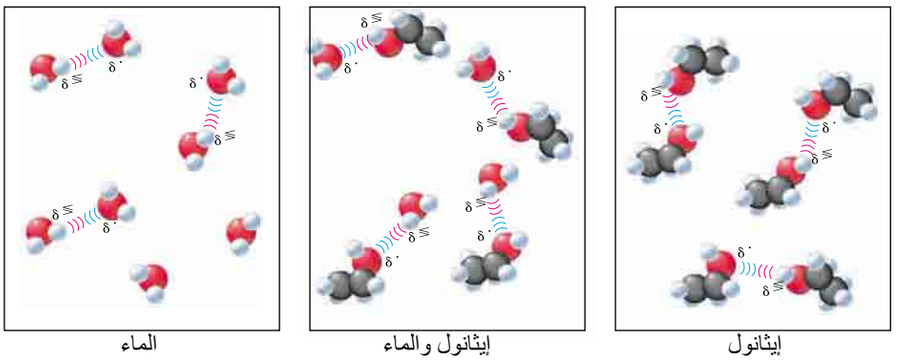
الذوبانية لمذاب هي *قدرته* على الذوبان في مذيب. وكما هو متوقع، فإنّ هذه المقدرة تعتمد على التجاذبات دون الجهرية بين كلّ من جسيمات المذاب والمذيب. إذا كان للمذاب ذوبانية ملموسة في المذيب، فيقال عندئذ إنّ المذاب **ذوّاب** ***(soluble)*** في ذلك المذيب.

تعتمد الذوبانية أيضًا على التجاذبات بين جزيئات المذيب بعضها ببعض، كما تعتمد على التجاذبات بين جزيئات المذاب بعضها ببعض كذلك. مثلا، يوضح الشّكل 16.16، لجزيء السكّروز عدة روابط هيدروجين - أكسجين قطبية. ولهذا، فإنّ جزيء السكّروز يستطيع تكوين روابط هيدروجينية متعددة الواحدة مع الأخرى. تكون روابط الهيدروجين هذه قوية كفاية بحيث تجعل السكّروز صلبًا عند درجة حرارة الغرفة، وله نقطة انصهار عالية، نحو 185°س. ولكي يذوب السكّروز في الماء يجب على جزيئات الماء أولًا سحب جزيئات السكّروز بعيدا بعضها عن بعض. وهذا يضع حدًّا لكمية السكّروز التي يمكن أن تذوب في الماء. ونصل في النهاية - إلى النقطة التي لا يوجد عدد جزيئات ماء كافية لفصل جزيئات السكّروز بعضها عن بعض. وكما ناقشنا في الجزء 3.16، فإنّ هذه هي نقطة التشبع، وفيها لا تذوب أيّ كمية إضافية من السّكّر.

عندما يكون التجاذب بين جزيء وآخر في جزيئات المذاب قريبًا من التجاذب بين جزيء وآخر في جزيئات المذيب، عندها لا توجد أيّ نقطة عملية للتشبع. وكما يوضح الشّكل 17.16، تكون روابط الهيدروجين بين جزيئات الماء بالقوة نفسها التي هي بين جزيئات الإيثانول. وهكذا، فإنّ هذين السّائلين يمتزجان معًا بأيّ نسبة. ويمكننا إضافة الإيثانول للماء حتى يصبح الإيثانول هو المذيب وليس الماء.

يسمّى المذابُ الذي ليس له نقطة تشبع في مذيب معين المذابَ غير المنتهي في ذلك المذيب. فالإيثانول مثلًا، يذوب بلا نهاية في الماء. كما أنّ الغازات جميعها تذوب بلا نهاية في الغازات الأخرى عمومًا؛ لأنه يمكن مزجها بأيّ نسبة.

دعنا ننظر إلى الجهة الأخرى القصوى من الذوبانية، حيث يكون للمذاب ذوبانية قليلة في مذيب معين. ومثال ذلك الأكسجين، O_2، في الماء. وعلى النقيض من السكّروز حيث يذوب 200 جم في كل 100 مللتر من الماء، فإنّ نحو 0.004 جم من الأكسجين فقط يذوب في 100 مللتر من الماء. يمكن تفسير ذوبانية الأكسجين القليلة في الماء بملاحظة أنّ قوى التجاذب الكهربائي التي تحدث بين جزيئات كلّ من الأكسجين والماء هي ضعيفة نسبيًّا



الشّكل 17.16
حجم جزيئات الإيثانول والماء هو نفسه، وكلاهما يشكّل روابط هيدروجينية. وكنتيجة لذلك، يمتزج الإيثانول والماء معًا بسرعة.

الشّكل 18.16
يُبرغل الزّجاج بإذابة سطحه الخارجيّ في حامض فلوريد الهيدروجين.

وهي جاذبات بين الثناقطبين المستحثين. ولكن الأكثر أهمية، هو التجاذب القوي بين جزيئات الماء عبر روابط الهيدروجين التي تشكلها جزيئات الماء بين بعضها وبعض، وتستبعد فعليًّا جزيئات الأكسجين من التمازج.

تسمّى المادة التي لا تذوب بأيّ قيمة معقولة **بغير الذائبة** في ذلك المذيب. وسنذكر الآن العديد من المواد غير الذائبة في الماء، بما فيها الرّمل والزّجاج. ولأنّ المادة لا تذوب في مذيب معين، فلا يعني هذا أنها لا تذوب في مذيب آخر؛ فالرّمل والزّجاج يذوبان في حامض الهيدروفلوريك، HF، الذي يستخدم لإعطاء الزجاج منظر زخرفة الثّلج المبين في الشّكل 18.16. كما أنّ زبد البلاستيك لا يذوب في الماء، ولكنه يذوب في الأسيتون، وهو مذيب يستخدم في إزالة طلاء الأظافر. إذا صببت قليلًا من الأسيتون في كأس بلاستيكيّة فستتشوّه الكأس سريعًا، كما هو موضح في الشّكل 19.16.

الشّكل 19.16
هل هذه الكأس منصهرة أم مذابة؟

نقطة فحص

لماذا لا يذوب السّكّر في الماء دون حدود؟

هل كانت هذه إجابتك؟

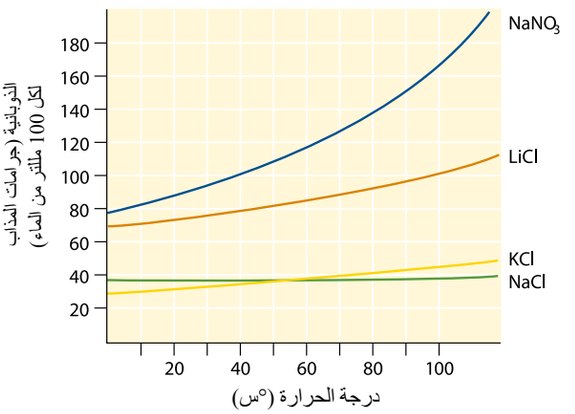
إنّ التجاذب بين جزيئين من السّكّر أقوى من التجاذب بين جزيئيّ سكر وماء. ولهذا، يذوب السّكّر في الماء فقط ما دام أنّ عدد جزيئات الماء أكبر كثيرًا من عدد جزيئات السّكّر. وعندما يكون هناك عدد قليل نسبيًّا من جزيئات الماء لإذابة كمية إضافية من السّكّر يكون المحلول مشبعًا.

الذوبانية تتغير مع درجة الحرارة

ربما تعلم من خبرتك أنّ المواد الصّلبة التي تذوب في الماء عادة، تكون ذوبانيتها أفضل في الماء السّاخن من ذوبانيتها في الماء البارد. فمثلًا يمكن صنع محلول شديد التركيز من السّكّر في الماء بتسخين الماء حتى درجة الغليان. هكذا يُصنع القطْر وسكر النبات.

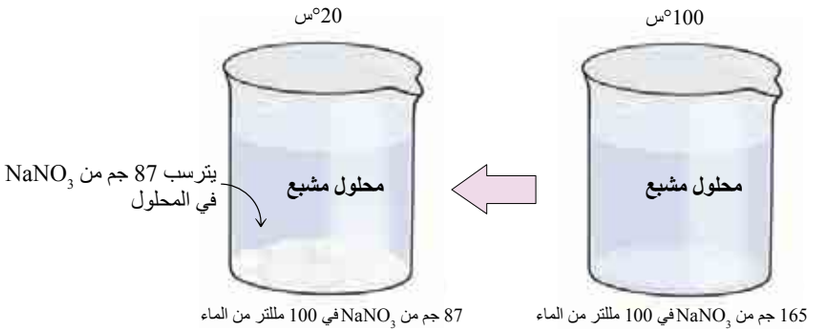
تزداد الذوبانية بازدياد درجة الحرارة؛ لأنّ جزيئات الماء السّاخن لها طاقة حركية أكبر وتستطيع الاصطدام بشدة مع المذاب الصّلب. تساعد الاصطدامات الشديدة في تقليل التجاذبات الكهربائية بين الجسيمات في المادة الصّلبة.

ومع أنّ الذوبانية للعديد من المذابات الصّلبة، السّكّر مثلًا، تزداد بازدياد درجة الحرارة، فإنّ ذوبانية المذابات الصّلبة الأخرى مثل كلوريد الصوديوم، تتأثر قليلًا، كما هو مبيّن في الشّكل 20.16. إنّ الفرق في هذا يعزى إلى عدد من العوامل، من ضمنها قوة الروابط الكيميائية في جزيئات المذاب، وطريقة رصّ هذه الجزيئات معًا. وفي الحقيقة، فإنّ بعض المواد الكيميائية مثل كربونات الكالسيوم، $CaCO_3$، تصبح أقلّ ذوبانية عند زيادة درجة حرارة الماء، وهذا يفسر سبب تغليف السّطح الداخلي لإبريق الشّاي عادة ببقايا كربونات الكالسيوم.



الشّكل 20.16
تزداد ذوبانية العديد من المواد الصّلبة التي تذوب في الماء مع زيادة درجة الحرارة، في حين تتأثّر ذوبانية بعضها الآخر قليلًا بدرجة الحرارة.

عندما يسمح لمحلول مشبع بالسّكّر أن يبرد عند درجة حرارة عالية، فإنّ بعض السّكّر من المحلول يخرج عادة ويترسب. وعندما يحدث ذلك، يُقال للمذاب، (السّكّر في هذه الحالة)، أنه تَرَسّب من المحلول. دعنا نستمر في تفكيريا الكمّيّ إلى ذروته، ولنأخذ مثالاً آخر؛ عند درجة حرارة 100°س تكون ذوبانية نترات الصوديوم، $NaNO_3$، في الماء 165 جم لكلّ 100 مللتر. وعند تبريد هذا المحلول، تتناقص ذوبانية، $NaNO_3$، كما في الشّكل 21.16 ويعمل هذا التناقص في ذوبانية، $NaNO_3$، على الترسب (وتخرج من المحلول). عند درجة حرارة 20°س، تصبح ذوبانية، 87 ،$NaNO_3$ جم في 100 مللتر من الماء. وحين يبرد المحلول من 100°س إلى 20°س، فإنّ 78 جم (165 جم- 87 جم) يترسب كما هو مبين في الشّكل 21.16.



الشّكل 21.16
يذوب 165 جم من نترات الصوديوم في 100 مللتر من الماء على درجة حرارة 100°س، ولكن يذوب 87 جم منها فقط في 100 مللتر عند درجة حرارة 20°س. بتبريد المحلول المشبع من $NaNO_3$ من درجة حرارة 100°س إلى درجة حرارة 20°س يترسب 78 جم من المذاب.

تذوب الشحمة في المادة الرقاقية المخففة للدهان، ولهذا تستخدم هذه المادة الرقاقية المخففة للدهان في غسل اليدين من الزيوت. ولكن دهون الجسم هي الأخرى تذوب في هذه الرقاقية. ولهذا فإنّ اليدين اللتين نُظّفتا بهذه المادة الرقاقية المغذية للدهون تكونان جافتين ومتشققتين.

الذوبانية في الغازات

بالمقارنة مع ذوبانية المواد الصّلبة، فإنّ ذوبانية الغازات في السّوائل *تتناقص* مع زيادة درجة الحرارة، كما يوضح الجدول 1.16. ويحدث هذا لأنّ زيادة درجة الحرارة ترفع طاقة حركة جزيئات المذيب. إنّ هذه الزيادة في طاقة حركة جزيئات المذيب تجعل من الصعب على الجزيئات المذابة البقاء في المحلول نتيجة طرد جزيئات المذاب من جزيئات المذيب ذات الطاقات العالية.

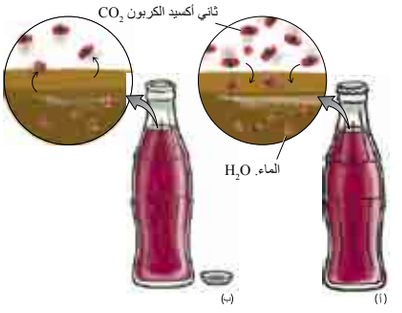
الجدول 1.16 اعتماد ذوبانية غاز الأكسجين في الماء على درجة الحرارة تحت الضغط الجويّ الاعتياديّ (المعياريّ).

درجة الحرارة (°س)	الذوبانية O_2 (جم O_2 لكل لتر H_2O)
0	0.0141
10	0.0109
20	0.0092
25	0.0083
30	0.0077
35	0.0070
40	0.0065

ربما لاحظت أنّ المشروبات الغازية السّكّرية السّاخنة تفقد الغازات أسرع من المشروبات الغازية المبردة. وكلما زادت درجة الحرارة فإنّ جزيئات ثاني أكسيد الكربون تغادر السّائل المذيب بمعدل أعلى.

تعتمد ذوبانية الغاز في السّائل أيضًا على ضغط الغاز فوق السّائل مباشرة. على العموم، إنّ وجود ضغط غاز عال فوق السّائل يعني مزيدًا من الغاز المذاب. كما يعني وجود العديد من جسيمات الغاز في وحدة الحجم. فعلى سبيل المثال، إنّ "الجزء غير المتلئ" في علبة المشروب الغازي المغلقة، محشوّ بجزيئات ثاني أكسيد الكربون في الطور الغازي. وحيث لا يوجد أي مكان تذهب إليه، فإنّ هذه الجزيئات تذوب في السّائل

الهواء محلول غازيّ، وأحد مكوناته الفرعية هو بخار الماء. تسمّى عملية خروج الماء من هذا المحلول "على شكل مطر أو ثلج التّرسيب" للمطر أو الثّلج.



الشّكل 22.16
(أ) تكون جزيئات أكسيد الكربون فوق السّائل في علبة المشروب الغازي قبل فتحها متراصة، وهي التي أجبرت على الدخول في المحلول. (ب) عند فتح العلبة، يزول الضغط وتنطلق جزيئات ثاني أكسيد الكربون التي كانت أصلًا مذابة في السّائل إلى الهواء.

كما هو مبين في الشّكل 22.16؛ فإنّ الضغط الكبير يُجبر جزيئات ثاني أكسيد الكربون على الدخول في المحلول. وعند فتح العلبة، يغادر غاز ثاني أكسيد الكربون الموجود عند أعلى العلبة. والآن، حيث إنّ ضغط الغاز فوق السّائل أقل من قبل، وكنتيجة، تنقص ذوبانية ثاني أكسيد الكربون وتبدأ جزيئات ثاني أكسيد الكربون التي كانت مضغوطة في السّائل المغادرة إلى الهواء الموجود فوق السّائل.

إنّ معدل مغادرة جزيئات ثاني أكسيد الكربون لعلبة المشروب الغازي بطيء نسبيًّا. ولكن يمكنك زيادة هذا المعدل بإضافة حبيبات من السّكّر أو الملح أو الرمل. تعمل الفراغات دون المجهرية على السّطح *كمواقع أنوية* حيث تتشكل فقاقيع ثاني أكسيد الكربون بسرعة بقوى الطفو. إنّ هزّ علبة الشّراب يعمل على زيادة السّطح الفاصل بين السّائل والغاز، مما يسهل عملية انطلاق ثاني أكسيد الكربون من المحلول. وعند هزّ المحلول، يزداد معدل انطلاق ثاني أكسيد الكربون من العلبة إلى فمك عند شرب المشروب، حيث تكثر مواقع الأنوية. ويمكنك أن تشعر بوخز قليل.

نقطة فحص

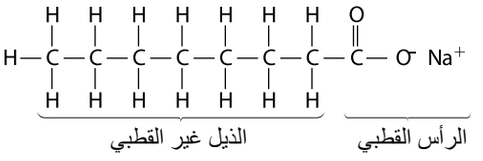
إذا فتحت علبتين من العصير، واحدة من مطبخ دافئ والأخرى من أبرد منطقة في الثلاجة، فأيهما تكون أكثر فورانا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

تتناقص ذوبانية ثاني أكسيد الكربون مع زيادة درجة الحرارة. لذا، كلما كان العصير أسخن، كان الفوران أكثر مما في العصير البارد.

5.16 الصّابون والمنظّفات

يؤدّي اتحاد الوسخ والشّحم إلى ما يعرف *بالسّخام* (*grime*). ولأنّ السّخام يحتوي على العديد من المكونات غير القطبية، فإنّ إزالته عن اليدين أو الملابس بالماء وحده أمر صعب. لذا، لإزالة مثل هذا الوسخ، يمكن استعمال مذيب غير قطبي مثل التربنتين الذي يذيب الأوساخ، بسبب التجاذب القوي بين الثناقطبين المستحثين. يعدّ التربنتين ذا فاعلية جيدة في إزالة الوسخ المتبقي على اليدين بعد القيام ببعض الممارسات، كتغيير زيت محرّك السّيارة. وبدلًا من غسل أيادينا المتسخة وملابسنا بمذيبات غير قطبية، فإنّ لدينا بديلا أفضل؛ إنّه الصّابون والماء. ينظف الصّابون لأنّ لجزيئات الصّابون خصائص قطبية وغير قطبية. ويوجد لجزيء الصّابون العادي جزآن هما: ذيل طويل غير قطبي من ذرات الكربون والهيدروجين، ورأس قطبي يحتوي على رابطة أيونية واحدة على الأقل.

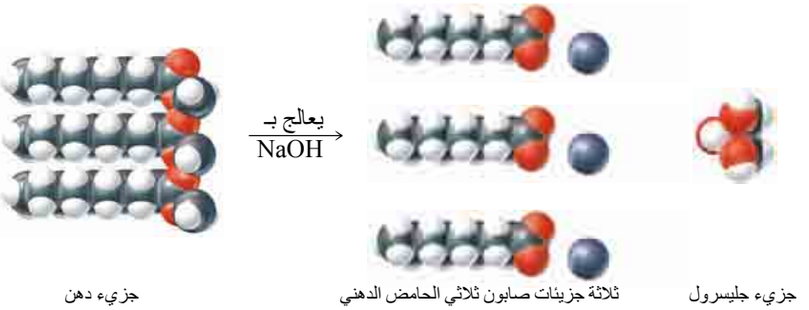


لمعلوماتك

ليست تفاعلات الثناقطبين المستحثين فقط هي التي تبقي ثاني أكسيد الكربون مذابًا في الماء. وكما سنناقش في الفصل 18، يتفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الماء لتشكيل حمض الكربونيك، والذي ذوبانيته في الماء أعلى كثيرًا من ثاني أكسيد الكربون. وعند فتح علبة صودا مكربنة، يتحول الكثير من حمض الكربونيك بسرعة إلى ماء وثاني أكسيد الكربون، والتي تخرج كتفاعلات من المحلول بسبب ذوبانيته المتدنية.

ولأنّ معظم جزيء الصّابون غير قطبي، فإنه يجذب جزيئات السخام عبر تجاذب الثناقطبين المستحثين، كما يوضح الشّكل 23.16. وفي الواقع، يُحاط السّخام بسرعة بأذيال من الجهات كافة (ثلاثة أبعاد). يكون هذا التجاذب عادة كافيًا لإبعاد السّخام عن السّطح المراد تنظيفه. توجه الذيول غير القطبية نحو الداخل في اتجاه القذارة، وتكون الرؤوس القطبية في اتجاه الخارج، حيث تنجذب إلى جزيئات الماء بواسطة تفاعل الجذب القوي نسبيًّا بين الأيون والثناقطبي. إذا كان الماء جاريًا، فإنّ تكتلات القذارة وجزيئات الصّابون جميعها تجري معه مبتعدة عن يديك أو الغسيل في اتجاه المصرف.

لعدة قرون مضت، كان يتم تحضير الصّابون بمعالجة الدهون الحيوانية مع هيدروكسيد الصوديوم، NaOH، والمعروف بالغول القلوي. وفي هذا التفاعل الذي ما يزال مستعملًا حتى اليوم، يتحطّم كلّ جزيء دهن إلى ثلاثة جزيئات صابون ثلاثي *الحامض الدهني* وجزيء جليسرول:



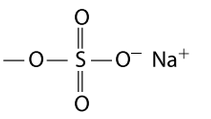
بدأ الكيميائيون في عام 1940 تطوير مركبات صابون صناعي عرف *بالمنظّفات*. وتتّصف هذه المنظّفات بالعديد من المزايا أكثر من الصّابون الطّبيعي؛ لأنّ لديها قدرة أكبر على إزالة الشحوم، إضافة إلى أنّها زهيدة الثمن.

يشبه التركيب الكيميائي لجزيئات المنظّفات التركيب الكيميائي لجزيئات الصّابون من حيث إنها تمتلك رأسًا قطبيًّا متصلًا مع ذيل غير قطبي. يتكون الرأس القطبي في جزيء المنظّفات عادة إما من مجموعة الكبريتات، $-SO_4^-$، أو من مجموعة الكبريتيت، $-SO_3^-$، كما يكون للذيل غير القطبي تشكيلة واسعة من التراكيب.

إنّ أكثر منظفات السّلفيت انتشارًا هو كبريتات لوريل الصوديوم، المكون الأساس لمعاجين الأسنان. ومن منظفات السلفونيت المألوفة سائل دوديكيل كبريتات البنزين، الذي يعرف أيضًا بسلفونات الألكيل، الموجود في سائل تنظيف الأواني على الأغلب. كما أنّ كليهما يتحلل حيويًّا، وهذا يعني أنّ الأحياء الدقيقة يمكن أن تحطم جزيئاته حين إطلاقها في البيئة.

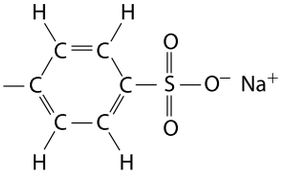
$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2$

كبريتات لوريل الصوديوم



$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2$

دوديكيل كبريتات البنزين



الشّكل 23.16

ينجذب السّخام غير القطبي ويُحاط بالأذيال غير القطبية لجزيئات الصّابون. تنجذب الرؤوس القطبية لجزيئات الصّابون من خلال جذب بين الأيون والثناقطبي لجزيئات الماء، والتي بدورها تزيل التصاق الصّابون؛ تبعد السّخام.

لمعلوماتك

■ «التنظيف الجاف» هو عملية تنظيف الملابس دون ماء. إنّ أكثر منظف جاف مذيب مألوف هو بيركلوروإيثيلين (رباعي كلوروإيثيلين)، C_2Cl_4، وهو ناعم على الملابس، ويستطيع تنظيف حمولة كاملة في أقلّ من 10 دقائق. بعد دورة الغسيل، يُطرد المذيب مركزيًّا خارج الآلة، ويُرشّح، ثم يُقطّر، ويُعاد تدويره للحمولة الثانية. تكون الملابس الخارجة من الآلة جاهزة للطّيّ. يعرف البيركلوروإيثيلين بالبيرك أيضا، وهو آمن نسبيًّا، ولكن له أثرًا طفيفًا في الإصابة بالسرطان، كما يمكن أن يسبب الدّوار للذين يتعاملون به. أمّا البديل الأفضل من البيرك فهو ثاني أكسيد الكربون فوق الحرج.

■ **نقطة فحص**

ما نوع الجذب التي تمسك به جزيئات الصّابون أو المنظّفات، الأوساخ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنْ لم تستطع التّوصّل إلى الإجابة، فلِمَ لا تعيد قراءة السؤال؟ أمامك أربعة خيارات فقط هي: أيون- ثناقطبي، ثناقطبي- ثناقطبي، ثناقطبي – ثناقطبي مستحث، ثناقطبي مستحث- ثناقطبي مستحث. والجواب هو تجاذب ثناقطبي مستحث – ثناقطبي مستحث؛ لأنّ التفاعل هو بين كينونتين غير قطبيتين؛ أي الوسخ والذيل غير المستقطب لجزيء الصّابون والمنظّفات.

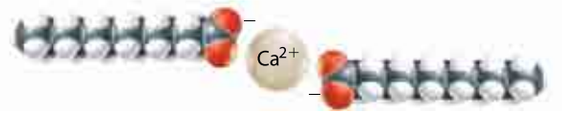
■ 6.16 إزالة عسر الماء

الشّكل 24.16

يتسبب الماء العسر في ترسيب مركبات الكالسيوم والماغنسيوم على السّطوح الداخلية في أنابيب المياه، خاصة تلك التي يجري فيها الماء الساخن.

يسمّى الماءُ الذي يحتوي على كميات كبيرة من أيونات الماغنسيوم والكالسيوم **الماءَ العسر *(Hard water)***. وله العديد من الصّفات غير المرغوبة. مثلًا، عند تسخين الماء العسر، تميل أيونات الماغنسيوم والكالسيوم إلى الارتباط مع الأيونات السالبة الشحنة، كما أنّ وجودها في الماء يشكّل مركبات صلبة، مثل تلك المشاهدة في الشّكل 24.16، وهي تسُدُّ السّخانات والمراجل. كما أنك تجد مركبات الماغنسيوم والكالسيوم تغلّفُ السّطوح الداخلية لإبريق الشاي (لأنّ ذوبانية هذه المركبات تتناقص مع زيادة درجة الحرارة، كما نوقش سابقًا).

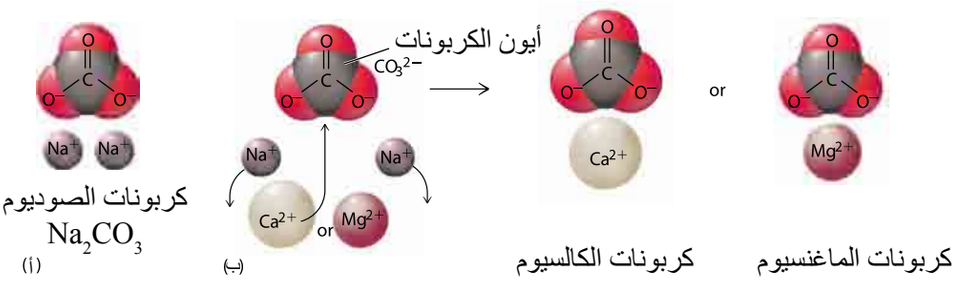
يمنع الماء العسر عمل التنظيف بالصّابون، وعلى نطاق أقلّ المنظّفات. تحمل أيونات الصوديوم في الصّابون وكذلك في المنظّفات شحنة موجبة واحدة، وتحمل أيونات الكالسيوم والماغنسيوم شحنة موجبة 2+ (لاحظ موقعيهما في الجدول الدوري). ينجذب الجزء السالب أكثر من الشحنة – للرأس القطبي لجزيئات الصّابون أو المنظّفات أكثر للشحنة الموجبة الثنائية (2+) للكالسيوم أو الماغنسيوم أكثر من انجذابه إلى الشحنة الموجبة الأحادية لأيونات الصوديوم. وهكذا، تتخلى جزيئات الصّابون والمنظّفات عن أيونات الصوديوم لترتبط انتقائيًّا مع أيونات الكالسيوم والماغنسيوم:



تميل جزيئات الصّابون أو المنظّفات المرتبطة بأيونات الماغنسيوم أو الكالسيوم إلى أنّ تكون غير ذائبة في الماء. وعند خروجها من المحلول، تشكّل زبدًا يبدو كحلقة داخل حوض الحمام. ولأنّ جزيئات الصّابون والمنظّفات مرتبطة مع أيونات الماغنسيوم والكالسيوم، فسوف نحتاج إلى مزيد من الصّابون أو المنظّفات حتى نحافظ على جودة التنظيف.

تحتوي العديد من المنظّفات اليوم على كربونات الصوديوم، Na_2CO_3، المعروفة بصودا الغسل. تنجذب أيونات الكالسيوم والماغنسيوم في الماء العسر لأيون الكربونات بشحنتها السالبة المزدوجة أكثر من انجذابها لجزيء الصّابون أو المنظّفات لشحنته السالبة المفردة. وبارتباط أيونات الماغنسيوم والكالسيوم بأيون الكربونات، كما هو مبين في الشّكل 25.16، يقوم الصّابون أو المنظّفات بما يجب القيام به؛ لأنها تزيل الأيونات التي تجعل الصّابون عسرا. وتسمّى كربوناتُ الصوديوم العاملَ الميسّر للماء.

في بعض البيوت، يكون الماء شديد العسر بحيث يجب تمريره عبر *وحدة إزالة العسر*. في وحدة نموذجية كالتي في الشّكل 26.16، يمرّر الماء العسر عبر خزان كبير معبأ بخرزات صمغية صغيرة لا تذوب في الماء تعرف *بخرز التبادل الأيونيّ*. يحتوي سطح الخرزات على أيونات سالبة الشحنة مرتبطة بأيونات الصوديوم الموجبة الشحنة. تمرّر أيونات الكالسيوم والماغنسيوم فوق الخرزات، تزيح هذه الأيوناتُ أيونات الصوديوم، وبهذا ترتبط بالخرز الصّمغيّ.



الشّكل 25.16
(أ) تضاف كربونات الصوديوم إلى العديد من المنظّفات كعامل ميسّر للماء.
(ب) تفضل الأيوناتُ الثنائية الموجبة للكالسيوم والماغنسيوم في الماء العسر الارتباطَ مع أيون الكربونات الثنائية السالبة، محررة جزيئات المنظّفات لتقوم بالتنظيف.

تستطيع أيونات الكالسيوم والماغنسيوم القيام بذلك لأنّ شحنتها الموجبة (2+) أكبر من شحنة أيونات الصوديوم (1+). وهكذا، تكون أيونات الكالسيوم والماغنسيوم أكثر جذبًا للمواقع السالبة على الصمغة. وتكون المحصلة لكلّ ارتباط أيون ماغنسيوم أو كالسيوم مع الخرز هناك أيونين من الصوديوم متحررين. وبهذه الطريقة *يبدل* الخرز الأيونات. إنّ الماء الذي يخرج من الوحدة لا يحتوي على أيونات كالسيوم أو ماغنسيوم، ولكنه يحتوي على أيونات صوديوم مكانهما.

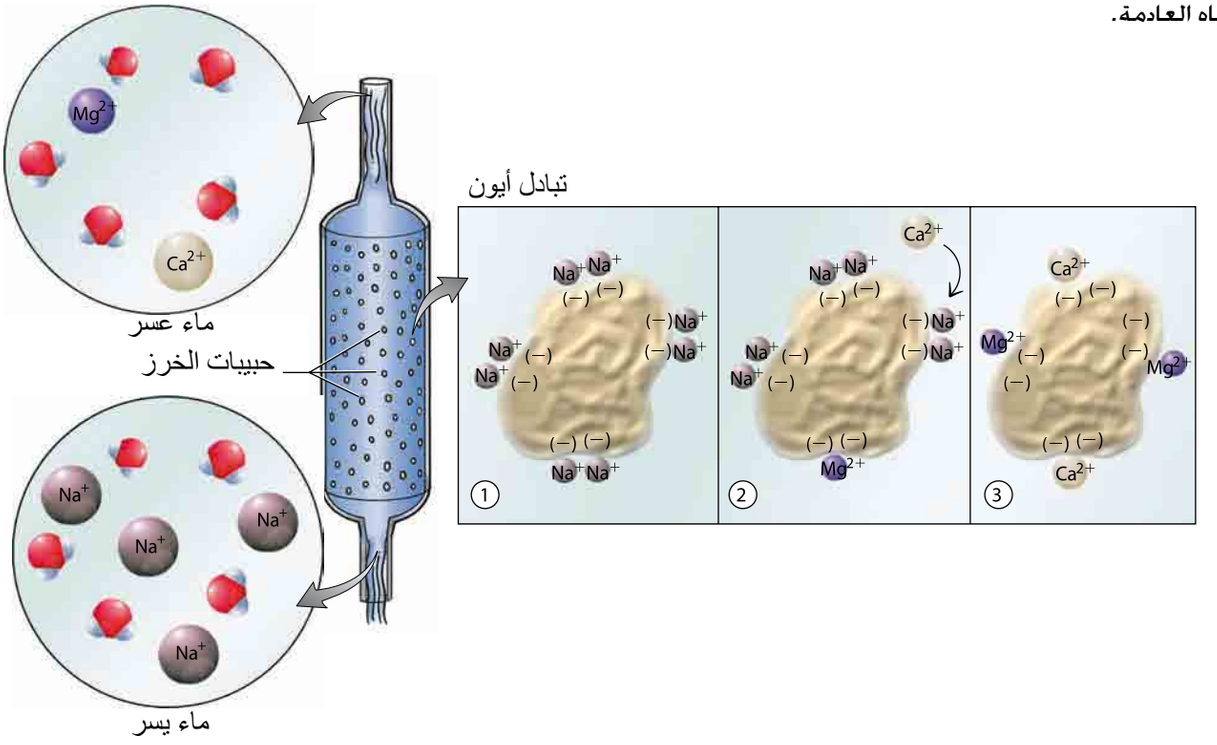
وفي النهاية، تكون مواقع الكالسيوم والماغنسيوم على الصمغ جميعها معبأة. وبذلك إما أن يعاد تعبئة الصّمغ أو أن يُطْرح جانبًا. ويعاد شحنه بغسله بمحلول مركز من كلوريد الصوديوم، NaCl. تزيح أيوناتُ الصوديوم المتوافرة أيوناتِ الكالسيوم والماغنسيوم (*تتبدل* الأيونات مرة أخرى). محررة مواقع الارتباط على الصمغ.

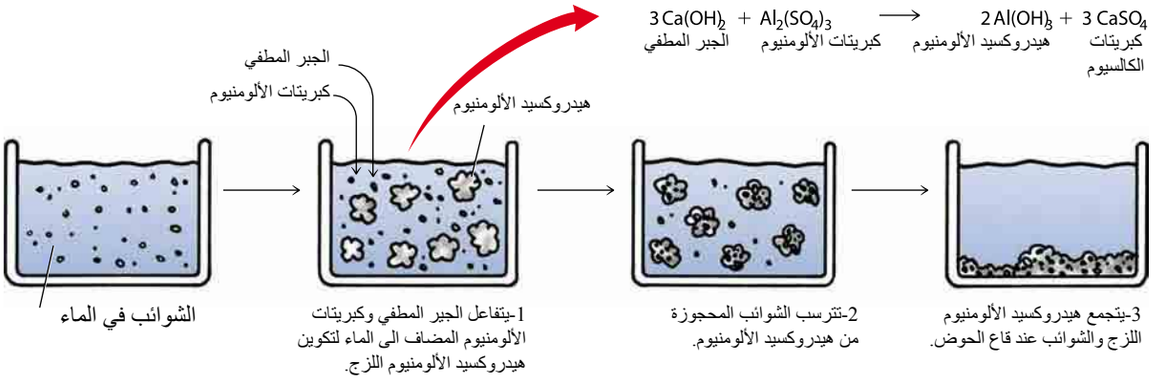
تُزوّد معظم مزيلات عسر الماء الحديثة بعدادات لمعرفة معدل استهلاك الماء. وهذه أفضل طريقة لجهود المحافظة على الماء.

■ 7.16 تنقية الماء الذي نشربه

كما ناقشنا سابقًا، من المستحيل الحصول على ماء نقيّ بنسبة 100%. ولكن، يمكن تنقية الماء ليفي باحتياجاتنا. نقوم بذلك عن طريق الاستفادة من الاختلافات في الخصائص الفيزيائية بين الماء والمواد المذابة فيه والجسيمات التي يحتويها. وسنخصص بقية هذا الفصل للاهتمام ببعض التفاصيل المتعلقة بإنتاج ماء الشّرب، ولمعالجة المياه العادمة.

الشّكل 26.16
(1) تُحتل المواقع السالبة الشحنة على خرزات تبادل؛ أي الأيونات غير المستعملة من أيونات الصوديوم. (2) عند تمرير الماء العسر على الخرزات، تزاح أيونات الصوديوم عن أيونات الكالسيوم والماغنسيوم. (3) عندما تصبح الخرزات مشبعة بأيونات الماغنسيوم والكالسيوم، فستكون غير فاعلة في يسر الماء.





الشّكل 27.16

يتفاعل الجير المطفي، $Ca(OH)_2$ وكبريتات الألومنيوم $Al_2(SO_4)_3$ مع هيدروكسيد الألومنيوم $Al(OH)_3$، وكبريتات الكالسيوم $CaSO_4$، والتي تشكّل مع بعضها مواد لزجة.

إن النقص في مياه الشّرب العذبة من أهم أسباب الموت، خاصة عند أطفال الدول النامية.

يقال للماء الذي يمكن شربه بأمان بأنه *صالح للشرب*. يستخدم الماء الصالح للشرب في الولايات المتحدة حاليًّا لكلّ شيء من الطبخ وحتى غسل الحمامات. إنّ الخطوة الأولى في معظم المرافق العامة في إنتاج مياه الشّرب من المصادر الطبيعية هي إزالة جسيمات الرّمل، أو المُمرِضات، مثل البكتيريا. يمكن عمل ذلك بواسطة مزج الماء بمواد معينة مثل الجير المطفي، وكبريتات الألومنيوم التي تخثرها في مادة هلامية، وهيدروكسيد الألومنيوم الذي ينتشر خلال الماء (الشّكل 27.16). ويتمّ ذلك في الأحواض الرسوبية. إنّ التحريك البطيء يعمل على تجميع المواد المتخثرة وترسيبها إلى قاع الحوض. وعند ترسّب هذه التجمعات المتشكلة، تحمل معها الكثير من الأوساخ والبكتيريا. ثم يرشّح الماء خلال الرّمل والحصى.

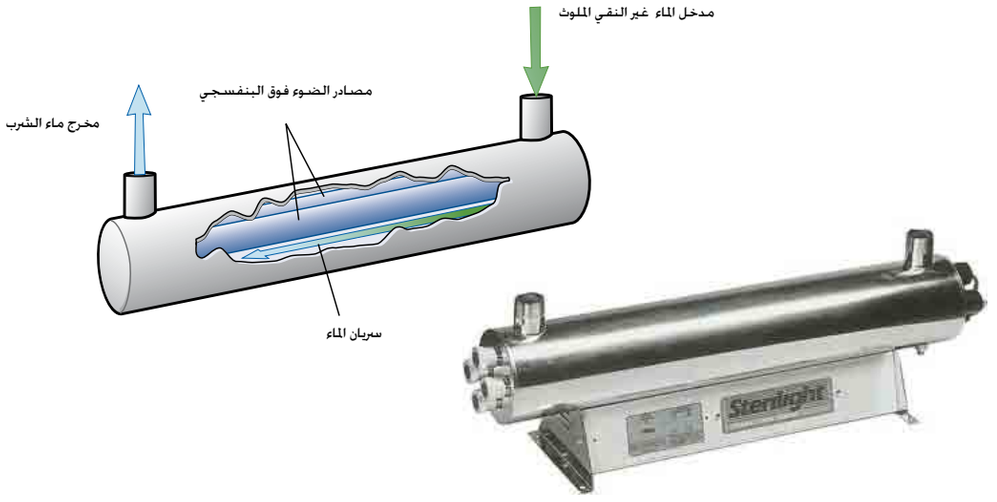
ولتحسين طعم الماء ورائحته؛ تعمل العديد من محطات المعالجة على *إشباع* الماء بالأكسجين، وذلك بتمريره خلال أعمدة من الهواء، كما في الشّكل 28.16. تقوم عملية إشباع الماء بالهواء بإزالة العديد من الروائح الكريهة والمواد الكيميائية المشتعلة مثل مركبات الكبريت. وفي الوقت نفسه، يكتسب الماء طعمًا أفضل بعد إذابة الهواء فيه؛ من دون ذوبان الهواء، لا نكهة لطعم الماء. وكخطوة أخيرة، يعالج الماء بمطهّر، ويكون عادة غاز الكلور، Cl_2، وفي بعض الأحيان الأوزون، O_3، ثم يخزن في برك لتزويد سكان المدينة به.

الشّكل 28.16

تزال الشوائب المتطايرة من ماء الشّرب بدفقه من خلال أعمدة الهواء داخل هذه الأنابيب كلّها.

تملك البلدان المتقدمة التكنولوجيا والبنية التحتية لإنتاج كميات كبيرة من المياه الصالحة للشرب، وكنتيجة، يرى كثير من المواطنين أنّ مياه الشّرب من حقوقهم المسلم بها. ولكن عدد محطات معالجة المياه في الأقطار النامية قليل. في هذه المناطق، يشرب الناس مياههم كمشروبات ساخنة مثل الشّاي الذي يُعقَّم بالغلي، أو باستخدام المواد المُعقِّمة.

أحياناً لا يتوافر الوقود للغلي ولا الأقراص للتعقيم. ولهذا، يموت أكثر من 400 شخص (معظمهم من الأطفال) في العالم كلّ ساعة من الأمراض المعدية، مثل الكوليرا وحمّى التيفوئيد والزّحار، والتهاب الكبد، وجميعها ينتقل عن طريق شرب المياه الملوثة. وعليه، فقد طوّر عدد من المصنعين الأمريكيين أنظمة صغيرة قادرة على تخليص المياه من المُمرِضات (pathogen) وذلك بتعريضها للأشعة فوق البنفسجية التي تقضي عليها. يبين الشّكل 29.16 أحد هذه النماذج وهو معقم ببطارية خلية شمسية تسمح له بالعمل في المناطق النائية.



الشّكل 29.16
وحدة التطهير للماء على مقياس صغير. تحمل مثل هذه الوحدة قيمة عظيمة خاصة في مناطق العالم التي تكون فيها مياه الشّرب شحيحة.

بعيدًا عن المُمرِضات، تحتوي مياه الآبار والأنهار غير المعالجة على عناصر سامة تتسرب إلى منبع الماء من التشكيلات الجيولوجية الطبيعية. فعلى سبيل المثال، يحفر العديد من الآبار العميقة في بنجلادش لتجنب المُمرِضات المنتشرة على سطح الماء في هذه المنطقة. ولكن الماء المأخوذ من هذه الآبار العميقة ملوث بشدة بالزرنيخ الذي هو عنصر يوجد طبيعيًّا في قشرة الأرض. يوجد الزرنيخ تحت الصخور التي تتشكّل من رسوبيات الأنهار المحمولة من الهملايا. ولأنّ هذه المناطق مأهولة بكثافة، حيث يعيش نحو 70 مليون إنسان، فإنّهم معرضون للتسمم بالزرنيخ. ويمكن ملاحظة أثره عبر أضرار الجلد، والقابلية العالية للإصابة بمرض السرطان. إنّ الناس بحاجة ماسة إلى طرق رخيصة التكلفة لإزالة الزرنيخ من مياه الآبار، وإلى اعتراف العالم بهذه المشكلة، وكذلك إلى الدعم السياسي والاجتماعي والاقتصادي للتغلب على هذه المشكلة.

في عام 1990م من القرن الماضي، أجبرت حملةٌ ضد كلورة الماء في البيرو الحكومةَ إلى وقف كلورة ماء الشّرب. وفي خلال أشهر تم تسجيل 1.3 مليون إصابة بالكوليرا، نجم عنها 13,000 وفاة.

■ نقطة فحص

كيف تعمل محطة معالجة المياه التي تنقّي المياه بإضافة كلّ من الجير المطفي، وسلفات الألومنيوم؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يكون الماء الذي يدخل إلى محطة المعالجة خليطًا متجانسًا يحتوي على المواد الصّلبة العالقة. وبإضافة الجير المطفي وسلفات الألومنيوم يتم الإمساك بالمواد العالقة وترسيبها في القعر، حيث يمكن إزالتها بسهولة.

إزالة الملوحة

مع نضوب المصادر الطبيعية للمياه العذبة في العديد من المناطق، هناك اهتمام متزايد بآليات إنتاج مياه عذبة من الخزانات الأرضية العميقة، أو مياه البحر، أو المياه الجوفية قليلة الملوحة. تعمل محطات إزالة *الملوحة* في 120 بلدًا تقريبًا حول العالم بسعة إجمالية تقدر بنحو 16 بليون لتر يوميًّا. إنّ إزالة ملوحة الماء في العديد من مناطق العالم في الكاريبي، وشمال إفريقيا، والشرق الأوسط، هي المصدر الرئيس في المدن (الشّكل 30.16). ويعدّ الماء الذي أزيلت ملوحته المصدر الرئيس للبلديات في الولايات المتحدة. فهناك أكثر من ألف محطة إزالة الملوحة، وبسعة إجمالية أكثر من 400 مليون لتر يوميًّا. تستخدم معظم المياه المعالجة للأغراض الصناعية، وتأتي من المصادر القليلة الملوحة، أو من المياه التي تحتوي على نسبة عالية من المعادن المذابة.

لمعلوماتك

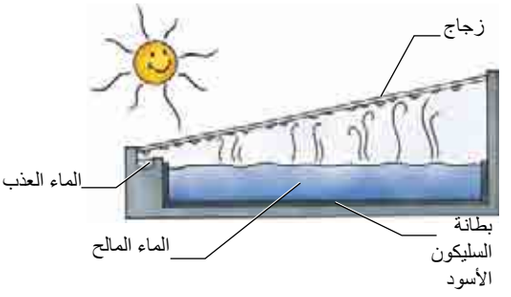
■ لقد كانت مدينة جيرسي أول مدينة في ولاية نيوجيرسي تبدأ بكلورة ماء شربها في عام 1908م. وبحلول عام 1910م، ونتيجة لتنقية ماء الشّرب بالكلور، انخفض معدل الإصابة بالتيفوئيد إلى 20 فردًا لكلّ 100000. وفي عام 1935م، انخفض معدل الوفاة إلى 3 أفراد لكلّ 100000. وفي العام نفسه 1935م، قضى أقلّ من 20 شخصًا بسبب حمى التيفوئيد في أنحاء الولايات المتحدة جميعها.

الشّكل 30.16
تعدّ المملكة العربية السعودية رائدة في إزالة ملوحة الماء. إنّ محطاتها المزيلة للملوحة كتلك التي تظهر هنا، لها طاقة إجمالية تبلغ نحو 4 بلايين لتر يوميًّا.

هناك طريقتان رئيستان لإزالة الملوحة من مياه البحر أو المياه القليلة الملوحة، وهما: *التّقطير والتّناضح العكسيّ*. إنّ هاتين الطريقتين فاعلتان في إزالة العديد من الملوثات الأخرى، مثل المُمرِضات والأسمدة والمبيدات. وهكذا، فإنّ التّقطير والتّناضح العكسيّ يستخدمان أيضًا لتنقية المياه العذبة الطبيعية. ومثال هذا العديدُ من شركات المياه التي تعبئ المياه العذبة المعالجة في زجاجات بالتّقطير أو بالتّناضح العكسيّ.

يتضمن التّقطير تبخير الماء بالحرارة، ثم تكثيف البخار إلى ماء سائل نقي. (الجزء 1.16) ينتج أكثر من 60% من المياه الأرضية المزالة الملوحة باستخدام هذه الطريقة. ولأنّ حرارة التبخير للماء عالية فإنّ هذه الطريقة مكلفة للطاقة. لذا، تقوم معظم محطات تقطير الماء اليوم بحرق كميات كبيرة من الوقود الأحفوري، ولكن لسوء الحظ، تنتج كميات هائلة من الملوثات بالنسبة إلى حجم الماء العذب المنتج. أمّا المقطرات الشمسية فتتجنب حرق الوقود، ولكنها تتطلب مساحة تقدّر بنحو 1م^2 لإنتاج 4 لترات من الماء العذب في اليوم، كما يبين الشّكل 31.16. يمكن اعتبار مساحة السّطح لمنزل واحد أو لقرية صغيرة. أمّا المدن الكبيرة المساحة، حيث تكون الأرض المفتوحة الفارغة نادرة، فإنّ التّقطير الشّمسيّ غير عمليّ خاصة إذا أخذنا في الحسبان تكاليف الصيانة للعديد من هذا النوع من المقطرات.

في العديد من المناطق، تفضل طريقة *التّناضح العكسيّ* لإزالة ملوحة الماء. ولكي تفهم التّناضح العكسيّ، يجب عليك فهم التّناضح أولا. يتضمن التّناضح **غشاءً شبه نفّاذ *(Semi permeable membrane)*** يحتوي على ثقوب دون مجهرية تسمح بمرور جزيئات الماء

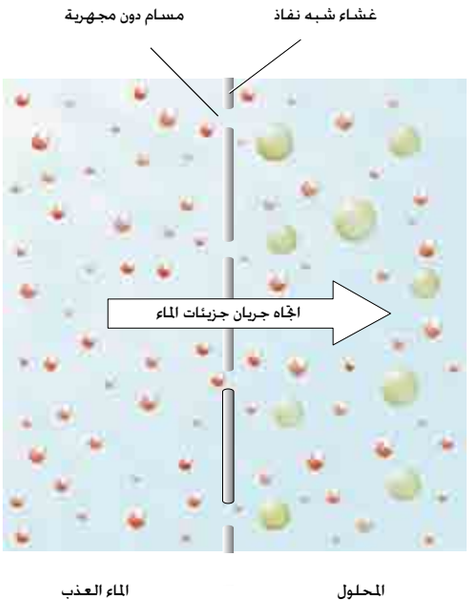


الشّكل 31.16
محطات التّقطير الشمسية مشهورة في المجتمعات النائية على طول حدود تكساس – نيومكسيكو، حيث إنّ الماء من حوض غراندي مالح، إضافة إلى طرح الكيميائيات الزراعية من الري.

ولكن ليس الأيونات المذابة الكبيرة أو الجزيئات المذابة. عندما نفصل كمية ماء عذب عن كمية ماء مالح بحاجز شبه نفاذ، فإنّ جزيئات الماء العذب تنتقل إلى الجزء المالح من الماء بمعدل سرعة أكبر من معدل الانتقال من الماء المالح إلى الماء العذب. والسبب في ذلك وجود جزيئات ماء على جانب حاجز الماء العذب أكثر من جزيئات الماء على جانب الحاجز من الماء المالح. كما في الشّكل 23.16. تسمّى محصلةُ انتقال جزيئات الماء عبر الغشاء شبه النّفاذ إلى الجانب الأكثر تركيزًا **التّناضحَ *(Osmosis)***.

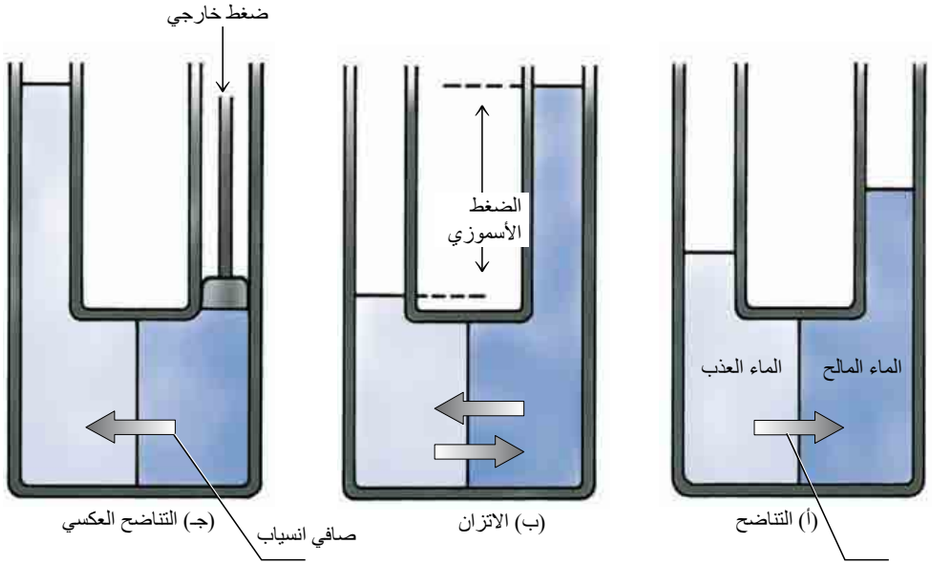
إنّ نتيجة التّناضح هي زيادة حجم الماء المالح ونقص حجم الماء العذب. وفي المقابل، فإنّ التغيرات في الحجم تسمح بزيادة الضغط، والذي يسمّى *الضغطَ التّناضحيّ*. إنّ الضّغط الأسموزي في الشّكل 33.16أ هو نتاج زيادة ارتفاع الماء المالح. وعند زيادة الضغط التّناضحي يزداد معدل انتقال جزيئات الماء من جانب المياه المالحة إلى جانب المياه العذبة. تكون جزيئات الماء في الجانب المالح مضغوطة عبر الغشاء بضغط التّناضح. وفي النهاية، يتساوى معدل انتقال جزيئات الماء بين الجانبين، ونصل إلى حالة اتزان. كما في الشّكل 33.16ب. إذا طبقنا ضغطًا خارجيًّا على الماء المالح، تنضغط جزيئات ماء أكثر عبر الغشاء من الجانب المالح إلى جانب المياه العذبة، كما في الشّكل 33.16ج. إنّ إجبارَ الماء على الانتقال عبر غشاء شبه نفاذ من المحلول الأكثر تركيزًا إلى المحلول الأقلّ تركيزًا - يسمّى **التّناضحَ العكسيّ *(Reverse osmosis)***. وكما نرى فإنّ التّناضح العكسيّ هو آلية لإنتاج مياه عذبة من المياه المالحة.

إنّ الضغط التّناضحيّ للمياه المالحة كبير جدًّا؛ 24.8 ضغط جوي (365 psi). ولإنتاج ضغط أكبر من هذا الضغط؛ نحتاج إلى التغلب على بعض المشاكل الفنية، إضافة إلى زيادة استهلاك الطاقة. ومع ذلك، فقد استطاع المهندسون بناء وحدات توليد ضغط تناضحي قوي، كما في الشّكل 34.16، والتي يمكن ربطها معا لإنتاج ماء عذب من المياه المالحة بمعدل ملايين الجالونات في اليوم. إنّ محطات إزالة الملوحة بالتّناضح العكسيّ للمياه القليلة الملوحة، وتتطلب توليد ضغوط خارجية قليلة جدًّا مناسبة واقتصادية.



الشّكل 32.16

الأسموزية. تسمح المسامات دون المجهرية للأغشية شبه النّفّاذة فقط لجزيئات الماء بالعبور. بسبب وجود جزيئات الماء بكثرة على طول وجه الغشاء من جانب المياه العذبة أكثر من وجه المحلول، هناك جزيئات ماء متوافرة للانتقال إلى المحلول أكثر من المتوافرة للانتقال إلى المياه العذبة.

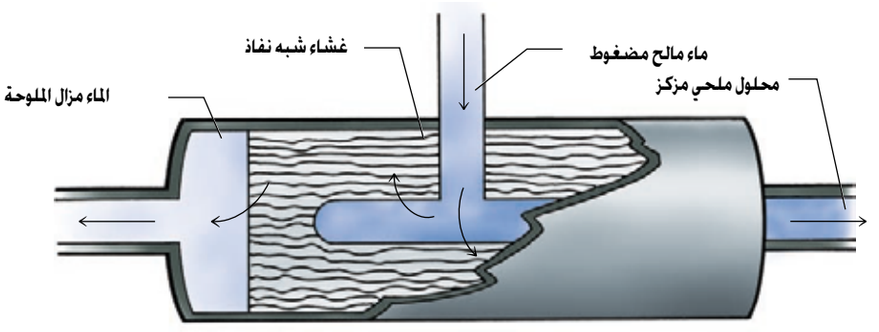


الشّكل 33.16

(أ) ينتج التناضح عن كميات كبيرة من الماء المالح الذي يتسبب في زيادة الضغط على الجانب المالح من الغشاء. (ب) عندما يزيد الضغط على الجانب المالح من الغشاء على حدّ معين، ينتقل عدد متساوٍ من جزيئات الماء في كلا الاتجاهين. (جـ) يجبر تطبيق الضغط الخارجي جزيئات الماء على الانتقال من جانب الماء المالح إلى جانب الماء العذب. وهكذا، فإنّ معدل الانتقال من المالح إلى العذب يزيد على معدل الانتقال من العذب إلى المالح.

الشّكل 34.16

تتكون وحدة الضغط الأسموزي العكسيّ الصناعية من عدة أغشية شبه نفاذة مرصوصة حول الماء المركز الملوحة. يدفع الماء المزال الملوحة إلى أحد الجوانب، أما الماء المالح المتبقي، والذي يصبح أكثر تركيزًا فيكون موجودا على الجانب الآخر. يمكن لشبكة من وحدات الأسموزية العكسيّة أن تعمل معًا بالتوازي معًا لإنتاج كميات هائلة من الماء العذب من الماء المالح.



■ **نقطة فحص**

الأغشية البيولوجية، بما فيها أغشية الخيار، شبه نفاذة. وعند وضع محلول ملحي يصغر حجمه. هل هذا مثال على التّناضح أم التّناضح العكسيّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا يوجد هنا ضغط خارجي، مما ينفي التّناضح العكسيّ. بدلًا من ذلك، يدلّ ذبول الخيار على فقدان خلايا الخيار للماء إلى الماء المالح المركز. وهذا تناضح، حيث تنتقل جزيئات الماء عبر الغشاء شبه النّفاذ إلى المناطق الأكثر تركيزا بالملح. إذا أضفت بعض التوابل وبعض الأنواع الصحيحة من الكائنات الدقيقة، فستحصل على مخلّل.

الماء المعلّب

إنّ مياة البحر المحلاّة، القليلة الملوحة مصادرُ جديدة ومهمة للمياه العذبة. وعلى الرّغم من أنّ هذه المياه العذبة أكثر تكلفة من مياه المصادر الطبيعية العذبة إلا أنه يمكن القول عندئذ إنّ هذه التكلفة تعكس القيمة الحقيقية للمياه العذبة. في الولايات المتحدة، تتوافر المياه العذبة بكميات هائلة، مما يسمح للشركات ببيع الماء بسعر يقلّ عن قرش (بنس) للتر الواحد. ومع ذلك، فإنّ المستهلكين مستعدون لدفع ما يقارب دولارين لكلّ لتر من الماء المعبأ في زجاجات! ينفق الأمريكيون في كلّ عام نحو 400 مليون دولار في العام على الماء المعبأ في زجاجات، كما أنّ السوق ينمو بسرعة كبيرة. ومن السهل التنبؤ بالاعتماد المتزايد على التّقطير والتّناضح العكسيّ.

في عام 2005م تم بيع 100 بليون لتر من الماء المعلب في العالم، ولكن معظمه في الدول المتقدمة، حيث إنّ ماء الصّنبور هناك صالح للشرب. من الصعب تقدير كمية الطاقة المستهلكة في عمليات نقل المياه المعبأة في علب من مصادرها إلى المستهلكين، ولكن بسبب أنّ الماء كثيف فإنّ التكلفة عالية دون شك. وعلى افتراض أننا نحتاج إلى 100 مللتر من الجازولين لنقل لتر واحد من الماء في علبة، فهذا يعني انبعاث نحو 25 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون في العالم، دون ذكر الملوثات الأخرى. بينت الدراسات أنّ 20% تقريبًا من علب مياه الشّرب يعاد تدويرها. وفي كاليفورنيا وحدها، يرمى نحو بليون علبة مياه في المهملات سنويًّا. ويمكن صناعة 74 مليون قدم مربع من السجاد من بلاستيك هذه العلب. لذا، يجب على الأفراد الذين يشربون المياه المعبأة في علب إدراك الثمن البيئي الضخم لذلك.

تتضاعف الجهود للتغلب على الأضرار البيئية المتعددة لعلب المياه، والحدّ من التكلفة العالية التي تبلغ حتى 1000 مرة تكلفة الماء في الصنابير، ومن ذلك تركيز العديد من مسوّقي مياه العلب على الفوائد الثانوية لمنتجاتهم. وهذا يتضمن الأكسجين المذاب، كما يظهر في الجدول 1.16

الشّكل 35.16

إن كربنة الماء بنفسك ليس فقط ممتعًا، بل أوفر وأفضل بيئيًا من شراء الصّودا من المتاجر.

ليس أكثر من 0.0083 جم/لتر عند درجة حرارة الغرفة. وللمقارنة، فإنّ النَّفَس الواحد من الهواء يحتوي على 100 مرة من كمية الأكسجين الموجود في نصف لتر من الماء "المشبع بالأكسجين". والأكثر من ذلك، أنّ معظم الغازات المتجمعة في القناة الهضمية تخرج مع الفضلات، على افتراض أنك لم تتجشأ. والأسوأ من ذلك الادعاء بأنّ المياه المعلبة تحتوي على ماء "فاعل" يُعَدَّل تركيبه باستخدام "طاقة خفية" لجعله أكثر تغذية. لا يمكن الكشف عن الطاقة الخفية بالطبع بالعلوم الحالية، ولكن أثرها في صحتك يمكن أن يكون كبيرًا؛ فيا أيّها المستهلك انتبه!

معظم الماء المعبأ في العُلب المبيعة اليوم هو ماء بلديات منقى بالتّناضح العكسيّ. لقد اكتشف معظم الناس أنَّ استخدام وحدات تناضح عكسي في بيوتهم أقلّ تكلفة، وأقلّ ضررًا على البيئة. وللدعابة، يمكنك تركيب آلة صودا، ليصبح لديك نافورة صودا، كما في الشّكل 35.16.

■ 8.16 معالجة المياه العادمة

يجب معالجة محتويات أنظمة الصّرف الصّحيّ التي تقع ضمن نطاق معظم البلديات قبل التخلص منها بإطلاقها إلى الأنهار والمحيطات. يعتمد مستوى المعالجة على الجهة التي يوجّه الماء إليها فيما إذا كانت نهرًا أو محيطًا. فإذا كانت وجهة المياه العادمة نهرًا، فإنّ معالجتها تتطلب أعلى درجات الحرص حفاظًا على مصلحة الناس والمجتمعات في اتجاه مجرى النهر. أمّا في المحطات المحاطة ببحار عميقة، كما في حالة المحطة الظاهرة في الشّكل 36.16 فإنّ متطلبات المعالجة تكون أقلّ صرامة.

تفقد المخلفات البشرية مكوناتها حين تصل إلى محطة معالجة المياه العادمة، وتبدو المياه العادمة كسيل رماديّ بنيّ. ولكن يوجد في هذا السيل العديد من المنتجات غير الذائبة، بما فيها المواد البلاستيكية الصغيرة، مثل سدادات الزّجاجات والمواد الرّملية، والمواد الوسخة، مثل مخلفات القهوة والرّمل. كما توجد كرات دهنية صلبة من مخلفات زيوت الطبخ. وعليه، فإنّ الخطوة الأولى في معالجة المياه العادمة هي في غربلة هذه المواد غير الذائبة. (يجب أن تعلم أنّ خبراء معالجة المياه العادمة يشيرون إلى أنه يجب التعامل مع هذه المواد غير الذائبة بما فيها دهون مخلفات الطهي، يجب أن تصرّف كمخلفات صلبة، لا أن تمرّر عبر المصارف أو ترمى بالحمامات).

إنّ المستوى الثاني من معالجة المياه العادمة في البلديات بعد الغربلة هي المعالجة الرئيسة. في المعالجة الرئيسة، يدخل الماء المُعالَج بعد الغربلة إلى حوض ترسيب كبير لترسيب المواد الصّلبة كوحل (الشّكل 37.16). وبعد فترة زمنية، يُزال الوحل من قعر الحوض ويرسل مباشرة- على الأغلب- إلى مكاب المخلفات الصّلبة. بعض المحطات مزودة بأفران كبيرة تجفّف الوحل وتحرقه، أحيانا مع بعض المخلفات من البلديات مثل منتجات الورق. أمّا الرماد الناتج فيكون أكثر تراصًّا، ولا يحتاج إلى مساحة أرضية كبيرة.

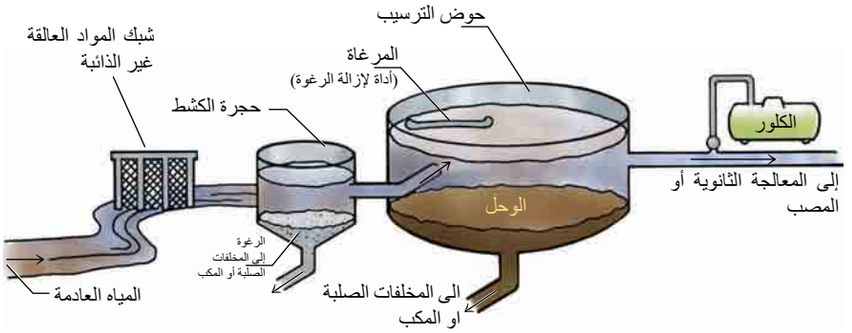
يعقّم الماء المعالج المتدفق من المعالجة الرئيسة، وكذلك بمستويات أعلى من المعالجة إما بغاز الكلور أو بالأوزون قبل إطلاقه للبيئة. ومن الميزات المهمة لاستخدام غاز الكلور هو بقاؤه لفترة طويلة حتى بعد خروجه من المحطة. وهذا يزوده بحماية إضافية ضد الأمراض. ولكن، يتفاعل الكلور مع كثير من المركبات العضوية في الماء المعالج ليكون مركبات الكلور- كربون الهيدروجين، (العديد منها تسبب السرطانات). إضافة إلى أنّ الكلور يقتل البكتيريا فقط، ويُبقي على الفيروسات دون القضاء عليها. أمّا الأوزون ففوائده أكثر؛ لأنّه يقتل كلًا من البكتيريا والفيروسات.

لمعلوماتك

■ الماء الموجود في الطبيعة مليء بالبكتيريا التي تحطم المركبات العضوية. إنّ البكتيريا الهوائية تحلل المواد العضوية في وجود الأكسجين، O_2، محولة المواد العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون العديم الرائحة، وماء، ونترات، وكبريتات. تحلل البكتيريا اللاهوائية المواد العضوية في غياب الأكسجين، منتجة الميثان، والذي هو غاز قابل للاشتعال، وله رائحة النيتروجين والمركبات المحتوية على الكبريت الكريهة. تعود الرائحة القذرة للبالوعة إلى نقص الأكسجين المذاب ونواتج التحليل غير الهوائيّ.

الشّكل 36.16

في هونولولو، حيث يتدفق نحو 280 مليون لتر من المياه العادمة عبر عدة محطات لمعالجة المياه العادمة كل يوم. يُضخّ هذا الماء إلى أعماق مئات الأمتار تحت سطح البحر، وهكذا يستمر في الانسياب نحو قعر المحيط. تكون شروط معالجة المياه العادمة أقلّ صرامة من تلك التي على اليابسة بالكامل، حيث ليس من السهولة استبعاد المياه العادمة.



الشّكل 37.16
رسم تخطيطي للمستوى الأول من معالجة المياه العادمة. تزيل المرغاة (Skimmer) الدوارة في حوض التّرسيب المواد الطافية وغيرها من الأشياء التي لم تُمسك بعملية الغربلة.

إضافة إلى أنه لا يسبب السرطان. ولكن لا توجد حماية إضافية للمياه المعالجة بالأوزون بعد أخذه خارج المحطة. إنّ معظم محطات المعالجة في الولايات المتحدة تستخدم الكلور، في حين تفضل المحطات الأوربية المعالجة بالأوزون. ولكن بعض المحطات تستعمل الأشعة فوق البنفسجية القاتلة بدلًا من الكلور والأوزون. وهذه الأشعة كالأوزون تقتل كلًّا من البكتيريا والفيروسات، ولكنها لا تضيف حماية إضافية.

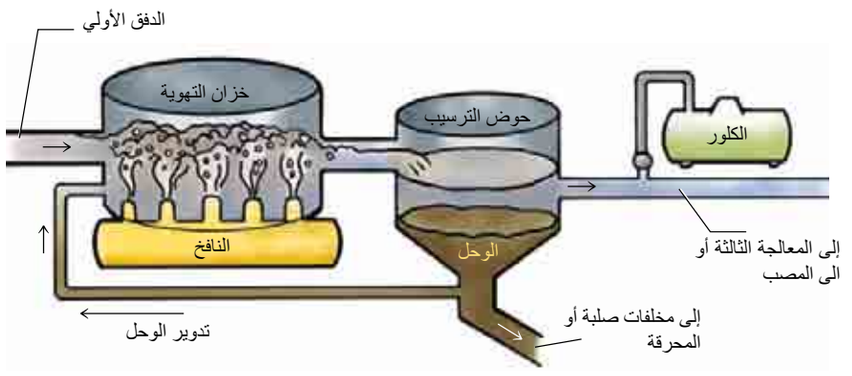
إنّ إمكانية نمو المُمرِضات في المياه المعالجة كبيرة جدًّا. وبمقتضى قانون المياه النظيفة لعام 1972م، يمنع تدفق المياه المعالجة الأساسية في معظم المناطق. غالبًا ما يستخدم المستوى الثاني من المعالجة كما هو موضح في الشّكل 38.16. حيث يمرّ الماء المتدفق بعد المعالجة الأولى إلى خزان مشبع بالهواء (الأكسجين). وهذا يزوده بالأكسجين الضروري لاستمرار عملية تحليل المواد العضوية بالبكتيريا المعتمدة على الأكسجين، والمعروفة بالبكتيريا الهوائية. ثم يُرسل الماء الناتج إلى خزان، حيث تُزال الجسيمات الدقيقة التي لم تُزل في المعالجة الأساسية. وبسبب وجود البكتيريا الهوائية بشكل كبير في الوحل المترسب من هذه الخطوة، يُعاد تدويرها هذه المرة إلى الخزانات المشبعة بالأكسجين لزيادة الفاعلية. يُرسل الوحل المتبقي إلى قلب النُّفايات أو إلى المحارق.

إنّ العديد من مجالس البلديات يتعامل مع المستوى الثالث من معالجة المياه العادمة، والتي تدعى المعالجات *الثالثية*. حيث تتضمن معظمها الترشيح بطريقة ما. الطريقة المعتادة هي تمرير الماء، ومعظم الجسيمات المادية والعديد من الجزيئات العضوية التي بقيت من المراحل الأولى. إنّ مزايا معالجة المستوى الثالثي هي زيادة حماية المصادر المائية. ولسوء الحظ، فإنّ المعالجة على المستوى الثالثي مكلفة، ولا تستخدم- على الأغلب- إلا إذا كانت ضرورية. أما المعالجتان الأولى والثانية وهما مكلفتان أيضًا.

لمعلوماتك

■ تغسل 80% من حمامات هونج كونج تقريبًا بماء البحر. لقد طُوّر هذا النظام منذ عام 1960م، وقام بتوفير ما يعادل 25% من استهلاك المياه العذبة. كما أعيد استخدام الماء الناتج عن استخدامات المياه العذبة، كالاغتسال البشري وتنظيف الأطباق، في ريّ أشجار البلدية وغيرها من الاستعمالات الأخرى التي ليست للشرب.

في منازل المناطق النائية، كالأكواخ الصيفية، يستخدم العديد من الناس حمامات لا تُستخدم فيها الماء. بدلًا من ذلك، تتحلل المخلفات البشرية هوائيًّا في وجود الأكسجين، وذلك نتيجة التهوية للمخلفات التي تدفن في مستنقع وحل. يستخدم الخليط الجاف العديم الرائحة والذي يزال كلّ بضعة أشهر كسماد للحدائق.



الشّكل 38.16
رسم تخطيطي للمعالجة الثانية للمياه العادمة من أنظمة البلدية.

■ **اختبر معلوماتك**

ميّز بين الوظائف الرئيسة للمعالجات الأولى والثانية والثالثة للمياه العادمة.

هل كانت هذه إجابتك؟

تزيل المعالجة الأولى للمياه العادمة المخلفات الصّلبة الكبيرة. والوحل من المصارف باستخدام أجهزة غرابيل وأحواض كبيرة. أمّا المعالجة الثانية فتقلل من حاجة المياه المتدفقة إلى الأكسجين عن طريق التهوية. في حين تزيل المعالجة الثالثة المُمرِضات والمخلفات التي لم يتمّ التخلّص منها في المعالجتين السابقتين بترشيح المياه المتدفقة عبر كرات دقيقة من الكربون أو غيرها من الجسيمات الدقيقة.

ملخّص المصطلحات

الخليط Mixture: اتحاد بين مادتين أو أكثر، تحتفظ كلّ مادة بخصائصها.

التّقطير Distillation: عملية تنقية، حيث تكثّف المادة بعد تبخيرها بتمريرها إلى درجات حرارة باردة في دورق، ثم يجمع السّائل المكثّف النّقيّ.

نقيّ Pure: مكون من تركيب منتظم، أو دون شوائب. يدل هذا المصطلح في الكيمياء على مادة مكونة من عنصر واحد أو مركب واحد.

غير نقيّ Impure: يشير هذا المصطلح في الكيمياء إلى أنّ المادة الخليط مكونة من أكثر من عنصر أو مركب.

خليط غير متجانس Heterogeneous mixture: خليط يمكن اعتبار مكوناته المختلفة مواد مفردة.

خليط متجانس Homogeneous mixture: خليط تكون مكوناته ممزوجة بدقة بحيث يكون التركيب نفسه (متجانسًا) في أجزائه جميعها.

المحلول Solution: خليط متجانس حيث يكون لمكوناته جميعها الطور نفسه.

المعلّق Suspension: خليط متجانس لا تكون مكوناته المختلفة في الطور نفسه.

المذيب Solvent: مُكوِّن المحلول لا يكون مذيبا.

مذاب Solute: أي مادة في المحلول غير المذيب.

الإذابة Dissolving: عملية مزج المذاب في مذيب لإنتاج خليط متجانس.

محلول مشبع Saturated solution: محلول يحتوي على الكمية العظمى من المذاب الذي يمكن إذابته في المذيب.

محلول غير مشبع Unsaturated solution: المحلول الذي يستطيع إذابة كمية إضافية من المذاب.

التّركيز Concentration: مقياس كمّيّ لكمية المذاب في المحلول.

المول Mole: أيّ كمية من المادة النقية التي تحتوي على عدد من الذرات، أو الجزيئات، أو الأيونات، أو أيّ وحدات أساسية تساوي عدد الذرات في 12 غم من الكربون-12. وهذا العدد يساوي 6.02×10^{23} جسيم.

المولارتي Molarity: وحدة قياس التركيز، وتساوي عدد المولات المذابة في المحلول.

ذائب soluble: قابل للذوبان في مذيب معين إلى حدٍّ ما.

الذوبانيّة Solubility: مقدرة المُذاب على الذوبان في مُذيب معين.

غير قابل للذوبان Insoluble: عدم القدرة على الذوبان بأيّ كمية ملموسة في مذيب معين.

التّرسيب Precipitate: المذاب الذي يخرج من المحلول.

عسر الماء Hard water: الماء الذي يحتوي على كميات كبيرة من أيونات الكالسيوم والماغنسيوم.

غشاء شبه نفاذ Semipermeable membrane: الغشاء الذي يسمح فقط بمرور جزيئات صغيرة تلائم فتحات المسامات دون المجهرية.

التّناضح Osmosis: انتشار الماء أو بعض السّوائل الأخرى عبر غشاء شبه نفاذ من محلول له تركيز مذاب منخفض إلى محلول له تركيز مذاب أعلى.

التّناضح العكسيّ Reverse osmosis: آلية لتنقية الماء لإجباره على المرور عبر غشاء شبه نفّاذ.

أسئلة مراجعة

1.16 معظم المواد مخاليط

1. ما الذي يشير إلى أنّ مادة ما خليط؟
2. كيف يمكن فصل مكونات الخليط بعضها عن بعض؟
3. كيف يستطيع التّقطير فصل مكونات الخليط؟

2.16 تصنيف الكيميائيين للمادة

4. لماذا من غير العملي الحصول على عينة جاهزيّة بنقاوة 100%؟
5. كيف يختلف المحلول عن التّعليق؟
6. كيف يمكن تمييز المحلول عن التّعليق؟

3.16 المحاليل

7. ماذا يحدث لحجم من محلول السّكّر عند إذابة كمية إضافية من السّكّر فيه؟
8. لماذا تعدّ الياقوتة محلولًا؟
9. ميز بين المذاب والمذيب؟
10. ماذا يعني أنّ المحلول مركز؟
11. هل يعدّ المول الواحد من الجسيمات عددًا كبيرًا أم صغيرًا؟

4.16 الذوبانية

12. ما الطرائق التي تتجاذب بها جزيئات الإيثانول وجزيئات الماء بعضها مع بعض؟
13. ماذا يعني أنّ مادتين تذوب إحداهما في الأخرى إلى ما لانهاية؟
14. ما نوع الجذب الكهربائي المسؤول عن قدرة الأكسجين على الذوبان في الماء؟
15. لماذا تتناقص ذوبانية الغاز في السّائل المذيب مع زيادة درجة الحرارة؟

5.16 الصّابون والمنظّفات

16. أيّ جزء من جزيء الصّابون غير قطبي؟
17. بأيّ نوع من الجذب الكهربائي يتجاذب الصّابون مع الماء؟
18. على الأغلب،بأيّ نوع من الجذب الكهربائي تتجاذب جزيئات الأوساخ معًا؟
19. ما الفرق بين الصّابون والمنظف؟

6.16 إزالة عسر الماء

20. ما مكون الماء العسر الذي يجعله عسرًا؟
21. لماذا تنجذب جزيئات الصّابون لأيونات كلّ من الماغنسيوم والكالسيوم؟
22. تنجذب أيونات كلّ من الكالسيوم والماغنسيوم لكربونات الصوديوم أكثر من انجذابها إلى الصّابون. لماذا؟

7.16 تنقية الماء الذي نشربه

23. لماذا يُعرَّض الماء المعالج للهواء قبل تزويد الناس به؟
24. اذكر طريقتين يستخدمهما الناس لتطهير المياه في المناطق التي لا توجد فيها وسائل معالجة البلديات؟
25. ما العنصر الموجود طبيعيًّا، والذي لوّث مستودعات مياه بنجلادش؟
26. ما الطريقتان الرئيستان لإزالة ملوحة الماء؟
27. اذكر سلبية واحدة للتقطير الشّمسيّ؟

8.16 معالجة المياه العادمة

28. لماذا تكون متطلبات معالجة المياه العادمة في هاواي أقلّ صرامة من معظم المحطات في وسط الولايات المتحدة؟
29. ما الخطوة الأولى في معالجة الصّرف الصّحيّ الخام؟
30. ما مصادر الطّاقة المستخدمة في تهوية المياه العادمة في أنظمة البرك المتقدمة المتكاملة؟

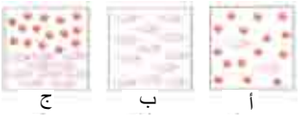
تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● صنّف ما يلي على أنها (أ) خليط متجانس. (ب) خليط غير متجانس. (جـ) عنصر. (د) مركب:
الحليب ---------- الفولاذ ---------- ماء المحيط ----------
الدم ----------
الصوديوم ---------- كوكب الأرض ----------.

2. ■ أي الصناديق الآتية يحتوي على عنصر، مركب، خليط؟ ما مجموع الأنواع المختلفة من الجزيئات مبين في الصّناديق الثلاثة؟

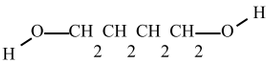
3. ■ كيف يمكنك فصل خليط من الرمل والملح، وخليط آخر من الحديد والرمل؟
4. ● يمكن فصل مكونات الخليط بالاستفادة من الفروق في الخصائص الكيميائية للمكونات. لماذا تكون هذه الطريقة في الفصل أقلّ سهولة من الاستفادة من الفروق في الخصائص الفيزيائية لهذه المكونات؟
5. ■ لماذا لا يمكن فصل عناصر المركب بعضها عن بعض بطرق فيزيائية؟
6. ● كيف يمكن تمييز المحلول عن التعليق؟



7. ■ أيّ الأشكال أعلاه يمثّل التّعليق على نحو أفضل؟
8. ■ أيّ الأشكال أعلاه يمثّل المحلول على نحو أفضل؟
9. ■ أيّ الأشكال أعلاه يمثّل المركّب على نحو أفضل؟
10. ● تدعم العديد من الحبوب الجافة بالحديد، والذي يضاف إلى الحبوب على شكل جسيمات حديد صغيرة. كيف يمكن فصل هذه الجسيمات عن الحبوب؟
11. ■ فسّر سبب نقصان ذوبانية المواد الثلاث التالية في الماء عند درجة حرارة 20°س وذلك عندما تصبح الجزيئات أكبر، مع ارتفاع درجة الغليان:

المادة	درجة الغليان/ الذوبان
$CH_3—O—H$	65°س لانهائي
$CH_3CH_2CH_2CH_2—O—H$	117°س 8جم/100مللتر
$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2—O—H$	138°س 2.3جم/100مللتر

12. ♦ درجة غليان 1،4 البيوتانديول هي 230°س. هل تتوقع أن يذوب هذا المركب في الماء عند درجة حرارة الغرفة أم لا يذوب؟ فسّر.



4,1بيوتانديول

13. ● علام يحتوي ماء الصنبور والماء المقطر بالإضافة إلى الماء؟
14. ● لماذا تنخفض ذوبانية الأكسجين في الماء؟
15. ● لماذا تقل ذوبانية الغاز في السّائل مع زيادة درجة الحرارة؟
16. ● على أساس الحجم الذري، أيهما تتوقع أن تكون ذوبانيته أعلى في الماء: الهليوم، He، أم النيتروجين، N_2؟
17. ■ إذا ضخّ النيتروجين إلى رئتيك بضغط عالٍ، فماذا يحدث لذوبانيته في دمك؟
18. ■ يضغط الهواء الذي يتنفسه الغطاس ذو الرئة المائية لمعادلة ضغط الماء المحيط بجسمه. يتسبب التنفس بالهواء المضغوط في ذوبان كميات إضافية من النيتروجين في الأجسام المائعة، وخصوصًا في الدم. إذا ارتفع الغطاس إلى السّطح بسرعة عالية، فإنّ فقاقيع النيتروجين الخارجة من موائع الجسم (مثل خروج ثاني أكسيد الكربون من علبة الصّودا عند فتحها). تسبب ألمًا، وربما حالة مرضية مميتة تعرف *بالثني*؟ لماذا يساعد تنفس خليط من الهيليوم والأكسجين بدلًا من الهواء، الغطاسين على تجنب حصول الثني؟
19. ● لماذا تكون ذوبانية الغازات النبيلة في الغازات النبيلة الأخرى بلا نهاية؟
20. ■ لماذا يكون للأكسجين بعض الذوبانية في الماء؟
21. ● ميز بين المحلولين: المشبع وغير المشبع.
22. ■ عند درجة 10°س، أيهما أكثر تركيزًا: محلول مشبع من نترات الصوديوم، $NaNO_3$، أم محلول مشبع من كلوريد الصوديوم، NaCl؟ (انظر الشّكل 20.16)
23. ■ يتمدد حجم العديد من السّوائل المذيبة مع زيادة درجة الحرارة. ماذا يحدث لتركيز محلول مكوّن من هذه المذيبات عند زيادة درجة حرارة المحلول؟
24. ● ما العلاقة بين التّرسيب والمذيب؟
25. ■ يكون كلوريد الهيدروجين، HCl، غازًا عند درجة حرارة الغرفة. هل تتوقع أن تذوب هذه المادة بقوة في الماء؟
26. ■ هل تتوقع وجود أكسجين ذائب في مياه المحيط عند القطب الشمالي أكثر مما هو عند خط الاستواء؟ لماذا؟
27. ■ ما مدى ضرورة الصّابون لإزالة الملح عن يديك؟ لماذا؟
28. ■ عندما تضع ماء صنبور في وعاء فوق الفرن ليغلي، فأنت ترى الفقاقيع عادة تبدأ قبل الوصول إلى درجة الغليان. فسّر.
29. ■ لماذا يمكن أن يكون الماء اليسر غير مناسب للناس الذين يحاولون تقليل كمية أيون الصوديوم في غذائهم؟
30. ● يتكون الزبد عند سطح الماء العسر المغلي. ما هذا الزبد؟ ولماذا يتكوّن؟
31. ● لماذا تفقد سخانات الماء كفاءتها بسرعة في الأدوات المنزلية باستخدام الماء العسر؟
32. ● أضيفت أيونات الفوسفات، PO_4^{3-}، إلى المنظّفات يومًا للمساعدة في التنظيف. ما فائدتها في عملية التنظيف؟
33. ● لا تضاف أيونات الفوسفات، PO_4^{3-}، إلى المنظّفات للمساعدة في التنظيف؛ لأنها تسبب النمو الكبير للطحالب في البيئة المائية التي تصب في المياه العادمة. ما المادة الكيميائية البديلة؟
34. ■ هل يمكن استخدام التّناضح العكسيّ للحصول على ماء عذب من المحاليل السّكّرية؟ فسّر.
35. ♦ يكون تركيز السّكّر في الخلايا أعلى الشجرة أكثر من تركيز السّكّر في الخلايا أسفلها. كيف يمكن لهذه الحقيقة أن تساعد الشجرة في تحريك الماء إلى الأعلى من الجذور؟
36. ● لماذا يكون غسل المراحيض بالماء النظيف من صنبور مياه البلدية إهدارًا للماء كغسلها بالماء المعلب؟
37. ■ ما الذي ينعكس بالتّناضح العكسيّ؟
38. ■ كيف يسمح الغشاء شبه النّفاذ للمذاب و لا يسمح للمذيب؟
39. ■ لماذا تقلّ التكلفة كثيرًا عند تنقية المياه العذبة بالتّناضح العكسيّ مقارنة بتنقية المياه المالحة بالتّناضح العكسيّ نفسه؟
40. ■ يخاف بعض الناس من شرب المياه المقطرة لأنهم سمعوا بأنها تصفي الجسم من المعادن. باستخدام معرفتك الكيميائية، وضح أنه لا أساس لهذه المخاوف، وأنّ الماء المقطر مناسب جدًّا للشرب.
41. ● يحصل العديد من مالكي البيوت على مياه الشّرب من آبار يحفرونها في ممتلكاتهم. أحيانًا تفوح رائحة كريهة من هذه الآبار بسبب وجود كميات قليلة من غاز كبريتيد الهيدروجين، H_2S. كيف يمكن إزالة هذه النكهة من المياه التي تؤخذ من الصنابير؟
42. ● هل يعدّ تحلل الطعام من البكتيريا في أنظمة الهضم هوائيًّا أم غير هوائي؟ ما الدلائل التي تدعم إجابتك؟
43. ● ماذا تستخدم معظم محطات معالجة المياه لتنقية الماء؟
44. ● أين تذهب معظم الكتلة الصّلبة لمواد الصرف الخام بعد أن تجمع في محطة المعالجة؟
45. ● كيف تتشابه الخصائص التطهيرية للضوء فوق البنفسجي والأوزون؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ■ افترض أنّ العدد الإجمالي للجزيئات في عينة من السّائل نحو 3 ملايين تريليون؛ منها مليون تريليون واحد من هذه الجزيئات لبعض السموم، أما مليونا تريليون من هذه الجزيئات فهي جزيئات ماء. بين أنّ نقاوة الماء هي 67% تقريبًا.
2. ■ افترض أنّ العدد الإجمالي للجزيئات في كأس من السّائل هو نحو 1,000,000 مليون تريليون؛ منها مليون تريليون واحد لبعض السموم، أمّا الباقي وهو 999,999 مليون تريليون من هذه الجزيئات ماء. ما نسبة نقاوة الماء؟ أي، ما نسبة جزيئات الماء في الكأس؟
3. ■ إذا شربت كأسًا صغيرة من الماء بنقاوة 99.9999% و0.0001% بعض السموم. افترض أنّ الكأس تحتوي على مليون مليون تريليون من الجزيئات، والتي هي 30 مللترًا. بيّن أنك شربت مليون تريليون جزيء سم. هل هذا مدعاة للقلق؟

4. ■ بيّن أنه يلزم 45 جم من كلوريد الصوديوم لعمل 15 لترًا من محلول تركيزه 3.0 جم من كلوريد الصوديوم لكلّ لتر من المحلول.
5. ■ إذا أضيف ماء لمول واحد من كلوريد الصوديوم في دورق حتى أصبح الحجم لترًا واحدًا، فبين أنّ المولارتي للماء هو مولار واحد (1 M). ما المولارتي للماء عند إضافة مولين من كلوريد الصوديوم لنصف لتر من المحلول؟
6. ♦ كُلِّف طالب استخدام 20.0 جم من كلوريد الصوديوم لعمل محلول مائي بتركيز 10.0جم من كلوريد الصوديوم لكلّ لتر من المحلول. افترض أنّ 20.0 حجم جم من كلوريد الصوديوم 7.5 مللتر، كم يلزم من الماء لعمل هذا المحلول؟

أنشطة استكشافية

فهم أعمق وإخراج الفقاقيع

ما الذي داخل كأس الماء؟ افصل مكونات الماء التي تأخذها من الصنبور لمعرفة الجواب. تحذير: استعمل نظارات واقية للخطوة الأولى خوفًا من تناثر الماء المحتمل.

طريقة العمل

1. ضع النظارة الواقية، وأضف ماءً من الصنبور إلى وعاء طهو. اغلِ الماء حتى الجفاف. (أطفئ النار قبل أن يتبخر الماء بالكامل، إنّ حرارة القدر سوف تكمل تبخير الجزء المتبقي.)
2. افحص الناتج المتبقي بكشطه بسكين. إنّ هذه المواد الصّلبة هي التي تبتلعها مع كلّ كأس ماء تشربه.
3. لترى الغازات الذائبة في الماء الذي تشربه، املأ وعاءً نظيفًا بالماء، واتركه عدة ساعات على درجة حرارة الغرفة. لاحظ الفقاقيع الملتصقة بالجوانب الداخلية للوعاء. ما أصلها؟ علامَ تحتوي؟ لمزيد من التجارب، استعمل وعاءين جنبًا إلى جنب للخطوة 3. في الوعاء الأول، استعمل ماءً ساخنًا من صنبور المطبخ، واستعمل في الوعاء الثاني ماء مغليًّا مبردًا إلى درجة حرارة الأول. عندئذٍ ستجد أنّ الغليان نزع الهواء من الماء؛ أي أنه أزال غازات الجو. يحتاج الكيميائيون إلى استخدام الماء المنزوع الغازات، والذي يسمح للماء المغلي أن يبرد في أوعية مغلقة. لماذا لا يعيش السّمك في الماء الذي لا يحتوي على الغازات.

أقواس المطر الدائرية

يحتوي الحبر الأسود على أصباغ العديد من الألوان. تمتص هذه الأصباغ مجتمعة ترددات الضّوء المرئيّ كلّها. وبسبب عدم انعكاس أيّ لون، يظهر الحبر أسود اللون. يمكننا استخدام الجذب الجزيئي لفصل مكونات الحبر الأسود من خلال آلية تسمى *ورق التنشيف*.

الأدوات والمواد اللازمة

قلم حبر سائل يعمل بغمس الرأس في الحبر ويجف بسرعة، أو قلم حبر (الحبر يذوب في الماء). في قطعة ورق مسامية، مثل ورق الحمام، أو أوراق المائدة أو مرشحات القهوة، مذيب مثل الماء، أسيتون، كحول الصقل، أو خلّ أبيض.

طريقة العمل

1. ضع نقطة مركزة من الحبر في مركز قطعة ورق مسامية.
2. بحذر، ضع نقطة من المذيب فوق نقطة الحبر، وراقب انتشار الحبر قطريًّا مع المذيب. ولأنّ المكونات لها انجذاب مختلف للمذيب (بناءً على التجاذبات بين جزيئات المكونات وجزيئات المذيب)، فإنها تنتقل مع المذيب بمعدلات مختلفة.
3. مباشرة بعد الامتصاص الكامل لقطرة المذيب، أضف قطرة أخرى في موضع القطرة الأولى نفسه، وثالثة... وهكذا حتى ترى انفصال المكونات بوضوح.

يعتمد انفصال المكونات على عدد من العوامل بما في ذلك المذيب الذي اخترته وطريقتك في العمل. من الممتع أن ترى الطرف المتحرك من الحبر تحت مجهر أو عدسة قوة تكبيرها عالية.

لقد طُور ورق التنشيف أصلًا لفصل أصباغ النباتات المختلفة عن بعضها، ولهذا السبب اكتسبت هذه الطريقة اسمها؛ فكلمة chrome تعني لونًا باللغة اللاتينية. لا تحتاج المخاليط إلى أن تكون ملونة حتى يمكن فصلها بهذه الطريقة. وكلّ ما هو مطلوب هو أن يكون للمكونات تجاذبات متميزة للمذيب المتحرك والوسط المستقر، مثل الورق الذي يمرّ من خلاله المذيب.

الحلاوة الزائدة

إذا كان الصّلب يذوب في السّائل، فلا يعني هذا أنّ الصّلب لا يحتل حيزًا.

الأدوات والمواد اللازمة

كأس طويلة، ماء ساخن، وعاء أكبر من الكأس الطويلة، أربع ملاعق شاي من سكر المائدة.

طريقة العمل

1. املأ كأسًا حتى حافتها بماء ساخن، ثم اسكب الماء كلّه بحذر في وعاء أكبر.
2. أضف السّكّر إلى الكأس الفارغة.
3. اسكب نصف الماء الذي في الوعاء في الكأس، وحرّك جيدًا حتى يذوب السّكّر كلّه.
4. اسكب ما تبقى من الماء في الكأس ببطء، وحين تصل قريبًا من حافتها، اسأل صديقًا لك: هل سيصبح مستوى الماء كما كان سابقًا، أم أقل، أم أكثر مما كان عليه، بحيث ينسكب الماء من حافة الكأس إنْ

لم يستطع صديقك التوصل إلى الإجابة. اسأله: ماذا يمكن أن يحدث لو أضيف السّكّر إلى كأس الماء عندما كانت ممتلئة إلى حافتها؟

مصفاة الماء الميكروووية

يمكنك صنع مصفاة ماء ذات كفاءة متدنية، ولكنها مسلية في البيت.

تحذير: استعمل نظارة واقية، وتجنب البخار في هذه التجربة؛ قد يكون حرق البخار مؤذيًا.

الأدوات والمواد اللازمة

وعاء طهي عميق، ماء، ملون طعام (صبغة)، ملح، كأس قهوة ثقيلة، بلاستيك لفاف، مطاط، مقصات، مكعب جليد.

طريقة العمل

1. املأ الوعاء إلى عمق 1 سم. أضف عدة قطرات من ملون الغذاء (الصبغة) أو بعض الملح (أو كليهما معًا) للماء ثم حرّك.
2. ضع كأس القهوة في مركز الوعاء. يجب أن يكون ارتفاع الكأس (فارغًا) أقلّ بمقدار بوصة واحدة من الوعاء على الأقل.
3. ضع البلاستيك بحيث يكون غير مشدود فوق الوعاء، وثبته بالمطاط. يجب ألا يكون السداد شديدًا. في الحقيقة اترك طرفين منفتحين حتى لا تحدث زيادة في الضغط عندما يقترب الماء من الغليان. استخدم المقصات لقص الزيادة في البلاستيك حول محيط الوعاء. ضع مكعب الجليد في منتصف البلاستيك، والذي يتدلى فوق الكأس.
4. ضع النظارة الواقية، ثم أشعل النار واجعلها هادئة لتصل بالماء في مصفاتك إلى درجة الغليان بهدوء. انظر إلى إشارات تكون غيمة تحت مكعب الجليد. عند بدء الغليان، تبدأ الكأس الاهتزاز في الوعاء. خفّف الحرارة، أو حتى أطفِئها إذا أصبح الاهتزاز قويًّا.
5. قم بغلي الماء ما دام الجليد فوق الغطاء البلاستيكي. يمكن إزالة الجليد المذاب بقطعة إسفنج. تستمر عملية التّقطير حتى بعد أن يُطفأ الفرن. افحص الماء في الكأس. لماذا لم يحمل الملح وملونات الطعام إلى الكأس؟ ما كمية الماء التي يمكنك جمعها في الكأس لكلّ مكعب جليد؟ كيف يمكنك تعديل المصفاة حتى تعمل بكفاءة باستخدام ضوء الشّمس للتقطير؟

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدًا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل إجابة صحيحة. وإن لم تستطع، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصل اللاحق.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤالٍ مما يلي:

1. يقول أحدهم إنه لا يشرب ماء الصنبور لأنه يحتوي على آلاف من جزيئات الشوائب في كلّ كأس. كيف تدافع عن عدم نقاوة الماء، إذا كانت فعلًا تحتوي على آلاف الجزيئات والشوائب في الكأس؟

أ. الشوائب ليست سيئة بالضرورة. وفي الحقيقة، قد تكون جيدة لك.

ب. إنّ الماء يحتوي على جزيئات ماء، وكلّ جزيء ماء هو نقيّ.

ج. لا دفاع؛ إذا كان الماء يحتوي على شوائب، فيجب عدم شربه.

د. بالمقارنة بالبلايين من جزيئات الماء، فإنّ ألف جزيء من أشياء أخرى هي في الواقع لا شيء.

2. الفرق بين المركب والخليط هو:

أ. كلاهما يتكون من ذرات عناصر مختلفة.

ب. ارتباط الذرات فيهما مختلف.

جـ. أحدهما صلب والآخر سائل.

د. مكونات الخليط غير مرتبطة كيمائيًّا معًا.

3. هل الهواء في بيتك خليط متجانس أم غير متجانس؟

أ. متجانس؛ لأنه ممزوج جيدًا.

ب. غير متجانس؛ لأنّه يحتوي على غبار.

ج. متجانس؛ لأنّ مكوناته جميعها لها درجة الحرارة نفسها.

د. غير متجانس؛ لأنه مكون من أنواع مختلفة من الجزيئات.

4. يكون شراب الفواكه نصف المثلج دائمًا أكثر حلاوة من شراب الفواكه المذاب بالكامل نفسه لأنّ:

أ. السّكّر يترسب في القاع.

ب. تكون (البلورات) التبلور هي عملية تنقية.

ج. بلورة نصف المثلج أكثر دفئًا.

د. جزيئات السّكّر أقل ذوبانية في المحلول نصف المثلج.

5. خذ في الحسبان التجاذبات الكهربائية. لا يذوب كلوريد الصوديوم، NaCl، في الكيروسين بسبب:

أ. صغر جزيئات NaCl. لا توجد فرص كبيرة للكيروسين للتفاعل مع جزيئاته من خلال أيّ تجاذبات كهربائية.

ب. أنّ جزيء الكيروسين مستقطب جدًّا، يمكن لِـ NaCl أن يكوّن روابط فقط ثناقطبي- ثناقطبي مستحث وهو ضعيف جدًّا، جاعلًا الذوبانية منخفضة فيه.
جـ. التجاذب القوي بين جزيئات الكيروسين، يستثنى NaCl.
د. أنّ NaCl يتكوّن من أيونات تتجاذب معًا. والكيروسين غير قطبي، ولهذا لا يتفاعل NaCl والكيروسين بشكل جيد.

6. لا يعيش السّمك طويلًا في الماء الذي عُلي ثم بُرّد ثانية إلى درجة حرارة الغرفة. السبب في ذلك هو:
أ.لأنّ تركيز ثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء أصبح عاليًا.
ب. نفاد المواد المغذية في الماء.
جـ. زيادة تركيز الملح في الماء بعد تبخر جزء من الماء، مما يؤثّر سلبًا في السّمك.
د. أنّ عملية الغليان تزيل الهواء المذاب في الماء. وعند التبريد، يكون الماء مفرغًا من محتوياته من الهواء، وهذا يؤدّي إلى غرق السّمك.

7. كم جراما من السّكّر (سكّروز) في 5 لترات من ماء السّكّر والذي تركيزه 0.5 جم لكلّ لتر من المحلول؟
أ. 50جم
ب. 25جم
جـ. 2.5جم
د. 1.5جم

8. إنّ فائدة استخدام غاز الكلور في تطهير مصادر مياه الشّرب هي:
أ. تزويدنا بوقاية إضافية ضد المُمرِضات.
ب. إعطاء الماء الطعم العذب.
جـ. أنّ الكلور المتبقي في الماء يساعد على تبييض الأسنان.
د. جميع ما ذكر.

9. تنفجر خلايا الدم الحمراء، والتي تحتوي على محلول مائي مذاب فيه المعدن، عند وضعها في الماء العذب بسبب:
أ. أنّ الأيونات المذابة تزيد الضغط الذي يفجر الخلايا المفتوحة أخيرًا.
ب. دخول مزيد من جزيئات الماء أكثر من الجزيئات التي تدخل إليه.
جـ. أنّ الماء العذب يذيب جدار خلية الدم.
د. جميع ما ذكر.

10. تفوح من البرك الراكدة رائحة كريهة أكثر من الغدير الجاري بسبب:
أ. عدم انتقال الرائحة عبر الغدير.
ب. تنوع الحياة المائية التي تجذبها.
جـ. نقص الأكسجين الكافي المذاب.
د. جميع ما ذكر

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

ب، جـ، د، أ، جـ، د، ب، جـ، د، د

اكتشف المزيد

http://www.sugar.org

بحسب هذا الموقع، تفخر جمعية السكر ان تقدم معلومات موثوقة، ومعلومات قائمة على العلم حول السكر الطبيعي النقي. وضع الاعتماد على العلم الموثوق الجمعية في موقع رائد الإيصال المعلومات الدقيقة عن الاستخدامات الغذائية والوظيفية للسكر لكل من المستهلكين، والمتخصصين ووسائل الاعلام.

http://www.idadesal.org

هذا الموقع هو الصفحة الرئيسة لجمعية التحليه الدولية، والتي تهدف اهدافها الى تطوير وترويج الاستعمالات الصحيحة لتقنية التحلية حول العالم.

http://www.bicn.com/acic

لمعرفة المزيد حول كارثة الزرنيخ في بنغلادش، رقم بزيارة الصفحة الرئيسة لمركز معلومات كارثة الزرنيخ. حيث تجد وصف مفصل لكيمياء التخلص من الزرنيخ على الموقع .http://www.eng2.uconn .edu/-nikos/asrt-brochure.html

الفصل 16 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية
- 16.32

دروس تعليمية
- الذائبية

أشرطة فيديو
- يمكن فصل المخلوقات بطرائق فيزيائية
- المحاليل
- تغيير الذائبية بتغير درجة الحرارة والضغط
- يعمل الصابون بكونه جزئياً قطبياً وغير مستقطب في آن واحد

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط

17

كيف تتفاعل الكيماويات؟

1.17 المعادلات الكيميائيّة

2.17 حساب عدد الذرات والجزيئات من الكتلة

3.17 سرعة التّفاعل

4.17 المحفّزات

5.17 الطّاقة والتّفاعلات الكيميائيّة

6.17 القصور الحراريّ (الإنتروبي) يوجه التّفاعلات الكيميائية

■ تُحدث حرارة صاعقة البرق تفاعلات كيميائية متعددة في الغلاف الجويّ، ويتضمن ذلك تفاعل النيتروجين والأكسجين لتكوين أول أكسيد النيتروجين، NO. يتفاعل أول أكسيد النيتروجين المتكون بدوره بالطريقة نفسها مع الأكسجين في الغلاف الجويّ وبخار الماء لتكوين حامض النيتريك HNO_3 وحامض النيتروز HNO_2. تُحمل هذه الأحماض بالمطر لتصل الأرض؛ حيث تُكوّن أيونات تمتصها النباتات النامية؛ عملية تتضمن مزيدًا من التّفاعلات الكيميائيّة.

عرف العلماء كيفية السيطرة على التّفاعلات الكيميائيّة لإنتاج العديد من المواد المفيدة كالنترات والأسمدة ذات الأساس النيتروجينيّ من النيتروجين في الغلاف الجوي، وكذلك المعادن من الصخور، وأيضًا البلاستيك والمواد الصيدلانية من البترول. إنّ هذه المواد والآلات الأخرى المنتجة من التّفاعلات الكيميائيّة، بالإضافة إلى الطّاقة الهائلة الناتجة عن التّفاعلات الكيميائيّة التي يدخل منها الوقود الأحفوري وتدعى الاحتراق، حسّنت ظروف حياتنا كثيرًا.

يهدف هذا الفصل إلى تزويدك برؤية واضحة لأُسس التّفاعلات الكيميائيّة، والتي مُهِّد لها في الفصل 14، ومن ثمّ سوف ندرس في الفصل القادم نوعين من التّفاعلات الكيميائيّة هما: تفاعلات الحامض مع القاعدة، وتفاعلات التّأكسد والاختزال.

1.17 المعادلات الكيميائيّة

كما ناقشنا في الفصل 14، يعاد ترتيب الذرات في أثناء التّفاعل الكيميائيّ لإنتاج واحد أو أكثر من المركبات الجديدة. يلخّص هذا النشاط كتابيًّا على شكل **معادلة كيميائية**. تبين المعادلة الكيميائيّة المواد المتفاعلة، وتسمى **المتفاعلات** ***(Reactants)***، تقع عن اليسار من السهم الذي يشير إلى المواد الجديدة المتكونة، وتسمى **النواتج** ***(Products)***:

النواتج ⟵ المتفاعلات

تُمثَّل المتفاعلات والنواتج عادة بصيغهما العنصرية أو الكيميائيّة، وفي بعض الأحيان يُستخدم النموذج الجزيئي، أو ببساطة، الاسم بدلًا من الصيغة. كما يشار غالبًا إلى الطور: (*s*) للصلب، و(*l*) للسائل، و(*g*) للغاز. المركبات التي تذوب في الماء يُرمز لها (*aq*) للمحاليل المائية. وأخيرًا، تدل الأرقام التي توضع قبل المتفاعلات أو النواتج على النسبة التي تتحد بها المتفاعلات أو تتشكل. تسمى هذه الأرقام بالمعاملات، وتمثل أعداد الذرات المفردة أو الجزيئات. فمثلًا، لتمثيل تفاعل كيميائي حيث يتم حرق الفحم بوجود الأكسجين لتشكيل غاز ثاني أكسيد الكربون، نكتب المعادلة الكيميائيّة مستخدمين المعاملات لِـ 1:

$1\ C(s) + 1\ O_2(g) \longrightarrow 1\ CO_2(g)$ (موزونة)

متفاعلات نواتج

يعدّ **قانون حفظ الكتلة** ***(Law of mass conservation)*** من أهم مبادئ الكيمياء. وينصّ هذا القانون على أنّ المادة لا تفنى ولا تستحدث خلال التّفاعل الكيميائيّ*. إنّ الذرات الموجودة في بداية التّفاعل يُعاد ترتيبها لتكوين جزيئات جديدة. وهذا يعني أنّ الذرات لا تُفقد ولا تُكتسب خلال أي تفاعل. ولهذا يجب أن تكون المعادلة *موزونة*. في المعادلة الموزونة، يجب أن يظهر العدد نفسه من كلّ ذرة على جانبي السهم. فمعادلة تكوين ثاني أكسيد الكربون موزونة؛ بسبب وجود ذرة كربون واحدة وذرتي أكسجين على كلّ جانب. يمكنك حساب عدد الذرات في الأمثلة لكي ترى ذلك بنفسك.

* يبقى هذا القانون صحيحًا لجميع الأغراض العملية. ولكن، تقنيًّا، فإنّ الطّاقة المتحررة أو الممتصة في التّفاعل الكيميائيّ تنشأ من تحوّل الكتلة إلى طاقة والعكس صحيح. ولكن كمية الكتلة المفقودة أو الزائدة هي من الصغر بحيث يمكن إهمالها للأغراض العملية جميعها في التّفاعل الكيميائيّ. ولكن ليس الشيء نفسه في التّفاعلات النووية التي ناقشناها في الفصل 13. في هذه التّفاعلات، يظهر قانون حفظ الكتلة والطّاقة بقوة.

في تفاعل كيميائي آخر، تتفاعل جزيئا غاز الهيدروجين، $2H_2$ مع جزيء أكسجين غازي O_2، لتكوين جزيئين من الماء، H_2O، في الطور الغازي:

$$2\ H_2(g) + 1\ O_2(g) \longrightarrow 2\ H_2O(g)$$ (موزونة)

إنّ معادلة تكوين الماء موزونة أيضًا ؛ هناك أربع ذرات هيدروجين وذرتا أكسجين قبل السهم وبعده.

يدلنا المعامل في مقدمة الصيغة الكيميائيّة على عدد المرّات التي يجب أن يُحسب بها العنصر أو المركب. مثلا $2H_2O$، تشير إلى جزيئي ماء، والذي يحتوي على مجموع أربع ذرات هيدروجين وذرتي أكسجين.

بالاتفاق، لا يذكر المعامل 1، ولهذا تكتب المعادلات الكيميائيّة السابقة عادة كما يلي:

$$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$$ (موزونة)

$$2\ H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2\ H_2O(g)$$ (موزونة)

نقطة فحص

ما عدد ذرات الأكسجين الموجودة في المعادلة الموزونة التالية؟

$$3\ O_2(g) \longrightarrow 2\ O_3(g)$$

هل كانت هذه إجابتك؟

قبل التّفاعل، يوجد 6 ذرات أكسجين في 3 جزيئات أكسجين، O_2، وبعد التّفاعل، فإنّ ذرات الأكسجين الست نفسها موجودة في جزيئين من الأوزون، O_3.

تُبيِّن المعادلة الكيميائيّة غير الموزونة التّفاعلات وكذلك النواتج دون المعاملات الصحيحة. فالمعادلة:

$$NO(g) \longrightarrow N_2O(g) + NO_2(g)$$ (غير موزونة)

مثلًا غير موزونة؛ لأنّ هناك ذرة نيتروجين واحدة وذرة أكسجين واحدة قبل السهم، في حين توجد 3 ذرات نيتروجين و3 ذرات أكسجين بعد السهم.

يمكن وزن المعادلة غير الموزونة بإضافة المعاملات أو تغييرها لإيجاد النسبة الصحيحة. (من المهم عدم تغيير الرمز السفلي، لأنّ تغييره يعني تغيير هوية المركب H_2O وهو الماء، ولكن H_2O_2 هو فوق أكسيد الهيدروجين. مثلًا لوزن المعادلة السابقة أضف 3 أضعاف NO:

$$3\ NO(g) \longrightarrow N_2O(g) + NO_2(g)$$ (موزونة)

والآن، لدينا 3 ذرات أكسجين على جانبي السهم، كما أنّ قانون حفظ الكتلة لم يُنقَض.

يُطوِّر الكيميائيّ المتمرّس مهارات لوزن المعادلات. تتضمن هذه المهارة طاقة خلاقة، كما أنها كغيرها من المهارات تتحسن بالخبرة. والأهم من أن تكون ماهرًا في وزن المعادلات هو إدراكك سبب ضرورة وزنها. إنّ السبب في ذلك هو قانون حفظ الكتلة والذي يدلنا على أنّ الذرات لا يمكن إحداثها أو إفناؤها في التّفاعل الكيميائيّ؛ ببساطة يعاد ترتيبها. وهكذا، فإنّ وجود كلّ ذرة قبل التّفاعل يحتم وجودها بعد التّفاعل، حتى لو اختلفت المجموعات التي توجد بها الذرات.

لمعلوماتك

■ تتضمن المتفجرات الكيميائيّة عادة التحول من مواد كيميائية صلبة أو سائلة غير مستقرة إلى غازات مستقرة، تحتل حجمًا كبيرًا. بُعيد التفجير، ينتج مول واحد من النيتروجلسرين، $C_3\ H_5\ N_3\ O_9$، 7.25 مول من الغازات بما فيها ثاني أكسيد الكربون، CO_2، والنيتروجين، N_2، والأكسجين، O_2، وبخار الماء، H_2O. يكون التغير في الحجم مذهلا من أقل من 0.3 لتر إلى 175 لترًا، أي بزيادة مقدارها 600%. بالنسبة للنيتروجلسرين والمواد المشابهة الشديدة الانفجار، تتحدد هذه الغازات بسرعات فوق صوتية، مُحدثه أمواجًا صادمةً قويةً ومدمرة.

■ **نقطة فحص**

اكتب معادلة موزونة تبين تفاعل غاز الهيدروجين، H_2، مع غاز النيتروجين N_2، لتكوين غاز الأمونيا، NH_3:

$$__H_2(g) + __N_2(g) \longrightarrow __NH_3(g)$$

هل كانت هذه إجابتك؟

بداية، هناك ذرتا هيدروجين قبل التّفاعل *(السهم)*، و3 بعد التّفاعل. وتوزن هذه المعادلة بوضع 3 قبل جزيء الهيدروجين ومعامل 2 للأمونيا NH_3، وهذا يؤدي إلى وجود 6 ذرات هيدروجين قبل سهم التّفاعل، و6 ذرات هيدروجين بعده. وفي هذه الأثناء يجعل عدد ذرات النيتروجين في الأمونيا 2 بعد سهم التّفاعل، والذي يوزن ذرات النيتروجين قبل سهم التّفاعل. لذا تصبح المعادلة الموزونة كالآتي:

$$3\ H_2(g) + N_2(g) \longrightarrow 2\ NH_3(g)$$

يستخدم الكيميائيّون عدة طرق لوزن المعادلات. ارجع إلى *كتاب مفاهيم العلم الطبيعي – الطبعة الرابعة– كتاب التدريب للأمثلة*. يمكن لأستاذك تعريفك بطريقته المفضلة لوزن المعادلات. وللمزيد من التدريب على ذلك انظر الأسئلة في نهاية هذا الفصل.

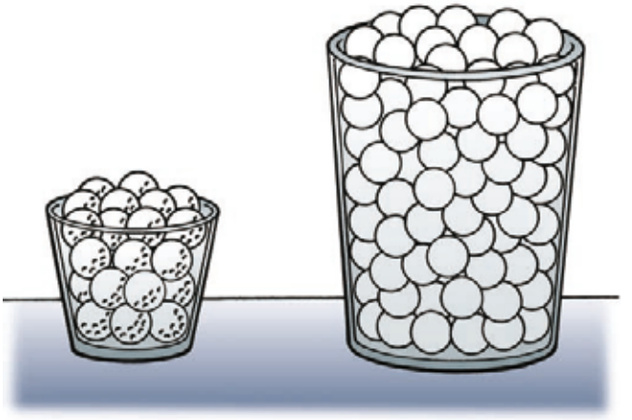
■ 2.17 حساب عدد الذرات والجزيئات من الكتلة

في أيّ تفاعل كيميائي، يتفاعل عدد محدد ليكوّن عددًا معينًا من النواتج. مثلا، عند اتحاد الكربون مع الأكسجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون، تكون النسبة دائما ذرة كربون واحدة لجزيء أكسجين واحد. وإذا أراد الكيميائيّ تحضير هذا المركب في المختبر، فإنه سيهدر ماله وجهده؛ فإذا وضع 4 ذرات كربون لكلّ جزي أكسجين فإنّ ذرات الكربون الزائدة تنقصها جزيئات الأكسجين للتفاعل، وتبقى كما هي.

كيف يمكن قياس عدد محدد من الذرات أو الجزيئات؟ بدلًا من عدّ هذه الجسيمات منفردة، يستطيع الكيميائيّون استخدام موازين لقياس كتلة الكميات. وبسبب اختلاف كتلة الذرات والجسيمات على اختلافها، فإنّ الكيميائيّ، ببساطة، لا يستطيع قياس كُتَلٍ متساوية من كلّ نوع. على سبيل المثال، إنّه يحتاج إلى عدد ذرات الكربون وعدد جزيئات الأكسجين نفسها. إنّ قياس الكتلة نفسها من كليهما لا يعطينا العدد نفسه.

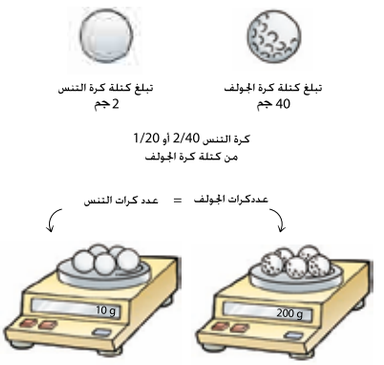
تعلم أنّ 1 كجم من كرة التنس يحتوي على كرات أكثر من 1 كجم من كرات الجولف، كما يوضح الشّكل 1.17 بطريقة مماثلة. ولأنّ كتلة الذرات والجزيئات تختلف باختلافها، فهناك أعداد مختلفة في عينة لكتلة 1 جم من كلّ نوع. ولأنّ كتلة ذرة الكربون أقلّ من كتلة جزيء الأكسجين، فإنّ عدد ذرات الكربون في 1 جم من الكربون أكثر من عدد

الشّكل 1.17
عدد كرات تنس الطاولة في كتلة معينة مختلف عن عدد كرات الجولف للكتلة نفسها.



وعليه، يتضح أنّ كتلًا متساوية من هاتين المادتين لا تحتوي على عدد ذرات الكربون وجزيئات الأكسجين نفسها.

إذا علمت *الكتل النسبية* للمواد المختلفة، فيمكنك عندئذٍ قياس أعداد متساوية. مثلًا، إذا علمنا أنّ كتلة كرة الجولف 20 ضعف كتلة كرة التنس، وهذا يعني أنّ نسبة كتلة كرات الجولف إلى كرات التنس هي 20 إلى 1. فقياس كتلة مقدارها 20 مرة مقارنة بكتلة التنس، يعطينا العدد نفسه من الاثنين، كما في الشّكل 2.17.



الشّكل 2.17
يتساوى عدد كرات الجولف في 200 جم من كرات الجولف مع عدد كرات التنس في 10 جرامات من كرات التنس.

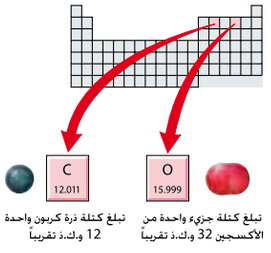
نقطة فحص

يودّ زبون شراء خليط من حلوى الفاصولياء الزرقاء والحمراء بنسبة 1:1، كلّ قطعة حلوى زرقاء لها ضعف كتلة قطعة الحلّوى الحمراء. فإذا وزن البائع 5 أرطال من الحلوى الحمراء، فما عدد الأرطال من الحلّوى الزرقاء يجب أن يزن؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لأنّ كتلة الحلوى الزرقاء ضعف كتلة الحلوى الحمراء، فعلى البائع أن يزن ضعف كتلة الحلوى الزرقاء للحصول على النسبة نفسها، وهذا يعني 10 أرطال. إذن، لم يعلم البائع أنّ كتلة الحلوى الزرقاء ضعف كتلة الحلوى الحمراء، وأنّه لا يستطيع أن يعرف كتلة الزرقاء حتى يحصل على نسبة 1:1. وبطريقة مماثلة، يخطئ الكيميائيّ عند تحضيره لتفاعل كيميائي إذا لم يعلم الكتل النسبية للمتفاعلات.

إنّ كتل العناصر المعروضة في الجدول الدوري هي كتل نسبية. نستطيع قياس أعداد متساوية من الذرات أو الجزيئات للعناصر إذا علمنا هذه الكتل. على سبيل المثال، وكما يوضح الشّكل 3.17، فإنّ كتلة الكربون هي 12.011 و.ك.ذ (كما نوقش في الجزء 3.12، *وحدة الكتل الذرية* [و.ك.ذ] لمادة يساوي 1.661×10^{-24} غم.) إنّ **صيغة الكتلة (Formula Mass)** لمادة هي مجموع الكتل الذرية للعناصر في صيغتها الكيميائيّة. فصيغة الكتلة لجزيء الأكسجين، O_2، هي نحو 32 و.ك.ذ (15.999 و.ك.ذ + 15.999 و.ك.ذ).. إذن، تبلغ نسبة كتلة ذرة الكربون إلى كتلة جزيء الأكسجين $\frac{12}{32}$ تقريبًا. ولقياس العدد نفسه من ذرات الكربون وجزيئات الأكسجين، يلزم قياس 12 جم من الكربون، و32 جم من الوزن الجزيئي للأكسجين. أي أنّ نسبة تساوي $\frac{12}{32}$ أو $\frac{6}{16}$ أو $\frac{3}{8}$ تؤدي الغرض. مثلا، 3 جم من الكربون لها العدد نفسه من الجسيمات مثل 8 جم جزيئات الأكسجين.



الشّكل 3.17
للحصول على عدد متساوٍ من ذرات الكربون وجزيئات الأكسجين، يتطلب هذا قياس ذرات الكربون وجزيئات أكسجين بنسبة $\frac{3}{8}$ من الكتلة.

■ اختبر معلوماتك

1. تفاعل 3 جم من الكربون، C، مع 8 جم من جزيئات الأكسجين، O_2، فكان الناتج 11 جم من ثاني أكسيد الكربون، CO_2. هل ينطبق ذلك على أنّ 1.5 جم من الكربون تتفاعل مع 4 جم من جزيئات الأكسجين لتنتج 5.5 جم من ثاني أكسيد الكربون؟
2. هل ينتج تفاعل 5 جم من الكربون مع 8 جم من الأكسجين 11 جم من ثاني أكسيد الكربون؟

هل كانت هذه إجابتك؟

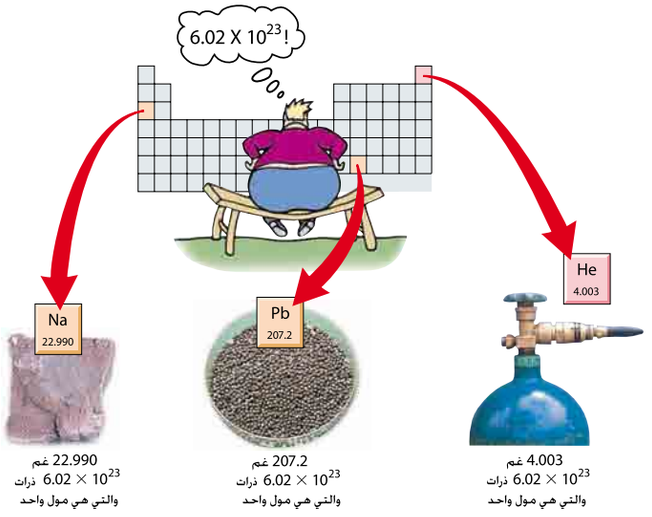
1. الكميات هي نصف الكميات الأولى مع المحافظة على النسبة نفسها. عند تكون 11 جم من ثاني أكسيد الكربون: 1.5 : 4 : 5.5 = 3: 8: 11.
2. هذا من الأخطاء الشائعة للعديد من الطلبة عندما يفكرون أنّ التّفاعل لا يحدث إذا كانت نسبة المواد التّفاعلية ليست هي الملائمة. وعليك فهم أنّ 3 جرامات من الـ 5 جرامات من الكربون تلزم للتفاعل. وهذه الغرامات الثلاثة تتفاعل مع 8 جرامات من الأكسجين لتكون 11 جم من ثاني أكسيد الكربون. ولهذا، سيكون هناك جرامان من الكربون لا تشارك في التّفاعل. ولإشراك الكربون المتبقي (2 جم) يتطلب المزيد من الأكسجين.

التحويل بين المولات والجرامات

تتفاعل الذرات والجزيئات بنسب معينة. ولكن في المختبر، يتعامل الكيميائيّون مع كميات كتلية من المواد، والتي تقاس بالكتلة. لذا يحتاج الكيميائيّون إلى معرفة العلاقة بين كتلة عينة معينة وعدد الذرات أو الجزيئات في تلك الكتلة. المفتاح لهذه العلاقة هو *المول*. تذكر من الجزء 3.16 أنّ المول هو وحدة تساوي 6.02×10^{23}. ويعرف هذا العدد **بعدد أفوجادرو**، تكريمًا للعالم أفوجادرو Avogadro الذي عاش في القرن الثامن عشر.

كما يوضح الشّكل 4.17، إذا عبّرت عن الكتلة الذرية لأيّ عنصر بقيمتها العددية *بالجرامات*، فإنّ عدد الذرات في عينة ذلك العنصر لها الكتلة نفسها، ويساوي دائمًا 6.02×10^{23} وهو مول واحد. مثلًا، تحتوي 22.990 جم من عينة صوديوم، Na (الكتلة الذرية = 22.990 و.ك.ذ)، على 6.02×10^{23} ذرة صوديوم، وأنّ 207.2 جم من الرّصاص، pb، (العدد الكتلي 207.2 و.ك.ذ) يحتوي على 6.02×10^{23} ذرة رصاص، العدد الكتلي له 22.990).

ينطبق المفهوم نفسه على المركبات. عبّر عن القيمة الرقمية لكتلة الصيغة لأيّ مركب بالجرامات، وكلّ عينة لها كتلة تلك القيمة تحتوي على 6.02×10^{23} جزيء من ذلك المركب. فمثلًا، هناك 6.02×10^{23} جزيء أكسجين، O_2، في 31.998 جم من الأكسجين الجزيئي، O_2. (الكتلة الجزيئية) هي 31.998 و.ك.ذ و 6.02×10^{23} جزيء، CO_2، في 44.009 جم من ثاني أكسيد الكربون، CO_2. (كتلة الصيغة 44.009 و.ك.ذ).



الشّكل 4.17
عُبِّرَ عن القيمة الرقمية للكتلة الذرية لأيّ عنصر بالجرامات، وهذه الجرامات تحتوي على 6.02×10^{23} من الذرات.

لمعلوماتك

■ يغطي عدد أفوجادرو من حبات الرمل مساحة الولايات المتحدة لارتفاع مترين. إنّ عدد سكان العالم 6.4 بلايين نسمة تقريبًا يعيشون على الأرض. لذا، نحتاج إلى نحو 94 تريليون ضعف مجموع سكان الأرض لنحصل على عدد أفوجادرو من الناس. وإذا أردت جمع مليون ذرة هيدروجين في الثانية، فستحتاج إلى 19 بليون سنة لتجمع جم واحد من الهيدروجين؛ عمر الكون نفسه نحو 13 بليون سنة. ويبلغ طول عمود من القروش بعدد أفوجادرو نحو 800,000 تريليون كيلومتر، أي ما يعادل قطر مجرتنا تقريبًا. وإنْ صفَفْت القروش لوصلْتَ إلى مجرة الأندروميدا التي تبعد عنا نحو مليون سنة ضوئية.

نقطة فحص

1. ما عدد الذرات في عينة ليثيوم كتلتها 6.941 جم، Li (العدد الكتلي = 6.941 و.ك.ذ)؟
2. ما عدد الجزيئات في عينة من الماء، H_2O، كتلتها 18.015 جم (كتلة الصيغة = 18.015 و.ك.ذ).

هل كانت هذه إجابتك؟

1. لأنّ هذا العدد من الجرامات من الليثيوم يساوي الكتلة الذرية رقميًّا، فإنّ الصيغة تحتوي على 6.02×10^{23} ذرة ليثيوم، ويعادل مولًا واحدًا.
2. لأنّ هذا العدد من الجرامات يساوي الكتلة الجزيئية للماء، فإنّ الصيغة تحتوي على 6.02×10^{23} جزيء ماء، وتعادل مولًا واحدًا.

تعرف **الكتلة المولية *(Molar Mass)*** لأيّ مادة، سواء كانت عنصرًا أو مركبًا على أنها كتلة مول واحد من تلك المادة. وعليه، فوحدة الكتلة للمول هي جرام لكلّ مول. مثلًا، الكتلة الذرية للكربون 12.011 و.ك.ذ. وهذا يعني أنّ مولاً واحدًا من الكربون له كتلة مول جزيء الأكسجين، O_2. (كتلة الصيغة هي 31.998 و.ك.ذ) وهي 31.998 جم/مول. ولتبسيط الأمر؛ تُقرب مثل هذه القيم إلى أقرب عدد صحيح. فالعدد المولي للكربون، يمثل بـ 12 جم/مول، ولجزيء الأكسجين هو 32 جم/مول.

نقطة فحص

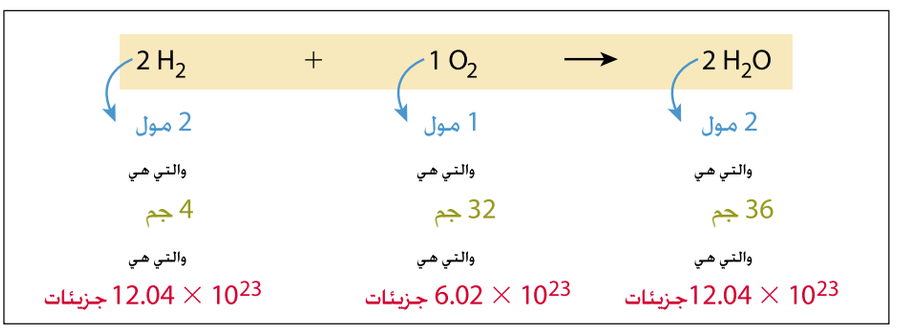
ما كتلة مول الماء (الوزن الجزيئي هو 18 و.ك.ذ)

هل كانت هذه إجابتك؟

من صيغة الكتلة، تعلم أنّ كتلة مول واحد من الماء هي 18 جم. لذا، فإنّ كتلة المول هي 18 جم/مول.

ولأن المول الواحد من أيّ مادة يحتوي دائمًا على 6.02×10^{23} جسيم، فإنّ المول يعدّ وحدة مثالية في التّفاعلات الكيميائيّة. مثلًا، يتفاعل مول من الكربون (12) مع مول من جزيء الأكسجين (32 جم) ليعطينا مولاً واحدًا من ثاني أكسيد الكربون (44 جم).

في كثير من الحالات، لا تكون النسبة بين المواد الكيميائيّة المتفاعلة هي 1:1 كما في الشّكل 5.17. مثلًا، يتفاعل مولان (4 جم) من جزيئات الهيدروجين مع مول واحد من جزيئات الأكسجين (32 جم)، للحصول على مولين (36 جم) من الماء. لاحظ كيف أنّ معاملات المعادلة الكيميائيّة الموزونة يمكن تفسيرها بسهولة بعدد المولات في المواد المتفاعلة والنواتج. فما على الكيميائيّ إلا تحويل عدد المولات إلى جرامات حتى يعرف كمية ما يحتاج إليه من المواد المتفاعلة ليحصل على النسب الملائمة المطلوبة.



الشّكل 5.17

يتفاعل مولان من H_2 مع مول واحد من O_2 لينتج مولان من H_2O. هذا مماثل للقول إن 4 جم من H_2 تتفاعل مع 32 جم من O_2 لينتج 36 جم من H_2O أو مكافئًا لقولنا بأنّ 12.04×10^{23} من جزيئات H_2 تتفاعل مع 6.02×10^{23} من جزيئات O_2 لإعطاء 12.04×10^{23} من جزيئات الماء.

حساب العلوم الطبيعية

كتل المواد المتفاعلة والناتجة

تدلنا معاملات المعادلة الكيميائيّة على النسب التي تتفاعل بها المواد المتفاعلة وتتكون بها المواد الناتجة. فمثلًا، تدلنا المعادلة التالية على أنّ كلّ مول من الميثان، CH_4، يتفاعل ويُنتج مولين من الماء H_2O.

$$CH_4 + 2\,O_2 \longrightarrow CO_2 + 2\,H_2O$$

وبذلك، فإذا أعطيت 16 جم من الميثان، CH_4، فكم جرامًا من الماء H_2O يتكون عندك؟ كما تعلم أنّ 16 جرامًا من الميثان، CH_4، هي مول واحد (الكتلة الجزيئية هي 16 و.ك.ذ). لذا، فإنّ 16 جرامًا من الميثان تُنتج مولين من الماء. ولكن، كم جراما يساوي مولان من الماء؟ حسنًا، المول الواحد من الماء، H_2O، يساوي 18 جم (الكتلة الجزئية 18 و.ك.ذ). وعليه، فإنّ المولين يساويان 36 جم. وهكذا، فإنّ تفاعل 16 جراما من الميثان، CH_4، مع الأكسجين، O_2، ينتج 36 جم من الماء، H_2O. دعنا ننظر إلى هذه العملية خطوة خطوة من وجهة نظر رياضية.

مسألة 1

ما كتلة الماء الناتجة عند تفاعل 16 جم من الميثان (الكتلة الجزيئية 16 و.ك.ذ) مع الأكسجين، O_2، في التّفاعل الآتي؟

$$CH_4 + 2\,O_2 \longrightarrow CO_2 + 2\,H_2O$$

الحلّ:

الخطوة 1: حول الكتلة المعطاة إلى مولات.

عامل التحويل

$$(16\ \cancel{g\ CH_4})\left(\frac{1\ \text{mole}\ CH_4}{16\ \cancel{g\ CH_4}}\right) = 1\ \text{mole}\ CH_4$$

الخطوة 2: استخدم معاملات المعادلة الموزونة لإيجاد عدد المولات المنتجة من H_2O من عدد المولات من CH_4:

عامل التحويل

$$(1\ \cancel{\text{mole}\ CH_4})\left(\frac{2\ \text{moles}\ H_2O}{1\ \cancel{\text{mole}\ CH_4}}\right) = 2\ \text{moles}\ H_2O$$

الخطوة 3: بعد معرفتك عدد المولات من H_2O المنتجة، حوّل هذه القيمة إلى جرامات من H_2O:

عامل التحويل

$$(2\ \cancel{\text{moles}\ H_2O})\left(\frac{18\ g\ H_2O}{1\ \cancel{\text{mole}\ H_2O}}\right) = 36\ g\ H_2O$$

إنّ طريقة تحويل الجرامات من المادة إلى مولات (الخطوه 1)، ثم من مولات هذه المادة إلى مولات تلك المادة (الخطوة 2)، وبتبعها تحويل مولات تلك المادة إلى جرامات (الخطوة 3)، تسمى هذه العملية علم قياس الاتحاد العنصري. وباستخدام قياس الاتحاد العنصري هذا، يمكن للعلماء حساب كميات المواد المتفاعلة والناتجة في أي تفاعل كيميائي. لقد طُوّرت طرق حساب قياس الاتحاد العنصري في كثير من مقررات الكيمياء العامة. في هذا المقرر، يجب أن تتعرف معنى هذا المصطلح. وهذا يعني أن تُنظّم جدولًا للذرات والجزيئات عند تفاعلها لتشكيل المكوّنات. ومع ذلك، فلبعض الواجبات الخاصة، يمكنك استخدام مهارات التفكير التحليلي للمسائل التعليمية. حاول أن تستخلص الإجابة استنادًا إلى معرفتك بقانون حفظ الكتلة، ثم اتبع الخطوات المعطاة هنا للتأكد من إجابتك.

مسألة 2

بيّن أنّ 44 جرامًا من ثاني أكسيد الكربون، CO_2، تنتج عند تفاعل 16 جرامًا من الميثان، CH_4، مع الأكسجين، O_2. ما عدد جرامات الأكسجين اللازمة لهذا التّفاعل؟

الحلّ:

تمثل 16 جم من الميثان، CH_4، مولًا واحدًا، والذي يتفاعل مع الأكسجين لإنتاج مول واحد من ثاني أكسيد الكربون، CO_2، والمول الواحد من ثاني أكسيد الكربون (كتلة الصيغة له 44 و.ك.ذ) يساوي 44 جم. إذا كان 16 جم من الميثان

تتشابه عملية إعداد الطّعام مع الكيمياء في أنّهما يتطلبان قياس مقادير المواد. وكما ينظر الطاهي إلى الوصفة لمعرفة قياس كمية المواد الضرورية بالكوب أو ملعقة الشاي، فإنّ الكيميائيّ ينظر إلى الجدول الدوري لقياس الكميات الضرورية بعدد الجرامات لكلّ مول لكلّ عنصر أو مركب.

3.17 سرعة التّفاعل

تساعد المعادلة الكيميائيّة الموزونة في تحديد كمية النواتج التي يمكن تشكيلها من كميات المتفاعلات المتوافرة. ولكن المعادلة لا تفيدنا كثيرًا عمّا يحدث خلال التّفاعل على المستوى دون المجهريّ. في هذا الجزء والذي يليه، سندرس المستوى دون المجهري؛ لنبين كيفية تغيير *معدّل* التّفاعل، إما من خلال تغيير التركيز أو درجة حرارة المتفاعلات، أو بإضافة ما يعرف *بالمحفّز*.

إنّ بعض التّفاعلات الكيميائيّة بطيئة مثل صدأ الحديد، أما الأُخرى فسريعة مثل حرق الجازولين. يُشار إلى سرعة التّفاعل بمعدل حدوث التّفاعل، وهو مؤشّر على سرعة تحول المواد المتفاعلة إلى نواتج. كما يبين الشّكل 6.17. بداية، يحتوي الدورق على جزيئات المواد المتفاعلة فقط، ومع مرور الزمن، تتحول المواد المتفاعلة إلى جزيئات النواتج، وكنتيجة لذلك، يزيد تركيز جزيئات النواتج. وعليه، يعرف **معدل التّفاعل** إما بسرعة زيادة تركيز النواتج أو سرعة نقصان تركيز المتفاعلات.

تتفاعل مع الأكسجين لإنتاج 44 جم ثاني أكسيد الكربون زائد 36 جم من الماء. فيجب أن تساوي كتلة التّفاعلات (44 جم + 36 غم = 80 جم) كتلة النواتج (16 جم + ؟؟ = 80 جم). وعليه، يمكن حساب أنّ الميثان يتفاعل مع 64 جم من الأكسجين، وهي تساوي مولين، كما هو مبين في المعادلة.

مسألة 3

ما عدد غرامات الأوزون (O_3، 48 و.ك.ذ) التي يمكن إنتاجها من 64 جم من الأكسجين (O_2، 32 و.ك.ذ) في التّفاعل الآتي:

$$3\,O_2 \longrightarrow 2\,O_3$$

الحلّ:

وفق قانون حفظ الكتلة، يجب أن تتساوي كتلة الكميات المتفاعلة مع كتلة الكميات المُنتجَة. ولأنّ هذا التّفاعل يتضمن متفاعلاً واحدًا ومنتجًا واحدًا آخر. وجب ألا نتفاجأ إذا علمنا أنّ 64 جم من التّفاعل تنتج 64 من النواتج. وإليك خطوات الحلّ:

الخطوة 1: حوّل جرامات الأكسجين O_2 إلى مولات من O_2:

(64 جم ~~O_2~~) × (مولا واحدا O_2 / 32جم ~~O_2~~) = مولين O_2

الخطوة 2: حوّل مولات O_2 إلى مولات O_3:

(مولين ~~O_2~~) × (مولين O_3 / 3 ~~مول O_2~~) = 1.33 مول O_3

الخطوة 3: حوّل مولات O_3 إلى جرامات O_3:

(1.33 مول ~~O_3~~) × (48جم O_3 / 1~~مول O_3~~) = 64جم O_3

عينة مسألة 4

ما كتلة أول أكسيد النيتروجين (NO، 30 و. ك. ذ) المتشكل عند تفاعل 28 جم من النيتروجين (N_2، 28 غم و. ك. ذ) مع 32 جم من الأكسجين (O_2، 32 و. ك. ذ) في التّفاعل الآتي؟

$$N_2 + O_2 \longrightarrow 2NO$$

ماذا عن اتحاد 28 جم من النيتروجين، N_2، مع 40 جم من الأكسجين، O_2؟

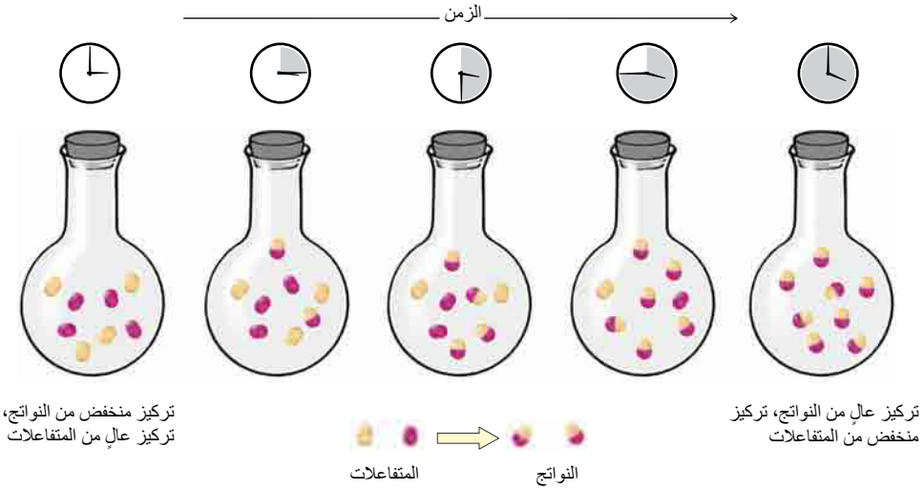
الحلّ:

هناك عدة طرق لحل هذه المسألة. إحدى هذه الطرائق هي إدراك أنّ 28 جم من N_2 هي مول واحد من N_2، وأنّ 32 جم من O_2 هي مول واحد من O_2. ووفق المعادلة الموزونة، فإنّ تفاعل مول واحد من O_2 ينتج مولين من NO. إنّ كتلة مولين من NO هي:

(مولان ~~NO~~) × (30جم NO / 1~~مول NO~~) = 30جم NO

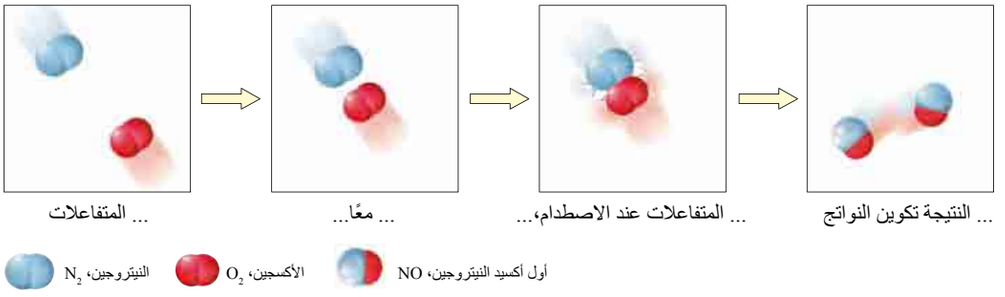
وهي كتلة المتفاعلات نفسها. كما يجب أن تكون، استنادًا إلى قانون حفظ الكتلة.

إنّ اتحاد 40 جم من الأكسجين مع 28 جم من النيتروجين، يُبقي 8 جم من الأكسجين زيادة دون تفاعل. إنّ 32 جم من الأكسجين فقط هي التي تتفاعل مع النيتروجين، مُنتجةً 60 جم من NO، مع بقاء 8 جرامات من الأكسجين دون تفاعل.



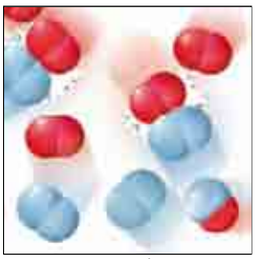
الشّكل 6.17

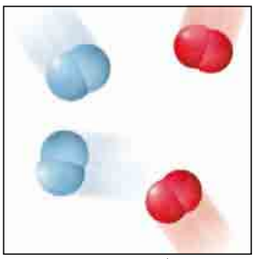
مع مرور الزمن، يمكن أن تتحول المتفاعلات في دورق التّفاعل إلى نواتج. إذا حدث ذلك بسرعة فإنّ معدل التّفاعل يكون عاليًا. ولكن إذا حدث ذلك ببطء، فسيكون معدل التّفاعل بطيئًا.



الشّكل 7.17
تصطدم الجزيئات المتفاعلة معًا في أثناء التّفاعل.

ما الذي يُحدِّد معدل التّفاعل الكيميائيّ؟ الجواب معقد. إلا أنّ العامل المهم هو أن جزيئات المواد المتفاعلة يجب أن تكون متلاصقة ماديًّا. ولأنّ الجزيئات تتحرك بسرعة، فإنّ هذا التلاصق الماديّ يمكن وصفه بدقة على أنّه صدام. ويمكن توضيح العلاقة بين الصدامات الجزيئية ومعدل التّفاعل بدراسة تفاعل غاز النيتروجين مع غاز الأكسجين لتكوين أول أكسيد النيتروجين، كما في الشّكل 7.17.

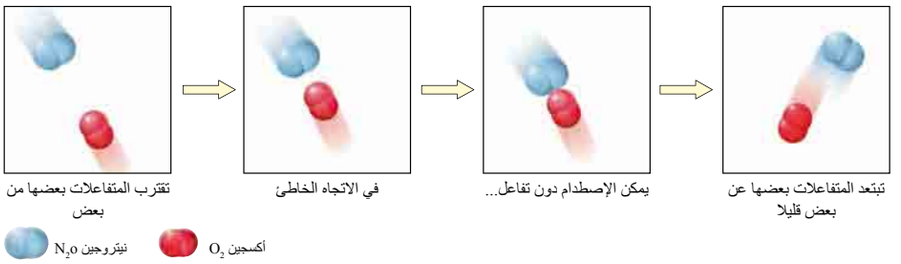

أكثر تركيز


أقل تركيز

الشّكل 8.17
كلما كان تركيز عينة النيتروجين والأكسجين أكثر، زادت احتمالية اصطدام جزيئات النيتروجين والأكسجين معًا لتكوين أول أكسيد النيتروجين.

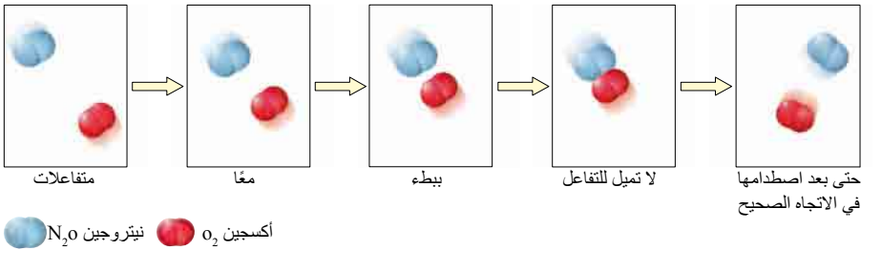
لحدوث التّفاعل: يجب أن تصطدم الجزيئات المتفاعلة، لأنّ ازدياد عدد الصدامات يزيد من سرعة التّفاعل. وتعدّ زيادة تركيز المواد المتفاعلة إحدى الطرائق الفاعلة لزيادة عدد الصدامات. يوضح الشّكل 7.17 أنه عند تركيز عالٍ، يزداد عدد الجزيئات في حجم معين، وهذا يجعل الصدامات بين الجزيئات أكثر احتمالا. وللمقارنة، خذ مجموعة من الناس فوق صالة رقص؛ كلما زاد عدد الراقصين زادت ارتطامات بعضهم ببعض. إن زيادة تركيز جزيئات النيتروجين والأكسجين يؤدي إلى زيادة عدد الصدامات بين هذه الجزيئات. وعليه، يزداد عدد جزيئات أول أكسيد النيتروجين المتكونة في فترة زمنية معينة.

لا تؤدي الصدامات جميعها بين الجزيئات المتفاعلة إلى تكوين نواتج. ولكن يجب أن تصطدم الجزيئات باتجاهات محددة لكي يحدث التّفاعل. فالنيتروجين والأكسجين مثلًا، يمكن أن يكوّنا أول أكسيد النيتروجين إذا اصطدما باتجاهات متوازية كما في الشّكل 7.17. إذا كان التصادم باتجاهات متعامدة كما في الشّكل 9.17، فإنّ أول أكسيد النيتروجين لا يتشكل. ويكون متطلب الاتجاه أكثر دقة للمركبات الكبيرة، والتي يكون لها أكثر من اتجاه.



الشّكل 9.17
يمكن لاتجاهات الجزيئات المتفاعلة عند التصادم أن تحدد حدوث التّفاعل من عدمه. يميل الاصطدام التعامدي بين جزيئات النيتروجين N_2 وجزيئات الأكسجين، O_2 إلى عدم تكون جزيئات من النواتج.

وهناك سبب آخر في ألا تؤدي التصادمات جميعها إلى تكوين نواتج، وهو أنّ الجزيئات المتفاعلة يجب أن تصطدم بكمية كافية من الطّاقة الحركية حتى تستطيع تحطيم روابطها. في هذه الحالة فقط يكون من المحتمل أنّ تغير الذرات في الجزيئات المتفاعلة أنماط الربط مع شركائها وتكوين جزيئات جديدة. إنّ الروابط في جزيئات N_2، O_2، مثلا، تكون قوية جدًّا. ولكي تُحطّم هذه الروابط، يجب أن تحتوي الصدامات بين هذه الجزيئات على كميات كافية من الطّاقة. وكنتيجة لذلك، فإنّ الصدامات بين جزيئات O_2 و N_2 البطيئة الحركة، حتى لو كان الصدام بالاتجاهات الملائمة، يمكن ألا يؤدي إلى تكوين NO، كما في الشّكل 10.17.



الشّكل 10.17

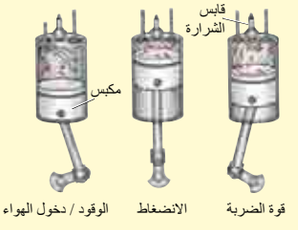
يمكن للجزيئات البطيئة الحركة أن تصطدم بقوة غير كافية لتحطيم روابطها. ونتيجة لذلك، لا يمكنها التّفاعل وتكوين جزيئات كنواتج.

كلما ارتفعت درجة حرارة المادة، كانت جزيئاتها أسرع في الحركة، والصدامات بينها أكثر قوة. وهكذا، فإنّ درجة الحرارة المرتفعة تزيد من سرعة التّفاعل. فمثلًا، جزيئات النيتروجين والأكسجين التي تشكل غلافنا الجوي، تصطدم باستمرار معًا . ولكن، لا تملك هذه الجزيئات الطّاقة الحركية الكافية لتشكيل أول أكسيد النيتروجين عادة. إلا أنّ حرارة صاعقة البرق تزيد من طاقة حركة هذه الجزيئات إلى درجة أنّ جزءًا كبيرًا من الصدامات بين الجزيئات في جوار الصاعقة يُشكل أول أكسيد النيتروجين. وكما نوقش في افتتاحية هذا الفصل، فإنّ أول أكسيد النيتروجين المتكوّن بهذه الطريقة يتعرض لتفاعلات جوية متزايدة لتشكيل مواد كيميائية تُعرف بالنترات، والتي تعتمد عليها النباتات للبقاء حية. هذا مثال على *تثبيت النيتروجين* في التربة، والذي ربما درسته في منهج علوم الحياة.

تتضمَّن علوم الحياة تطبيقات رائعة للكيمياء، يعد تثبيت النيتروجين أحد هذه الأمثلة، وأخرى بما فيها التمثيل الضوئي، والتنفس الخلوي، والجينات الجزيئية. لذا فهناك فوائد مميزة لتعلم الكيمياء قبل التقدم في علوم الحياة.

نقطة فحص

تعمل آلة الاحتراق الداخلي بسحب مزيج من الهواء وبخار الجازولين إلى حجرة. ويكون عمل المكبس حينها ضغط الغازات إلى حجم أصغر قبل الاشتعال من شرارة القابس. ما فائدة ضغط البخار إلى حجم أقل؟

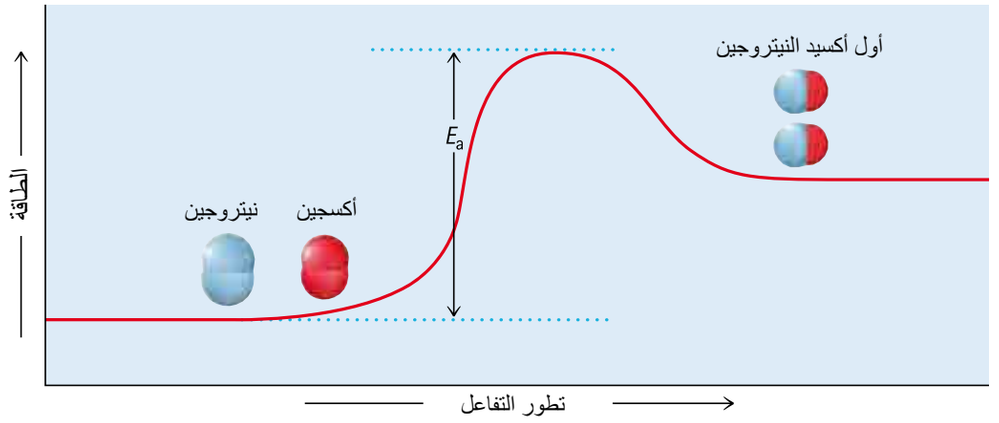


هل كانت هذه إجابتك؟

عمليًّا، يزيد ضغط البخار إلى حجرات صغيرة من التركيز. ولهذا، تزداد عدد الصدامات بين الجزيئات التي تُسرِّع بدورها التّفاعلَ الكيميائيّ. وكما نوقش في الجزء 7.2، فإنّ الضغط يزيد درجة الحرارة التي تعزز التّفاعل الكيميائيّ أيضًا.

يمكن الحصول على الطّاقة اللازمة لتحطيم الروابط من امتصاص الإشعاع الكهرومغناطيسي. فعند امتصاص الإشعاع من الجزيئات المتفاعلة، تبدأ الذرات في الجزيئات الاهتزاز بسرعة بحيث يمكن تحطيم الروابط بينها بسهولة. ويكون الامتصاص المباشر للإشعاع الكهرومغناطيسي في العديد من الحالات كافيًا لتحطيم الروابط الكيميائيّة، وبدء تفاعل كيميائي. إنّ ملوث الغلاف الجوي المألوف، ثاني أكسيد النيتروجين، NO_2، مثلًا، يمكن أن يتحول إلى أول أكسيد النيتروجين والأكسجين الذري عند تعرضه لضوء الشّمس:

$$NO_2 + \text{ضوء الشمس} \rightarrow NO + O$$

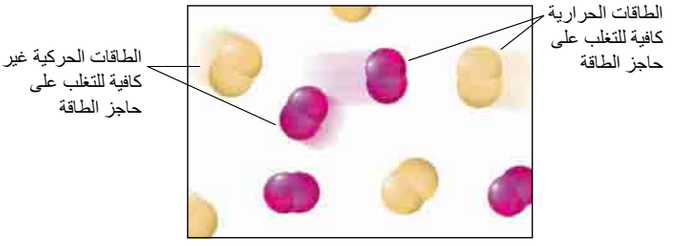


الشّكل 11.17
يجب أن تكتسب الجزيئات المتفاعلة الحد الأدنى من الطّاقة، تسمى طاقة التنشيط، Ea، قبل أن تتحول إلى إنتاج جزيئات.

إنّ تحطيم الروابط هي الخطوة الأولى الضرورية في معظم التّفاعلات الكيميائيّة، سواء نتجت عن الصدامات، أم عن امتصاص الإشعاع الكهرومغناطيسي، أم من كليهما. ويمكن النظر إلى الطاقة اللازمة للتحطيم الأولي للروابط على أنها حاجز الطّاقة. ويسمّى الحدُّ الأدنى اللازم للتغلب على حاجز الطّاقة هذا **طاقةَ التنشيط** (E_a) ***(Activation Energy)***.

في التّفاعل بين النيتروجين والأكسجين لتشكيل أول أكسيد النتروجين، فإنّ طاقة التنشيط عالية جدًّا (لأن الروابط في N_2, O_2 قوية) بحيث تستطيع جزيئات النيتروجين والأكسجين السريعة فقط امتلاك الطّاقة الكافية للتفاعل. ويبين الشّكل 11.17 طاقة التنشيط كحدبة عمودية.

تناظر طاقة التنشيط في التّفاعل الكيميائيّ الطّاقة التي تحتاج إليها السيارة للصعود إلى قمة تلّ. وبالمثل، يمكن أن تتحول الجزيئات المتفاعلة إلى جزيئات نواتج فقط إذا امتلكت الجزيئات المتفاعلة مقدارًا من الطّاقة يساوي طاقة التنشيط أو اكبر منها.



الشّكل 12.17
بسبب امتلاك الجزيئات المتفاعلة السريعة طاقة كافية للتغلب على حاجز الطّاقة، فإنها ستكون أول من تتحول إلى جزيئات النواتج.

عند أي درجة حرارة معلومة، هناك توزيع عريض لطاقات الحركة للجزيئات المتفاعلة. يتحرك بعضها ببطء، في حين يتحرك بعضها الآخر بسرعة. وكما ناقشنا في الجزء 1.6 ، فإنّ درجة حرارة المادة ترتبط بمعدل طاقات الحركة لهذه الجزيئات جميعها. إن القليل من الجزيئات المتفاعلة المتحركة بسرعة في الشّكل 12.17 لها طاقة كافية لعبور حاجز الطّاقة، وهي أول ما تتحول إلى جزيئات نواتج.

عند ارتفاع درجة حرارة المواد المتفاعلة، يزداد عدد الجزيئات التي تمتلك طاقة كافية لعبور الحاجز. ولهذا، تزيد سرعة التّفاعلات بارتفاع درجات الحرارة عمومًا. بالمقابل، عند درجات الحرارة المنخفضة، تمتلك قليل من الجزيئات طاقة كافية لعبور الحاجز. لذا، تتباطأ التّفاعلات، على العموم، عند درجات حرارة منخفضة.

لتصبح مادتان كيميائيتان قادرتين على التّفاعل، يجب أن: 1- يحصل تصادم بالاتجاهات الصحيحة. 2- تمتلك المادتان طاقةً حركيةً كافيةً للبدء في تحطيم الروابط الكيميائيّة لكي تتشكل روابط جديدة. إنّ هذه جميعها تعدّ أوجها لنظرية أوسع تعرف بنظرية الحركة الجزيئية.

■ **نقطة فحص**

ما الجهاز المستخدم لإبطاء السرعة التي تنمو فيها الكائنات الدقيقة على الغذاء؟

هل كانت هذه إجابتك؟

الثلاجة! إنّ الكائنات الدقيقة كعفن الخبز، موجودة في كلّ مكان، ويصعب تجنبها. يتمّ تخفيض درجة حرارة الكائن الدقيق الملوث للغذاء، حيث تقلّل الثلاجة من معدل التّفاعلات الكيميائيّة التي تعتمد عليها الكائنات الدقيقة في نموها. وعليه، فإنّ فترة صلاحية الغذاء ستطول.

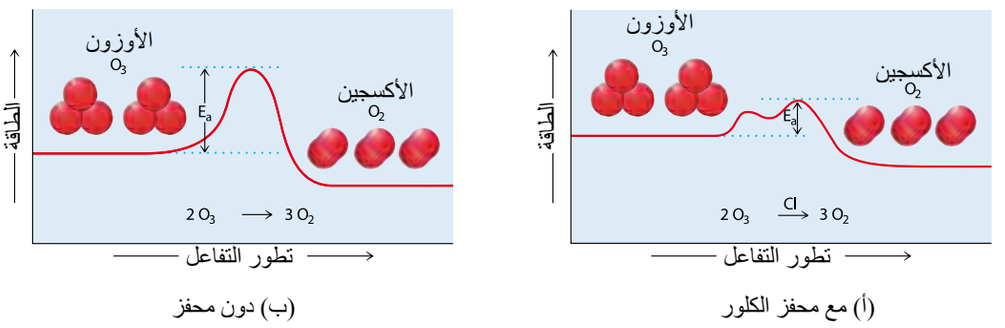
الشّكل 13.17
لا يستطيع هذا التمساح الحركة على الأرض في ليلة باردة. عند الضحى، كما يشاهد هنا، فإنه يبدأ الحركة والابتعاد عن الطريق حينما يشعر بالدفء.

تتأثر معظم التّفاعلات بدرجة الحرارة بهذه الطريقة، بما فيها تلك التّفاعلات التي تحدث في الأجسام الحية. تكون درجة حرارة أجسام الحيوانات التي تنظّم درجة حرارتها الداخلية كالبشر مثلًا، ثابتة تقريبًا. ولكن درجة حرارة أجسام بعض الحيوانات، كالتمساح المبين في الشّكل 13.17، ترتفع وتنخفض بحسب درجة حرارة البيئة. ففي يوم دافئ، "تتسارع" التّفاعلات الكيميائيّة في جسم التمساح، في حين تنخفض معدل هذه التّفاعلات في يوم بارد. ونتيجة لهذا، تكون حركات التمساح بطيئة.

4.17 المحفّزات

كما ناقشنا في الجزء السابق، فإنّ زيادة تركيز درجة حرارة المواد المتفاعلة أو زيادتها يجعل التّفاعل الكيميائيّ أسرع. وهناك طريقة ثالثة لزيادة معدّل التّفاعل وهي بإضافة **محفّز** وهو أيّ مادة تزيد من سرعة التّفاعل الكيميائيّ بتقليل طاقة التنشيط. ويمكن للمحفّز أن يكون جزءًا من التّفاعل، ولكنه يعاد كمنتج للتفاعل. وهكذا يكون متوافرًا للاشتراك كمتفاعل في التّفاعلات اللاحقة.

عادة ما تكون عملية تحويل الأوزون، O_3، إلى أكسجين، O_2، بطيئة، بسبب زيادة طاقة التنشيط النسبية لهذا التّفاعل، كما يوضح الشّكل 14.17أ تعمل ذرات الكلور بوصفه محفّزًا، وتقلل من حاجز الطّاقة، كما في الشّكل 14.17ب. وبذلك يسير التّفاعل بسرعة أكبر.



الشّكل 14.17
(أ) تدل طاقة التنشيط العالية نسبيًّا (حاجز الطّاقة) على أنّ جزيئات الأوزون الأعلى طاقة هي تلك التي تتفاعل لتكوين جزيئات الأكسجين. (ب) يخفض وجود ذرات الكلور طاقة التنشيط، وهذا يعني أنّ مزيدًا من الجزيئات المتفاعلة يمتلك طاقة لتكوين نواتج. يسمح وجود الكلور للتفاعل أن يتم بخطوتين، وتقابل طاقتي التنشيط الأصغر لهذه الخطوات. (لاحظ أنّ العرف يقضي بكتابة المحفّز فوق سهم التّفاعل.)

لمعلوماتك

■ قبل سقوط الاتحاد السوفيتي، سُمح للغاز الطبيعي بالتسرب إلى الغلاف الجوي من العديد من مواقع الحفر في سيبيريا، على افتراض عدم وجود قيمة اقتصادية للغاز الطبيعي. وبعد سقوط الاتحاد السوفيتي، أغلقت هذه الآبار لمنع الغاز من التسرب. في غضون أسابيع، سجلت أجهزة مراقبة المناخ في مونالو *Maunaloa* على الجانب الآخر من الكوكب انخفاضًا ملموسًا على مستويات الميثان ونواتجه، وثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. إنّ الأثر الذي نسببه في الغلاف الغازي كبير.

إنّ الكلور الذري يقلّل حاجز الطّاقة لهذا التّفاعل عن طريق توفير مسارات بديلة لتفاعلات وسيطية. إنّ كلّ تفاعل يُنقص طاقة التنشيط بحيث تصبح أقلّ من التّفاعل غير المحفز. تتضمن هذه المسارات البديلة خطوتين:

$$\underset{\text{كلور}}{Cl} + \underset{\text{أوزون}}{O_3} \longrightarrow \underset{\text{أول أكسيد الكلور}}{ClO} + \underset{\text{أكسجين}}{O_2}$$

ثم يتفاعل أول أكسيد الكلور مع جزيء أوزون آخر لإعادة تكوين ذرة كلور بالإضافة إلى إنتاج جزيئين من الأكسجين:

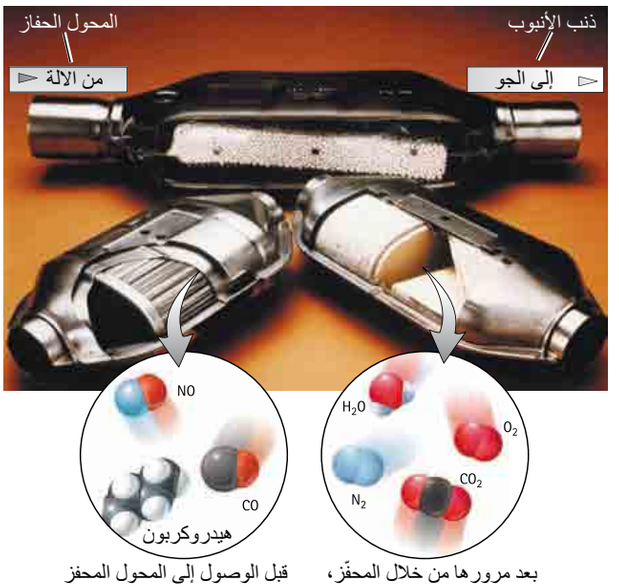
$$\underset{\text{أول أكسيد الكلور}}{ClO} + \underset{\text{أوزون}}{O_3} \longrightarrow \underset{\text{كلور}}{Cl} + \underset{\text{أكسجين}}{2O_2}$$

على الرّغم من استهلاك الكلور في التّفاعل الأول، فقد تم إعادة إنتاجه في التّفاعل الثاني، والنتيجة هي أنّ الكلور لم يُستهلك. وفي الوقت نفسه، فقد تم تحويل جزيئين من الأوزون بسرعة إلى ثلاثة جزيئات من الأكسجين. ولهذا، يعدّ الكلور محفزًا لتحويل الأوزون إلى أكسجين، لأنّ الكلور يسرّع التّفاعل، ولكنه لا يُستهلك فيه .

تعمل ذرات الكلور في طبقة الستراتوسفير بوصفه محفّزًا لتحطيم طبقة أوزون الأرض. تشير الدلائل إلى أنّ ذرات الكلور يعاد توليدها في الستراتوسفير كمنتجات من غازات الكلور والفلور والكربون (CFCs) والتي هي صناعة بشرية، وتستخدم بكثرة كمائع تبريد في المبردات ومكيّفات الهواء. إنّ تحطيم طبقة الأوزون يُعدّ أمرًا خطيرًا لدوره في حمايتنا من أشعة الشمس فوق البنفسجية الضارّة. يقدر أن ذرة كلور واحدة في طبقة الأوزون تستطيع تحفيز تحويل 100,000 جزيء أوزون إلى جزيئات أكسجين في عام أو عامين قبل أن تزال ذرة الكلور بعمليات طبيعية.

لقد استطاع الكيميائيّون تسخير طاقة الحفّاز للعديد من الأسباب المفيدة. مثلا، تحتوي الغازات العادمة التي تَنتُج عن محرك السيارة على العديد من الملوثات مثل أول أكسيد النيتروجين، وأول أكسيد الكربون، وأبخرة الوقود غير المحترق (كربون الهيدروجين). وللتقليل من كمية هذه الملوثات التي تدخل الغلاف الغازي؛ تزود معظم السيارات بمحولات محفّزة كما في الشّكل 15.17. يعمل المحفّز الفلزي في المحوّل على زيادة سرعة التّفاعلات التي تحول الملوثات في عوادم السيارات إلى مواد أقل سُمّية. يتحول أول أكسيد النيتروجين إلى نيتروجين وأكسجين، كما يتحول أول أكسيد الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون، في حين يتحول الوقود غير المحترق إلى ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء؛ لأنّ المحفّزات لا تستهلك في التّفاعلات التي تقوم بتسهيلها، إنّ محولًا محفّزًا واحدًا يمكن أن يستمر في العمل بفاعلية طيلة عمر السيارة.

أدت المحولات المحفزة بالإضافة إلى الرقاقات التي تسيطر على النسب بين الوقود والهواء إلى انخفاض ملموس لانبعاث الملوثات. تطلق السيارة العادية، في عام 1960م، نحو 11 جم من الوقود غير المحترق، و4 جم من أكسيد النيتروجين، و84 جم من أول أكسيد الكربون لكلّ ميل تتحركه، في حين تطلق السيارة المحسّنة في عام 2000 أقلّ من 0.5 جم من الوقود غير المحترق، وأقلّ من 0.5 جم من أكسيد النيتروجين، و3 جم فقط من أول أكسيد الكربون لكلّ ميل تقطعه. لقد تم تعويض هذا التحسين في نوعيات السيارات بزيادة عدد السيارات المستخدمة، كما ترى في الازدحام المروري في الشّكل 16.17 كما تم أيضا التعويض بازدياد عدد السيارات الرياضية، والتي تزيد من التلوث.



قبل الوصول إلى المحول المحفز يحتوي العادم على الملوثات مثل NO، CO و الهيدروكربونات.

بعد مرورها من خلال المحفّز، يحتوي العادم على بخار الماء، O_2، N_2 و CO_2.

الشّكل 15.17

يقلل المحول المحفز الملوثات الضارة الناتجة عن الاحتراق بتحويلها من منتجات ضارة مثل NO، CO والهيدروكربونات الضارة إلى نواتج غير ضارة مثل N_2، وO_2 وCO_2. يكون المحفز عادة من البلاتين، Pt أو البلاديوم، Pd، أو الروبيديوم، Rd.

تعتمد الصناعة الكيميائيّة على المحفِّزات بسبب تخفيضها لتكاليف الصناعة وذلك بتخفيض درجة الحرارة اللازمة. وكذلك بزيادة كمية المنتج دون استهلاك. وفي الحقيقة فإنّ أكثر من 90% من البضائع المصنعة تنتج بالاستعانة بالمحفِّزات، التي لولاها لكان سعر البنزين أعلى كثيرًا، بالإضافة إلى أسعار البضائع الاستهلاكية كالمطاط، والبلاستيك، والأدوية، وقطع السيارات، والأقمشة، والمواد الغذائية المنتجة بالأسمدة الكيميائيّة. تعتمد الكائنات الحية على نوع خاص من المحفزات تعرف بـ*الإنزيمات*، والتي تسمح لتفاعلات الكيمياء الحيوية بالحدوث بطريقة سهلة. يمكن التعلم أكثر عن طبيعة الإنزيمات وسلوكها في مقرر العلوم الحياتية.

نقطة فحص

كيف يخفض المحفّز طاقة التنشيط في التّفاعل الكيميائيّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يزوّد المحفّز بمسارات بديلة ويسهّل الحصول عليها لإتمام حدوث التّفاعل الكيميائيّ.

الشّكل 16.17

إنّ عوادم السيارات اليوم أنظف كثيرًا مما كانت عليه قبل اختراع المحول المحفز، ولكن هناك المزيد من السيارات المستعملة اليوم. في عام 1960م، كان هناك نحو 74 مليون سيارة في الولايات المتحدة. وفي عام 2003م، كان هناك 243 مليون سيارة مسجلة تقريبًا.

5.17 الطّاقة والتّفاعلات الكيميائيّة

كما ناقشنا في الجزأين السابقين، يجب أن تحتوي المتفاعلات على مقدار من الطّاقة حتى تتغلب على طاقة التنشيط ويحدث التّفاعل. وعند إتمام التّفاعل، فإمّا أن يكون هناك إطلاق طاقة صافٍ أو امتصاص صافٍ لها. تسمّى التّفاعلاتُ التي يكون فيها إطلاق صافٍ للطاقة التّفاعلَ الطارد للحرارة (**إكسوثيرمي**) (*Exothermic*). تعدّ الصواريخُ التي تحمل السفن إلى الفضاء وتوهج المعسكرات بلون أحمر حار أمثلةً على التّفاعلات الطاردة للحرارة. وتسمّى التّفاعلاتُ التي يكون نتيجتها امتصاص الطاقة تفاعلات ماصةً للحرارة (**إندوثيرمي**)(*Endothermic*). يتضمن البناء الضوئي سلسلة من التّفاعلات الماصة للحرارة والتي تحدث بسبب امتصاص طاقة ضوء الشمس. يوضح الشّكل 17.17 كلًّا من التّفاعلات الطاردة للحرارة والماصة لها، والتي يمكن استيعابها من خلال مفهوم طاقة الرب(*Bond Energy*).

الشّكل 17.17

إنّ محصلةَ التفاعلات الكيميائيّة التي تتم بحرق الخشب هي تحرير للطّاقة. أمّا محصلة التّفاعلات الكيميائيّة التي تحدث في التركيب الضوئيّ للنبات فهي امتصاص لها.

خلال التّفاعل الكيميائيّ، تُحطّم الروابط الكيميائيّة ويُعاد ترتيب الذرات لتكوين روابط كيميائية جديدة. يتضمن هذا التحطيم والتكوين للروابط الكيميائية تغييرًا في الطّاقة. بالتناظر، وللتشبيه، تأمّل زوجًا من المغانط. لفصله بعضهما عن بعض تحتاج إلى "طاقة عضلية". وعلى العكس، عندما يتصادم المغناطيسان يصبحان أسخن من ذي قبل، وهذه السخونة دلالة على تحرير الطاقة. تمتص المغانط طاقة لكي ينفصلا، ويطلقان طاقة حينما يلتصقان، وينطبق المبدأ نفسه على الذرات، حيث إنّك بحاجة إلى بذل طاقة لفصل الذرات المرتبطة معًا، وعند اتحاد هذه الذرات تنتج طاقة، عادة ما تكون على شكل طاقة حركية للذرات أو الجزيئات، أو إشعاعات مغناطيسية أو كليهما.

تكون كمية الطّاقة اللازمة لِفصل ذرتين مرتبطتين معًا هي كمية الطّاقة المتحررة نفسها عند اتحادهما معًا. تسمّى هذه الطّاقةُ **طاقة الربط** سواء أكانت ممتصة عند تحطيم رابطة، أو متحرّرة عند تكوين رابطة. إنّ لكلّ رابطة كيميائية طاقة ربط مميزة لها. ومثال هذا أنّ طاقة ربط الهيدروجين بالهيدروجين هي 436 كيلو جول/مول. وهذا يعني امتصاص 436 كيلو جول من الطّاقة عند تحطيم روابط مول واحد من الهيدروجين بالهيدروجين. إنّ الروابط المختلفة المتعلقة بعناصر مختلفة لها طاقات ربط مختلفة. كما يبين الجدول 1.17. يمكنك الرجوع إلى هذا الجدول وأنت تدرس هذا الجزء. ولكن، لا تحفظ طاقات الربط هذه. بل حاول التركيز على فهم معانيها.

الجدول 1.17 طاقات ربط مختارة

الرّابطة	طاقة الربط (كيلو جول/مول)	الرّابطة	طاقة الربط (كيلو جول/مول)
H—H	436	N—N	159
H—C	414	O—O	138
H—N	389	Cl—Cl	243
H—O	464	C═O	803
H—F	569	N═O	631
H—S	339	O═O	498
H—Cl	431	C≡C	837
C—C	347	N≡N	946

اصطلاحًا، تمثل طاقة الربط الموجبة كمية الطّاقة الممتصة عند تحطيم الرّابطة. في حين تمثل طاقة الربط السالبة كمية الطّاقة المتحررة عند تكوين الرّابطة. وعليه، خذ في الحسبان الإشارات السالبة والموجبة عندما تحسب صافي كمية الطّاقة المتحررة أو الممتصة خلال التّفاعل. وجرت العادة أن تعين إشارة موجبة للطاقة الممتصة وإشارة سالبة للطاقة المتحررة عند إجراء الحسابات. فعلى سبيل المثال، عند حساب الطّاقة لتحطم روابط مول واحد من H—H فستكتب 436+ كيلو جول للإشارة إلى امتصاص الطّاقة. وعندما يتعلق الأمر بتكوين مول واحد من روابط H—H فستكتب 436- كيلو جول للإشارة إلى أن الطّاقة تحررت. وسنجري بعض العينات الحسابية بعد قليل.

■ **نقطة فحص**

هل للروابط التساهمية المفردة جميعها طاقة الربط نفسها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا. تعتمد طاقة الربط على أنواع الذرات المرتبطة. فمثلا، لرابطة H—H المفردة طاقة ربط تساوي 436 كيلو جول/مول. أما الرّابطة المفردة H—O فلها طاقة ربط تساوي 464 كيلو جول/مول. إنّ الروابط المفردة التساهمية جميعها ليست متساوية في طاقة ربطها.

يتضمن التّفاعل الطارد للحرارة تحرير طاقة صافية

في أي تفاعل كيميائي، يكون مجموعُ الطّاقة الممتصة من تحطّم الروابط في المواد المتفاعلة مختلفًا دائمًا عن مجموع الطّاقة المتحررة من النواتج. خذ تفاعل الهيدروجين مع الأكسجين لتكوين الماء:

$$H—H + H—H + O═O \longrightarrow H—O—H + \begin{matrix} H \\ \diagdown \\ O \\ \diagup \\ H \end{matrix}$$

تذكر أنّ الروابط التي تتشكّل عن الروابط التي تتحطم تختلف في التّفاعل. ولهذا فإنّ طاقات الربط للروابط المتشكلة تختلف عنها في الروابط المحطمة.

ترتبط ذرات الهيدروجين مع ذرات الهيدروجين، كمتفاعلات وترتبط ذرات الأكسجين ثنائيًّا معًا. مجموع الطّاقة المتصة عند تحطم هذه الروابط هو 1370+ كيلو جول.

نوع الرّابطة	عدد المولات	طاقة الربط	مجموع الطّاقة
H—H	2	+436 كيلو جول/مول	+872 كيلو جول
O = O	1	+498 كيلو جول/مول	+498 كيلو جول
		مجموع الطّاقة الممتصة	+1370 كيلو جول

في النواتج هناك أربع روابط هيدروجين – أكسجين. إنّ مجموع الطّاقة المتحررة عند تشكيل هذه الروابط هو – 1856 كيلو جول.

نوع الرّابطة	عدد المولات	طاقة الربط	مجموع الطّاقة
H—O	4	-464 كيلو جول /مول	-1856 كيلو جول
		مجموع الطّاقة المتحررة	-1856 كيلو جول

تزيد كمية الطّاقة المتحررة في هذا التّفاعل على كمية الطّاقة المتصة. بحسب صافي الطّاقة في هذا التّفاعل بجمع هاتين الكميتين:

صافي طاقة التّفاعل = الطّاقة المتصة + الطّاقة المتحررة

= + 1730 كيلو جول + (- 1856 كيلو جول)

= - 486 كيلو جول

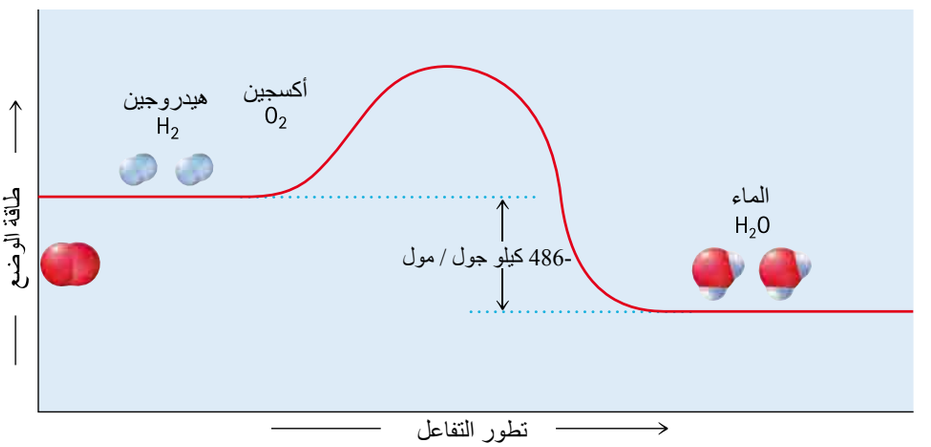
تدل الإشارة السالبة لصافي الطّاقة على أنّ هناك صافي طاقة متحررة. لذا فإنّ التّفاعل طارد للحرارة. ولأيّ تفاعل طارد للحرارة، يمكن اعتبار الطّاقة نواتج. وأحيانا تضمن بعد السهم في المعادلة الكيميائيّة:

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O + \text{طاقة}$$

في التّفاعل الطارد للحرارة، تكون طاقة الوضع للذرات في الجزيئات الناتجة أقلّ من طاقة الوضع للجزيئات المتفاعلة. وهذا موضح في الشّكل الجانبي للتفاعل المبين في الشّكل 18.17. يعود انخفاض طاقة الوضع للذرات في الجزيئات المتفاعلة إلى أنها متماسكة بقوة معًا؛ هذا شبيه بتجاذب المغناطيسين، حيث تقل طاقة وضعهما عند اقتراب كل منهما من الآخر. يُعوّض النقص في طاقة الوضع بكسب في طاقة الحركة. وكمغناطيسين يتحركان بحرية عندما يلتقيان ويتحركان بسرعات عالية، تتحول طاقة الوضع في المتفاعلات إلى ذرات وجزيئات تتحرك بسرعة عالية، وإشعاعات كهرومغناطيسية، أو كليهما.

لمعلوماتك

■ يفحص علماء ناسا بطريقة روتينية صلاحية العديد من المواد على التحمل مقابل الأكسجين الذري، O، المتوافر في المدار المنخفض لمركبة الفضاء. لقد اكتشفوا أنّ الأكسجين الذري، عمليًّا، يحول سطوح المواد العضوية إلى غاز ثاني أكسيد الكربون. كما أدركوا فائدة الأكسجين الذري في استعادة الدهان المتضرر نتيجة الدخان وغيره من الملوثات العضوية. وبتعاون العلماء مع المحافظين على الفن، تم استخدام الأكسجين الذري لاستعادة ألوان لوحات متضررة، وكان أثره رائعًا.



الشّكل 18.17

في التّفاعل الإكسوثيرمي، تكون الجزيئات الناتجة عن طاقة وضع أقلّ من الجزيئات المتفاعلة. وتكون كمية الطّاقة الناتجة الناتجة عن التّفاعل مساوية للفرق في طاقات الوضع بين المتفاعلات والنواتج.

تساوي طاقة الحركة المتحررة من هذا التّفاعل الفرق بين طاقة الوضع لكلّ من المواد المتفاعلة والنواتج، كما يشار إليه في الشّكل 18.17.

من المهم فهم أنّ الطّاقة المتحررة من التّفاعل المنتج للحرارة لا تصنع من التّفاعل. فهذه تخضع *لقانون حفظ الطّاقة*، والذي يخبرنا بأنه لا يمكن إحداث الطّاقة أو إفناؤها في التّفاعل الكيميائيّ (أو أي عملية). ولكنّ الطّاقة تتحول من شكل إلى آخر. خلال التّفاعل المنتج للحرارة، تتحرر الطّاقة التي كانت على شكل طاقة وضع، كروابط كيميائية، إلى طاقة حركية لجزيئات تتحرك بسرعة و/أو إشعاعات كهرومغناطيسية.

يعتمد مقدار الطّاقة المتحررة في تفاعل منتج للحرارة على مقدار المواد المتفاعلة. فمثلًا، إنّ تفاعل كميات كبيرة من الهيدروجين والأكسجين يُزوّد مكوك الفضاء بالطّاقة اللازمة لرفعه إلى المدار، كما في الشّكل 19.17. هناك حجرتان في الخزان المركزي الكبير، والذي يلتصق به المكوك؛ – إحداهما مليئة بسائل الهيدروجين والأخرى مليئة بسائل الأكسجين. عند الاشتعال، يمتزج هذان السائلان ويتفاعلان كيميائيًّا لتكوين بخار الماء الذي يُنتج الدفع اللازم عند قذفه إلى خارج خرطوم الصاروخ. ويتمّ الحصول على دفع إضافيّ يُعزز من زوج من صواريخ الوقود الصلب، والذي يحتوي على مزيج من بيركلورات الأمونيوم، NH_4ClO_4، ومسحوق الألومنيوم. عند الاشتعال، تتفاعل هذه المواد الكيميائيّة وتشكل نواتج تقذف من خلف الصاروخ. إنّ المعادلة الموزونة التي تمثل هذا التّفاعل هي:

$$3NH_4ClO_4 + 3Al \longrightarrow Al_2O_3 + AlCl_3 + 3NO + 6H_2O + \text{طاقة}$$

الشّكل 19.17
تستخدم مركبة الفضاء التّفاعلات الكيميائيّة للارتفاع عن سطح الأرض.

تذكر من الفصل الثاني أنه لكلّ فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه. ومثال ذلك اندفاع الصاروخ إلى أعلى عندما تندفع المواد الكيميائية إلى أسفل.

■ **نقطة فحص**

أين يذهب صافي الطّاقة المتحررة من التّفاعل المنتج للحرارة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

تذهب هذه الطّاقة لزيادة سرعات الذرات والجزيئات المتفاعلة، وغالبًا إلى إشعاعات كهرومغناطيسية.

يتضمن التّفاعل الماص للحرارة امتصاصًا صافيًا للطاقة

عندما تكون كمية الطّاقة المتحررة في النواتج أقلّ من كمية الطّاقة الممتصة عند تحطيم الروابط، يكون التّفاعل ماصًّا للحرارة. ومثال هذا تفاعل نيتروجين الغلاف الجوي والأكسجين لتكوين أول أكسيد النيتروجين، والذي هو التّفاعل المستخدم نفسه للعديد من النقاشات في الفصول الماضية:

$$N{\equiv}N + O{=}O \longrightarrow N{=}O + N{=}O$$

كمية الطّاقة الممتصة عند تحطيم الروابط الكيميائيّة هي:

نوع الرّابطة	عدد المولات	طاقة الربط	مجموع الطّاقة
$N \equiv N$	1 +	+946 كيلو جول/مول	+946 كيلو جول/مول
$O = O$	1 +	+498 كيلو جول/مول	+498 كيلو جول/مول
		مجموع الطّاقة الممتصة:	+1444 كيلو جول

كمية الطّاقة المتحررة عند تكوين روابط في النواتج هي:

نوع الرّابطة	عدد المولات	طاقة الربط	مجموع الطّاقة
N = O	2	- 631 كيلو جول/مول	- 1262 كيلو جول
		مجموع الطّاقة المتحررة:	- 1262 كيلو جول

وكما ذُكر من قبل، نحسب صافي طاقة التّفاعل بإضافة الكميتين:

صافي طاقة التّفاعل = الطّاقة الممتصة + الطّاقة المتحررة

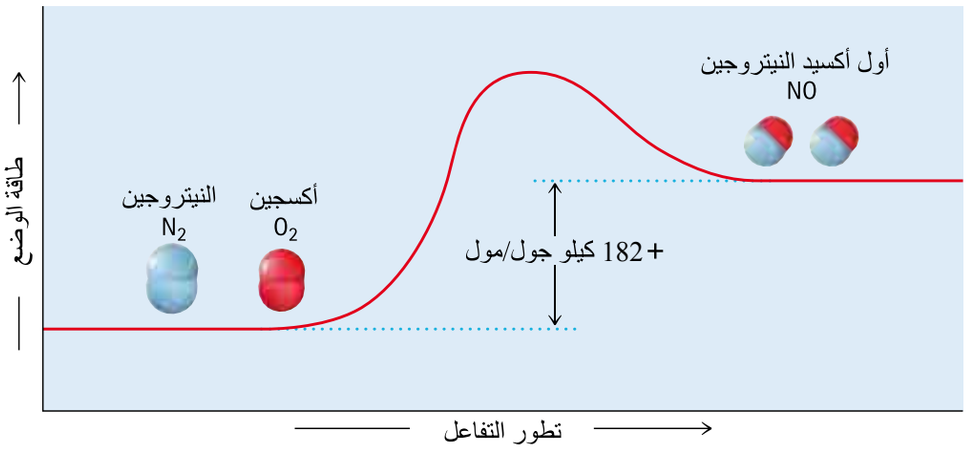
= +1444 كيلو جول + (-1262 كيلو جول)

= +182 كيلو جول

تدل الإشارة الموجبة على وجود صافي *امتصاص* للطاقة، وهذا يعني أنّ التّفاعل ماصّ للحرارة. ويمكن اعتبار الطّاقة كمتفاعل لأيّ تفاعل ماصّ للحرارة. وعليه، تُضمَّن في بعض الأحيان قبل السهم في المعادلة الكيميائيّة:

$$\text{طاقة} + N_2 + O_2 \longrightarrow 2NO$$

إنّ طاقة الوضع للذرات في الجزيئات الناتجة أعلى من طاقة الوضع للجزيئات المتفاعلة في التّفاعل الماص للحرارة. وهذا موضّح في هيئة التّفاعل في الشّكل 20.17. وإنّ رفع طاقة الوضع للذرات في جزيئات النواتج يتطلب صافي مدخل طاقة، والتي يجب أن تأتي من مصدر خارجي ما، مثل الإشعاع الكهرومغناطيسي، أو الكهرباء، أو الحرارة. وهكذا، يتفاعل النيتروجين والأكسجين لتكوين أول أكسيد النيتروجين فقط عند تسليط حرارة كبيرة، كما يحدث بجوار صاعقة البرق، أو داخل آلة الاحتراق.



الشّكل 20.17
في التّفاعل الإندوثيرمي، تكون الجزيئات الناتجة في مستوى طاقة وضع أعلى من الجزيئات المتفاعلة. وتكون محصلة الطّاقة الممتصة في التّفاعل مساوية للفرق في طاقات الوضع بين المتفاعلات والنواتج.

6.17 القصور الحراريّ (الإنتروبي) يوجّه التّفاعلات الكيميائيّة

كما نوقش في البند 6.6، فإنّ الطّاقة تميل إلى التشتت. إنها تنساب من موقع تركيزها إلى موقع انتشارها. لا تبقى طاقة المقلاة الساخنة، مثلًا، مركزة في المقلاة عند إخراج المقلاة من الفرن. ولكن الطّاقة تتشتت بعيدًا عن المقلاة إلى المحيط البارد. وبالمثل، تتشتت الطّاقة الكيميائيّة المركزة في البنزين إلى حرارة للعديد من الجزيئات الصغيرة ذات الطّاقة المنخفضة عند الحرق. يُستعمل بعض هذه الحرارة في الآلة لتسيير السيارة. في حين ينتشر ما بقي في جسمها، إلى السائل في المشاع، أو عبر أنبوب العادم.

إن التفاعلات التي تكون نتيجتها تشتتًا في الطاقة، مثل التفاعلات الإكسوثيرمية، تميل إلى الحدوث تلقائيًّا. في المقابل، تتطلب التفاعلات الإندوثيرمية أن تتركز الطاقة حول المتفاعلات، لذا لا تحدث من تلقاء نفسها.

يرى بعض العلماء أنّ ميل الطّاقة إلى الانتشار هو أحد الأسباب المركزية للعمليات الفيزيائية والكيميائيّة؛ أي أنّ العمليات التي ينجم عنها تشتت في الطّاقة تميل إلى أن تحدث وحدها؛ إنها مفضلة. وهذا يتضمن تبريد المقلاة وحرق البنزين. في الحالتين تتشتت الطّاقة في محيطها.

والعكس صحيح أيضًا. فالعمليات التي تنتج تركيزًا في الطّاقة لا تميل إلى أن تحدث؛ إنها غير مفضلة. مثلًا، لا تنساب السخونة في الغرفة لتتجمّع تلقائيًّا في المقلاة لتسخينها. وبالمثل، لا تميل الجزيئات المنخفضة الطّاقة الخارجة من عادم السيارة إلى التجمع تلقائيًّا لتكوين جزيئات بنزين عالية الطّاقة. إنّ الانسياب الطبيعي للطاقة هو دائمًا رحلة باتجاه واحد: من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل ، أو "الانتشار".

يُستخدم مصطلح "الإنتروبي" لوصف الانتشار الطبيعي للطاقة. لقد وصفت الإنتروبي في الجزء 6.6. عند تطبيق هذا المصطلح في الكيمياء، فإنّ السؤال الأساس الآتي يكون مفيدًا لنا: إذا وضعت مادتين معًا، فهل تتفاعلان معا لإنتاج مواد جديدة؟ إذا كانت نتيجة التّفاعل الكلية هي زيادة في الإنتروبي (تشتت للطاقة)، فإنّ الجواب هو نعم. وبالعكس، إذا كانت النتيجة الكلية للتفاعل نقصانًا فيها (تركيز في الطّاقة)، فلا يحدث التّفاعل من تلقاء نفسه.

باستخدام مصطلح *الإنتروبي*، فإنّك في موقع تستطيع فهم سبب الاستدامة الذاتية للتّفاعلات الاكسوثيرميه (الطاردة للحرارة)، في حين أنّ معظم التّفاعلات الإندوثيرمية (الماصّة للحرارة) تحتاج إلى حثّ مستمر. تنشر التّفاعلات الطاردة للحرارة الطّاقة إلى المحيط، مثلما تفعل المقلاة الساخنة. وهذا زيادة للإنتروبي. ولهذا، فإنّ التّفاعلات الطاردة للحرارة لها أفضلية في الحدوث. في المقابل، في التّفاعلات الماصّة للحرارة، تمتص المواد المتفاعلة الطّاقة من محيطها. إنّ هذا تركيز للطاقة، وهو يعارض الميل الطبيعي للانتشار. فالتّفاعلات الماصة للحرارة، يمكن استدامتها فقط، باستمرار تزويدها بالطّاقة من مصدر خارجي*. إنّ الشمس هي مصدر الطّاقة لتفاعلات البناء والتي هي بيت ساخن لإنتاج الإنتروبي من التّفاعلات النووية الطاردة للحرارة.

الشّكل 21.17
تستخدم بعض طاقة الشمس المشتتة لتحريك التّفاعلات الإندوثيرمية، وهي ضرورية لوظائف الكائنات الحية.

■ **نقطة فحص**

تتكون بلورات السكر طبيعيًّا ضمن محاليل السكر فوق المشبعة المائية. هل تشكيل هذه البلورات، والتي تضع جزيئات السكر بطريقة مرتبة، ينجم عنه زيادة أم نقصان في الإنتروبي؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ينتج عن تكون بلورات السكر هذه زيادة في الإنتروبي. إنّ المفتاح لزيادة الإنتروبي هنا هو تكوّن البلورات "وحدها" دون التزود بالطّاقة من مصدر خارجي. من المدهش، أن تتحرر الطّاقة عندما تقترب الجزيئات بعضها من بعض لتكوين المادة الصلبة. مثلًا، عند تجمد الماء، تسمّى الحرارةُ المنطلقة حرارةَ الانصهار (انظر الجزء 9.7). إنّ انطلاق الحرارة هو انتشار للطاقة، والتي هي بالتعريف، زيادة في الإنتروبي.

* هناك بعض الأمثلة على التّفاعلات الماصّة للحرارة والتي تحدث تلقائيًّا بامتصاص الحرارة من البيئة محدثة زيادة في الإنتروبي. إنّ المثال التقليدي هو مزج الملح بالماء (انظر النشاط الاستكشافي في نهاية الفصل). في هذه الحالات، تزداد الإنتروبي ليس بإطلاق الطّاقة بل بتشتت الذرات والجزيئات المحتوية على الطّاقة في المحلول.

ملخّص المصطلحات

المعادلة الكيميائيّة Chemical equation: تمثيل للتفاعل الكيميائيّ. تسجل فيه المواد المتفاعلة قبل السّهم الذي يشير إلى النواتج.

المتفاعلات Reactants: المواد المتفاعلة في التّفاعل الكيميائيّ.

النواتج Products: المواد الجديدة المتكونة في التّفاعل الكيميائيّ.

قانون حفظ الكتلة Law of mass conservation: المادة لا تفنى ولا تُستحدث خلال التّفاعل الكيميائيّ. بل يعاد ترتيب الذرات فقط. دون فقدان أو اكتساب أي كتلة. لتكوين جزيئات جديدة.

صيغة الكتلة formula Mass: مجموع الكتل الذرية للذرات في المركب الكيميائيّ أو العنصر.

عدد أفوجادرو Avogadro's number: عدد الجسيمات – 6.02×10^{23} – المحتوى في 1 مول من أيّ شيء.

الكتلة المولرية Molar mass: كتلة مول واحد من المادة.

معدّل التّفاعل Reaction rate: مقياس لسرعة تزايد تركيز المواد المتفاعلة في التّفاعل الكيميائيّ. أو تناقص تركيز المتفاعلات.

طاقة التّنشيط Activation energy: الحدّ الأدنى من الطّاقة اللازمة لحدوث التّفاعل الكيميائيّ.

المحفّز Catalyst: أيّ مادة تزيد من سرعة التّفاعل الكيميائيّ دون أن تُستهلك في التّفاعل.

طاردة للحرارة Exothermic: مصطلح يصف التّفاعل الكيميائيّ. والذي يكون فيه صافي تحرير الطّاقة.

ماصّ للحرارة Endothermic: مصطلح يصف التّفاعل الكيميائيّ. والذي يكون فيه صافي امتصاص للطاقة.

طاقة الرّابطة Bond energy: مقدار الطّاقة التي امتصت عند تحطيم الرّابطة الكيميائيّة أو تحررت عند تشكلها.

أسئلة مراجعة

1.17 المعادلات الكيميائيّة

1. ما هدف المعاملات في المعادلة الكيميائيّة؟
2. ما عدد ذرات كلّ من الكروم والأكسجين المشار إليها في الجانب الأيمن من المعادلة الموزونة؟

$$4Cr\ (s) + 3O_2\ (g) \longrightarrow 2Cr_2O_3(g)$$

3. ماذا تمثل الرّموز: (s)، و(l)، و(g)، و(aq) في المعادلة الكيميائيّة؟
4. لِمَ يجب أن تكون المعادلة الكيمائية موزونة؟
5. لماذا من المهم عدم تغيير الرّمز السّفليّ أبدًا في الصيغة الكيميائيّة عند موازنة المعادلة الكيميائيّة؟

2.17 عدّ الذرات والجزيئات من الكتلة

6. لماذا لا يتساوى عدد كرات كلّ من التنس والقاعدة لكتلتيهما نفسيهما؟
7. لماذا لا تحتوي الكتلة نفسها من ذرات الكربون وجزيئات الأكسجين على العدد نفسه من الجسيمات؟
8. ما كتلة ذرة صوديوم مفردة بوحدات الكتل الذرية؟
9. ما صيغة الكتلة لأول أكسيد النيتروجين. NO. بوحدات الكتل الذرية؟
10. إذا كان لديك مول واحد من الكرات. فكم كرة عندك؟
11. إذا كان لديك مولان من القروش. فما عدد القروش عندك؟
12. ما عدد مولات الماء في 18 جم من الماء؟
13. ما عدد جزيئات الماء في 18 جم من الماء؟
14. القول بأنّ لديك مولًا واحدًا من جزيئات الماء هو كقولك إنّ لديّ 6.02×10^{23} جزيء ماء. لماذا؟

3.17 معدّل التّفاعل

15. لماذا لا تؤدي التصادمات جميعها بين الجزيئات المتفاعلة إلى تكوين منتج؟
16. ماذا يحدث عادة لمعدل سرعة التّفاعل عند زيادة درجة الحرارة؟
17. أيّ الجزيئات المتفاعلة يكون أول ما يخترق حاجز الطّاقة؟
18. ما المصطلح الذي يُستخدم لوصف كمية الحدّ الأدنى من الطّاقة اللازمة لسير التّفاعل؟

4.17 المحفّزات

19. ما المحفّز الفاعل في تحطيم أوزون. O_3 الغلاف الجويّ؟
20. ما الهدف من المحوّل المحفّز؟
21. ماذا يفعل المحفّز لحاجز طاقة التّفاعل؟
22. ما الأثر النهائيّ للتفاعل الكيميائيّ في المحفّز؟
23. لِماذا تعدّ المحفّزات مهمة لاقتصادنا؟

5.17 التّفاعلات الكيميائيّة والطّاقة

24. إذا تطلب 436 كيلو جول لتحطيم رابطة. فكم كيلوجول يتحرر عند تشكيل الرّابطة نفسها؟
25. هل تستهلك الطّاقة في أيّ وقت خلال التّفاعل المنتج للحرارة؟
26. ما الذي يطلق في التّفاعل المنتج للحرارة؟
27. ما الذي يمتص في التّفاعل الماص للحرارة؟

6.17 الإنتروبي يوجه التّفاعلات الكيميائيّة

28. أين تذهب الطّاقة عندما تتشتّت؟
29. ما الذي يزداد دائمًا؟
30. لماذا تكون التفاعلات المنتجة للحرارة مستدامة ذاتيًّا؟

تمارين

1. ● زِن المعادلات الآتية:

(أ) $__ Fe(s) + __ O_2(g) \rightarrow __ Fe_2O_3(s)$

(ب) $__ H_2(g) + __ N_2(g) \rightarrow __ NH_3(g)$

(ج) $__ Cl_2(g) + __ KBr(aq) \rightarrow __ Br_2(l) + __ KCl(aq)$

(د) $__ CH_4(g) + __ O_2(g) \rightarrow __ CO_2(g) + __ H_2O(l)$

2. ● زِن المعادلات الآتية:

(أ) $__ Fe(s) + __ S(s) \rightarrow __ Fe_2S_3(s)$

(ب) $__ P_4(s) + __ H_2(g) \rightarrow __ PH_3(g)$

(ج) $__ NO(g) + __ Cl_2(g) \rightarrow __ NOCl(g)$

(د) $__ SiCl_4(l) + __ Mg(s) \rightarrow __ Si(s) + __ MgCl_2(s)$

3. ● هل المعادلة الكيميائيّة الآتية موزونة؟

$$2C_4H_{10}(g) + 13O_2(g) \longrightarrow 8CO_2(g) + 10H_2O(l)$$

4. ■ هل المعادلة الآتية موزونة؟

$$4C_6H_7N_5O_{16}(s) + 19O_2(g) \longrightarrow 24CO_2(g) + 20NO_2(g) + 14H_2O(g)$$

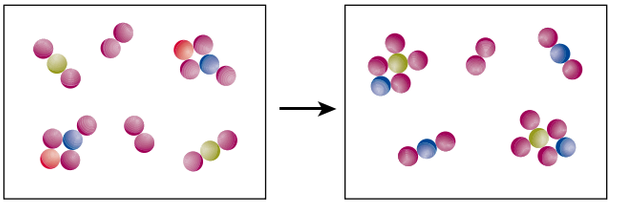
5. ● أيّ المعادلات الآتية موزونة؟

(أ) $Mg(s) + 2HCL(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$

(ب) $3Al(s) + 3Br_2(l) \longrightarrow Al_2Br_3(s)$

(ج) $2HgO(s) \longrightarrow 2Hg(l) + O_2(g)$

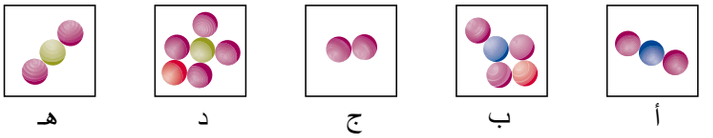
استخدم الرسوم التوضيحية الآتية للإجابة عن التمارين 6-9.



6. ■ هل هذا التّفاعل موزون؟

7. ♦ افترض أنّ التوضيحات أعلاه صورتان من فيلم سينمائي؛ واحدة قبل التّفاعل، والأخرى بعده. فما عدد الجزيئات الثنائية الذرية الممثلة في هذا الفيلم؟

8. ● يظهر أدناه على الأقلّ جزيء إضافيّ من الجزيئات المتفاعلة. أيّ هذه الجزيئات هو؟



أ ب ج د هـ

9. ■ أيّ المعادلات الآتية تصف هذا التّفاعل أفضل؟

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

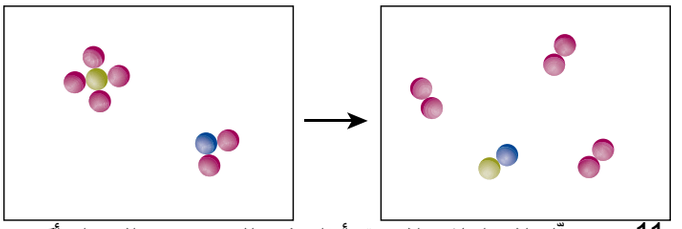
أ- $2AB_2 + 2DCB_3 + B_2 \longrightarrow 2DBA_4 + 2CA_2$

ب- $2AB_2 + 2CDA_3 + B_2 \longrightarrow 2C_2A_4 + CBA$

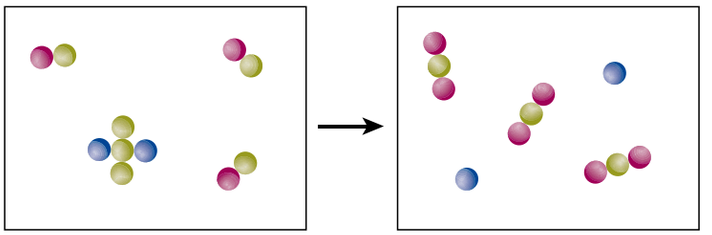
ج- $2AB_2 + 2CDB_3 + A_2 \longrightarrow 2DBA_4 + 2CA_2$

د- $2BA_2 + 2DCA_3 + A_2 \longrightarrow 2DBA_4 + 2CA_2$

10. ● تُمثّل المتفاعلات المبينة أدناه في الرسم عن اليسار الميثان، CH_4، والماء H_2O. اكتب المعادلة الكيميائيّة الموزونة التي تصف التّفاعل؟



11. ● تمثّل المتفاعلات المبينة أدناه في الرسم عن اليسار أكسيد الحديد، Fe_2O_3، وأول أكسيد الكربون، CO. اكتب المعادلة الكيميائيّة الكاملة الموزونة التي تصف التّفاعل.



12. ■ ما الصيغة الكتلية للماء، H_2O، والبروبين C_3H_6، وثنائي البروبانول C_3H_8O؟

13. ♦ أيها يحتوي على ذرات أكثر: 17.031 جم من الأمونيا، NH_3، أم 72.922 جم من كلوريد الهيدروجين، HCl؟

14. ♦ ما الذي له أكبر عدد من الجزيئات: 28 جم من النيتروجين، N_2، أم 32 جم من الأكسجين، O_2، أم 32 جم من الميثان، CH_4، أم 38 جم من الفلور، F_2؟

15. ● كم تساوي وحدتان من الكتل الذرية بالجرامات؟

16. ● ما كتلة ذرة الأكسجين بوحدات الكتل الذرية؟

17. ● ما كتلة الماء بوحدات الكتل الذرية؟

18. ■ ما كتلة ذرة الأكسجين بالجرامات؟

19. ■ ما كتلة جزيء الماء بالجرامات؟

20. ■ هل من المحتمل أن تجد عينة أكسجين كتلتها 14 و.ك.ذ؟ فسّر.

21. ● أيهما أكبر: 1.01 و.ك.ذ من الهيدروجين، أم 1.01 جم من الهيدروجين؟

22. ■ أيهما أكبر كتلة، 1.204×10^{24} جزيء من الهيدروجين الجزيئي، أم 1.204×10^{24} جزيء ماء؟

23. ♦ كم جم من الجاليوم في 145 جم من زرنيخ الجاليوم GaAs؟

24. ♦ كم ذرة من الزرنيخ في عينة زرنيخ الجاليوم، GaAs كتلتها 145 جم؟

25. ● فيم تختلف صيغة الكتلة عن الكتلة الذرية؟

26. ■ كيف يمكن لطائرة تحمل 110 أطنان من الوقود أن تطلق 340 طنًّا من ثاني أكسيد الكربون؟

27. ● ما الشرطان اللذان يجب توافرهما في التصادم بين الجزيئات المتفاعلة لتحديد ما إذا كان التصادم سينتج جزيئات جديدة؟
28. ● هل يتفاعل المحفّز مع المواد المتفاعلة؟
29. ● لماذا يستغرق الطعام الموجود في الثلاجة وقتًا أطول ليفسد؟
30. ● هل تمنع الثلاجة فساد الطعام أم تؤجله؟ فسّر.
31. ■ لماذا تحترق قطعة الخشب المتوهجة الموضوعة في الهواء ببطء، في حين تلتهب بسرعة عند وضعها في أكسجين نقيّ؟
32. ● لماذا تضاف الحرارة غالبًا إلى التفاعلات الكيميائيّة التي تجرى في المختبر؟
33. ■ تُخرج الأقراص المضادة للحموضة فقاقيع بشكل قوي في الماء، على درجة حرارة الغرفة، ولكن ببطء في مزيج بنسبة 50 : 50 من الكحول والماء عند درجة حرارة الغرفة أيضًا. اقترح تفسيرًا يتضمن العلاقة بين سرعة التّفاعل وعدد مرات التصادمات الجزيئية.
34. ■ في التّفاعلات المحفّزة المتتابعة العلمية لتكوين الأوزون من الأكسجين الجزيئي، أيّ المركبات العلمية هو المحفّز: أول أكسيد النيتروجين أم ثاني أكسيد النيتروجين؟

$$O_2 + 2NO \rightarrow 2NO_2$$
$$2NO_2 \rightarrow 2NO + 2O$$
$$2O + 2O_2 \rightarrow 2O_3$$

35. ● سمع العديد من الناس عن اضمحلال الأوزون، واستغربوا سبب عدم تعويضنا الأوزون المحطم. بمعرفتك حول مركبات الكلور - الفلور - الكربون (CFC) ومعرفتك كيفية عمل المحفّزات، فسّر عدم ديمومة هذا الحلّ.
36. ● في التّفاعل الماصّ للحرارة، أيهما له طاقة وضع أكبر: المواد المتفاعلة أم المواد الناتجة؟
37. ● هل التّفاعلات الكيميائيّة التي تحدث في البطارية المستهلكة منتجة للحرارة أم ماصّة لها؟ ما الأدلة التي تدعم جوابك؟ هل التّفاعل الذي يحدث في بطارية إعادة الشحن حين إعادة شحنها منتجًا للحرارة أم ماصّا لها؟
38. ● ما الدور الذي تقوم به الإنتروبي في التّفاعل الكيميائيّ؟
39. ● لماذا يفضّل التّفاعل الطارد للحرارة عادة تكوين منتجات؟
40. ● تحت أيّ شروط لا تفقد الشّطيرة حرارتها لمحيطها؟
41. ● عند شروق الشّمس على قمة جبل جليديّ، يتسامى كثير من الثلج بدلًا من الذوبان. فسّر لماذا تفضل هذه العملية من ناحية الإنتروبي؟
42. ♦ احسب ما إذا كانت الإنتروبي تزيد أم تنقص في التّفاعل التالي. استخدم بيانات الجدول 1.17 لتأكيد حساباتك.

$$2C(s) + 3H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$$

43. ■ تفضل التّفاعلات المنتجة للحرارة لأنها تطلق حرارة للبيئة. هل يفضل أن تتم داخل حجرة فائقة التسخين أم لا؟
44. ♦ في المختبر التفاعلات الماصة للحرارة تتم عادة عند درجات حرارة مرتفعة ، في حين تحدث التفاعلات الطاردة للحرارة عند درجات حرارة أقل. ما بعض الأسباب المحتملة لذلك؟
45. ■ تنمو النباتات البرية "وحدها" بسهولة، ومع ذلك فإن الإنتروبي لجزيئات النباتات النامية اقل من المواد المستخدمة لنمو النبات. كيف يحدث هذا *النقصان* في الإنتروبي لعملية تقوم وحدها؟ تعمل التّفاعلات الماصّة للحرارة في المختبر عادة عند درجات حرارة مرتفعة، في حين تعمل التّفاعلات المنتجة الماصة للحرارة عند درجات حرارة أقلّ. اذكر بعض الأسباب لحدوث ذلك.

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ■ برهن أنّ هناك 1.0×10^{22} ذرة كربون في قيراط واحد من الماس النقيّ كتلته 0.20 جم.
2. ■ ما عدد ذرات الذهب في عينة كتلتها 5.0 جم من الذّهب الخالص، Au (197) و.ك.ذ؟
3. ● برهن أنّ مولاً واحدًا من $KClO_3$ يحتوي على 122.55 جم.
4. ■ يمكن إنتاج العينات الصغيرة من الأكسجين التي تحتاج إليها في المختبر بأيّ عدد من التّفاعلات الكيميائيّة البسيطة، مثل:

$$2KClO_3(s) \rightarrow 2KCl(s) + 3O_2(g)$$

وفق هذه المعادلة الكيميائيّة الموزونة، ما عدد مولات الأكسجين التي يمكن إنتاجها من تفاعل مولين من $KClO_3$ الصلب.
5. ♦ يمكن إنتاج العينات الصغيرة من الأكسجين التي تحتاج إليها في المختبر بأيّ عدد من التّفاعلات الكيميائيّة البسيطة، مثل:

$$2KClO_3(s) \rightarrow 2KCl(s) + 3O_2(g)$$

ما كتلة الأكسجين (بالجرامات) المنتجة عندما يشارك 122.55 جم من $KClO_3$ (كتلة الصيغة له 122.55 و.ك.ذ) في هذا التّفاعل.
6. ● بيّن أنّ كتلة الصيغة لـ 2- بروبانول، C_3H_8O، هي 60 و.ك.ذ وأنّ كتلة الصيغة للبروبين، C_3H_6، هي 42 و.ك.ذ، وأنّ كتلة الصيغة للماء أيضًا، H_2O، هي 18 و.ك.ذ.
7. ■ ما عدد جرامات الماء، H_2O، والبروبين، C_3H_6، التي يمكن تكوينها من تفاعل 6.0 جم من 2- بروبانول، C_3H_8O؟

$$C_3H_8O \rightarrow C_3H_6 + H_2O$$

8. ■ ما عدد مولات الماء، H_2O، التي يمكن إنتاجها من تفاعل 16 جم من الميثان، CH_4، مع أكسجين متوافر بكثرة، O_2 ؟ ما عدد جرامات الماء هذه؟ التّفاعل هو:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

9. ■ استخدم طاقات الرّبط في الجدول 1.17 وتصميم الحسابات في البند 5.17 لحساب ما إذا كانت التّفاعلات العلمية منتجة للحرارة أم ماصة لها:

$$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$$
$$2HC \equiv CH + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 \rightarrow + 2H_2O$$

10. ■ استخدام طاقات الرّبط الموجودة في الجدول 1.17 وتصميم الحساب المبين في البند 5.17 لتحديد ما إذا كانت التّفاعلات العلمية منتجة للحرارة أم ماصة لها:

$$N_2H_4 \rightarrow 2H_2 + N_2$$
$$2H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H_2O$$

أنشطة استكشافية

تسخين مخاليط الماء وتبريدها

تذكر من الجزء 8.15 أنّ كلًّا من الرّوابط الكيميائيّة والتجاذبات بين الجزيئية من نتائج القوة الكهربائية. أمّا الفرق فهو أنّ الروابط الكيميائيّة في العادة أقوى عدة مرات من تجاذبات الجزيء – الجزيء. وهكذا، فكما أنّ تكوين الروابط الكيميائيّة وتحطيمها يتضمن طاقة، فإنّ تكوين التجاذبات الجزيئية وتحطيمها يتضمن ذلك أيضًا. ولكن كمية الطّاقة المتعلقة بتجاذبات الجزيء – الجزيء سواء الممتصة أو المتحررة لكلّ جرام من المادة قليلة نسبيًّا. تتضمن التغيرات الفيزيائية تكوين تجاذبات الجزيء–الجزيء أو تحطيمها. ولهذا، فإنّ حصول التغيرات أكثر أمنًا، مما يجعلها أكثر ملاءمة للنشاط خارج المختبر. اختبر طبيعة التغيرات الفيزيائية الطاردة للحرارة والماصة لها بنفسك بإجراء النشاطين الآتيين:

1. ضع ماءً عند درجة حرارة الغرفة في راحة يدك وهي على شكل كوب فوق مغسلة. صبّ المقدار نفسه من كحول الصقل عند درجة حرارة الغرفة على الماء. هل هذا المزج عملية منتجة للحرارة أم ماصة لها؟ ماذا يحدث على المستوى الجزيئي؟
2. أضف ماءً فاترًا إلى كوبين من البلاستيك (لا تستعمل أكواب الستايروفوم). صبّ الماء في الكوبين مرارًا بالتتابع حتى تضمن تساوي درجتي حرارتهما وتحصل على كمية الماء نفسها في كلا الكوبين. أضف عدة ملاعق من ملح المائدة إلى أحد الكوبين وقم بالتحريك. ماذا حدث لدرجة حرارة الماء بالنسبة إلى الماء غير المعالج؟ (ضع الكوبين بالقرب من وجنتيك لتحسّ) هل هذه عملية للحرارة طاردة أم ماصة لها؟ ماذا يحدث على المستوى الجزيئي؟

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدًا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤالٍ مما يلي:

1. المعاملات التي تزن المعادلة الآتية هي:

$$___ P_4(s) + ___ H_2(g) \rightarrow ___ PH_3(g)$$

(أ) 4، 2، 3.
(ب) 1، 6، 4.
(ج) 1، 4، 4.
(د) 2، 10، 8.

2. صيغة الكتلة لثاني أكسيد الكبريت، SO_2 هي:
(أ) نحو 16 و.ك.ذ.
(ب) نحو 32 و.ك.ذ.
(ج) نحو 60 و.ك.ذ.
(د) نحو 64 و.ك.ذ.

3. ما الذي يحتوي على العدد الأكبر من الذرات؟
(أ) 28 جم من النيتروجين، N_2.
(ب) 32 جم من الأكسجين، O_2.
(ج) 16 جم من الميثان، CH_4.
(د) 38 جم من الفلور، F_2.

4. عدد جزيئات الأسبرين (الصيغة الكتلية 180 و.ك.ذ) في عينة من 0.250 جم هي:
(أ) 6.02×10^{23}.
(ب) 8.38×10^{20}.
(ج) 1.51×10^{23}.
(د) ليس هناك ما يكفي من المعلومات.

5. تتغذى الخميرة في عجين الخبز على السّكر لإنتاج ثاني أكسيد الكربون. يكون عمل الخميرة أسرع في المناطق الدافئة لأنّ:
(أ) هناك عددًا أكبر من التصادمات الفاعلة بين الجزيئات المتفاعلة.
(ب) الضغط الجوي يتناقص مع زيادة درجة الحرارة.
(ج) الخميرة تميل إلى "النشاط" مع درجة الحرارة الدافئة، ولهذا السبب يحتفظ الخباز بالخميرة في الثلاجة.
(د) معدل التبخير يزداد بزيادة درجة الحرارة.

6. ماذا تستنتج حول طاقة التنشيط لتفاعل يستغرق عدة بلايين من السنين ليكتمل؟ ماذا عن التّفاعل الذي يستغرق أجزاء من الثانية؟
(أ) يجب أن تكون طاقة التنشيط لكلا التّفاعلين منخفضة جدًّا.
(ب) يجب أن تكون طاقة التنشيط لكلا التّفاعلين عالية جدًّا.
(ج) يجب أن تكون طاقة التنشيط للتفاعل البطيء عالية جدًّا والتّفاعل السّريع منخفضة جدًّا.
(د) التفاعل البطيء يجب أن تكون طاقة التنشيط بطيئة والتفاعل السريع يجب أن تكون طاقة التنشيط عالية.

7. الدور الذي يقوم به CFC كمحفّز لتحطيم الأوزون هو:
(أ) تحطم الأوزون بارتباط بجزيء الـ CFC والذي يزود بالطّاقة من الضوء فوق البنفسجي.
(ب) لا يوجد دليل علمي قويّ على أنّ الـ CFC يقوم بدور مهم كمحفّز في تحطيم الأوزون.
(ج) تنشط ذرات الكلور الـ CFC في عملها كمحفّز.
(د) تنتقل جزيئات الـ CFC إلى طبقات الجو العليا (الستراتوسفير)، حيث تولد ذرات الكلور لتحطم من الضوء فوق البنفسجي.

8. تكوين الأوزون، O_3، من الأكسجين، O_2، مثل على التّفاعل:
(أ) المنتج للحرارة، بسبب إطلاق ضوء فوق بنفسجي خلال التكوين.
(ب) الماص للحرارة، بسبب إطلاق ضوء فوق بنفسجي خلال التكوين.
(ج) المنتج للحرارة، بسبب امتصاص ضوء فوق بنفسجي خلال التكوين.

(د) الماص للحرارة، بسبب امتصاص ضوء فوق بنفسجي خلال التكوين.

9. كمية الطّاقة بالكيلوجول المتحررة أو الممتصة من تفاعل مول واحد من النيتروجين، N_2، مع 3 مولات من الهيدروجين، H_2، لتكوين مولين من الأمونيا، NH_3 هي: راجع الجدول 1.17 لطاقات الربط.

(أ) 899+ كيلو جول/ مول.

(ب) 933– كيلو جول/ مول.

(ج) 80+ كيلو جول/ مول.

(د) 80– كيلو جول/ مول.

10. يمكن جعل التفاعل الماص للحرارة يستمر، في حين يتسبب هذا التّفاعل في تشتت أقلّ للطاقة بواسطة:

(أ) حدوث التّفاعل في الفراغ.

(ب) تبريد التّفاعل.

(ج) زيادة تركيز المواد المتفاعلة.

(د) تسخين التّفاعل.

إجابات إختبار الاستعداد للقراءة

١ب، ٢ب، ٣ج، ٤ب، ٥أ، ٦ج، ٧ب، ٨ب، ٩ج، ١٠ب

اكتشف المزيد

http://www.thecatalyst.org

طور هذا الموقع كمصدر معلومات لمعلمي الكيمياء في المدارس الثانوية، ولكن سيجد أي دارس للكيمياء أن الروابط مفيدة جداً. قد تتبع الروابط نحو تاريخ الكيمياء، على سبيل المثال، من أجل معرفة المزيد عن أميدو وفوجادرو وذلك العدد الضخم الذي اطلق عليه اسمه تخليداً لاعماله.

http://www.thecatalys.org/wwwchem.html

مجموعة ممتازة من الدروس التعليمية طورها جون بارك أحد أعضاء فريق الكيمياء في مدرسة دايا مند بار الثانوية في كاليفونيا. تشمل الدروس التعليمية المناسبة لهذا الفصل التفاعلات الكيميائية وأنواعها، نظرية الحركة الجزيئية، قوانين الغازات، المول، علم الحركة، الحسابات الكيميائية، والكيمياء الحرارية.

http://www.wxumac.demon.co.uk

يعتبر أول أكسيد النيتروجين، والمعروف أيضاً بإسم اكسد النيتريك، NO، هو المادة الأساسية لتحضير النيترات في الأسمدة الكيميائية ويعتبر هذا الأكسيد من الملوثات الشائعة في الغلاف الجوي، إلا أنه يلعب أدواراً متعددة ذات أهمية بالغة في بيولوجيا الإنسان. استخدم اكسيد النيتريك ككلمة مفتاحية في أثناء استخدامك أدوات البحث على الشبكة للوصول إلى ارتفاع نسبة كريات الدم الحمراء مثل هذا الموقع المخصص للعديد من الأدوار الصغيرة، ولكنها تعلب أدوار الجزيئات المهمة في بيولوجيا الإنسان، وفي العديد من الأمراض مثل: الزهايمر، بيركنسون، الأزما، وأمراض القلب، والعدوى.

http://www.secondlaw.com

http://www.entropysimple.com

تركز هذة المواقع على "الصورة الكبيرة" في كيفية توائم قانون الديناميكا الحرارية على خبراتنا اليومية، بما فيها الشعور بالوقت. كما تتوفر الكثير من التطبيقات العلمية البسيطة جداً والواقعية. وكجزء من متابعة مفيدة جداً للفصل 17،6، ستساعدك هذة المواقع على فهم هذا القانون كواحد من أبسط القوانين، لكنه الأكثر تأثيراً في الطبيعة.

الفصل 17 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 17.7, 17.8, 17.9, 17.10

دروس تعليمية

- المعاملات والتفاعلات الكيميائية
- الاتزان

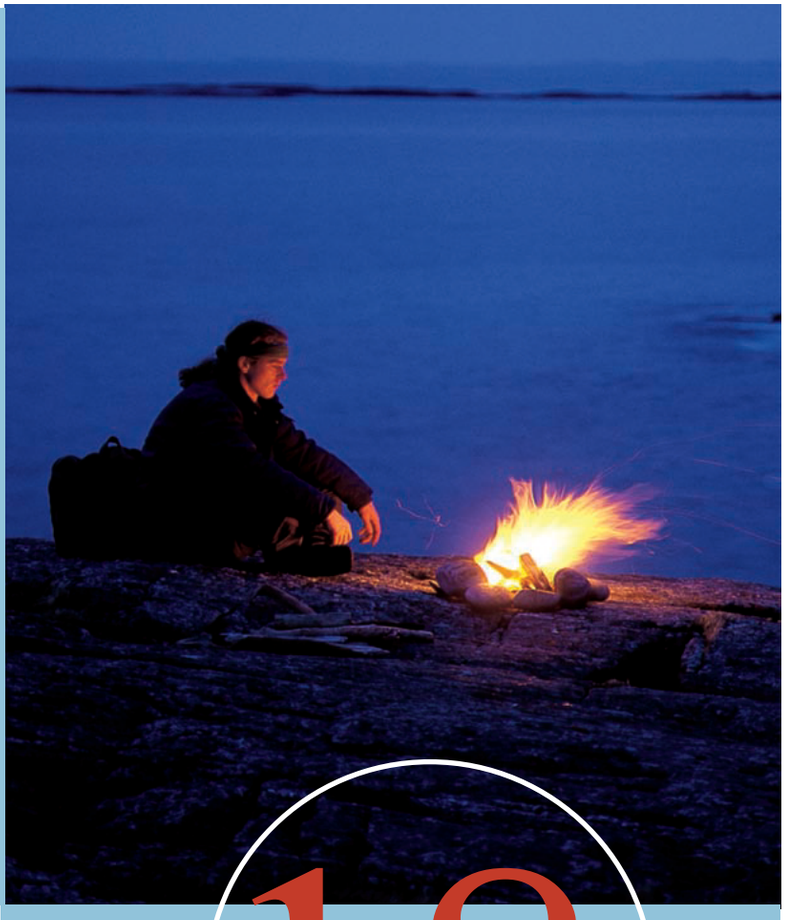
أشرطة فيديو

- الروابط الأيونية
- الروابط التساهمية

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط



18

نوعان من التّفاعلات الكيميائيّة

1.18 الأحماض تعطي البروتونات والقواعد تأخذها

2.18 الشّدّة النّسبيّة للأحماض والقواعد

3.18 المحاليل؛ الحَمْضيّة، والقاعديّة والمتعادلة

4.18 الأمطار الحَمْضيّة والمحيطات القاعديّة

5.18 فقدان الإلكترونات واكتسابها

6.18 حصاد طاقة الإلكترونات المتحركة

7.18 الكهرلة

8.18 الحتّ والاحتراق

■ تبدّل ذرّات المواد المتفاعلة شركاءها خلال التّفاعل الكيميائيّ لتكوين مواد جديدة، تسمى نواتج. فعند احتراق الخشب على سبيل المثال، تنفصل ذرّات جزيئات السّليلوز بعضها عن بعض من أجل الاتحاد مع ذرّات جزيئات الأكسجين، لتكوين ثاني أكسيد الكربون، وبخار الماء، بالإضافة إلى كمية من الحرارة.

في هذا الفصل، سندرس نوعين من التّفاعلات الكيميائيّة هما: 1- تفاعلات الحَمْض – القاعدة. 2 - تفاعلات التّأكسد والاختزال. تتضمّن تفاعلات الحَمْض – القاعدة انتقال *بروتونات* من أحد المتفاعلات إلى آخر. تساعد هذه التّفاعلات التي تتم في معدتك على هضم الغذاء. كما أنها تقوم بدور رئيس في التسخين الكوني. يمكن إرجاع مصدر معظم البضائع الاستهلاكية إلى تفاعلات الحَمْض – القاعدة. أما تفاعلات التّأكسد والاختزال فتتضمّن انتقال واحد أو أكثر من *الإلكترونات* من أحد المتفاعلات إلى الآخر؛ فحرق الخشب هو أحد تفاعلات التّأكسد – الاختزال، كما هو الحال في التّفاعلات التي نستخدمها لتحويل الطعام الذي نأكله إلى طاقة كيموحيوية. إنّ تفاعلات التّأكسد والاختزال مسؤولة عن صدأ السيّارة. وهي أيضا مصدر الطّاقة الكهربائيّة في البطارية.

(أ) (ب) (ج) (د)

الشّكل 1.18
أمثلة على الأحماض (أ) تحتوي الفواكه الحمضية على الأنواع العديدة من الأحماض بما فيها حَمْض الأسكوربيك، $C_6H_8O_6$، والذي هو فيتامين (ج). (ب) يحتوي الخلّ على حَمْض الأسيتيك، $C_2H_4O_2$، ويستخدم للحفاظ على الأطعمة. (جـ) تحتوي العديد من منظفات أحواض الحمامات على حَمْض الهيدروكليك، HCl. (د) تحتوي المشروبات المكربنة جميعها على حَمْض الكربونيك، H_2CO_3، والعديد منها يحتوي على حَمْض الفوسفوريك، H_3PO_4.

1.18 الأحماض تعطي البروتونات، والقواعد تأخذها

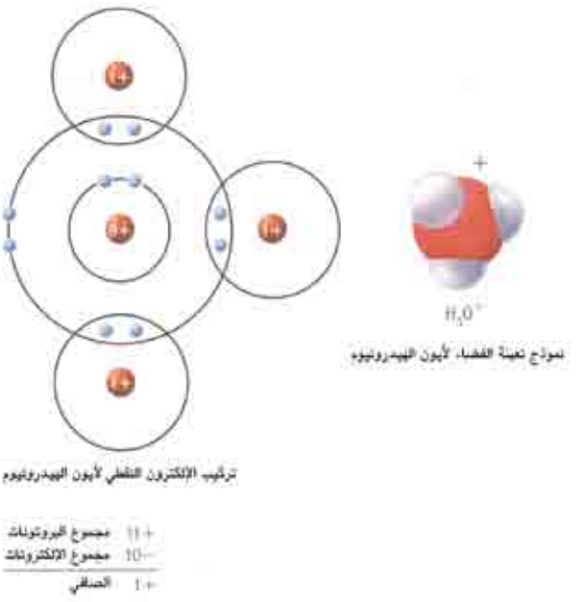
إنّ مصدر المصطلح *"حَمْض"* هو من اللاتيني (acidus) ويعني *"حذيق"*. ويرجع المذاق الحذيق للخلّ والفواكه الحمضية إلى وجود الأحماض. إنّ الأحماض مهمّة في الصناعة الكيميائيّة؛ فعلى سبيل المثال، ينتج أكثر من 85 بليون رطل من حَمْض الكبريتيك سنويًّا في الولايات المتحدة لتكون هذه المادة الكيميائيّة هي الأكثر تصنيعًا. يستخدم حَمْض الكبريتيك في صناعة كلّ من: الأسمدة، والمنظفات، وأصباغ الدهان، والبلاستيك، والمواد الصيدلانية، والبطاريات، كما تستخدم في إنتاج الحديد والفولاذ. كما أنه مهم جدًّا لتصنيع البضائع التي يعدّ إنتاجها معيارًا لقوة الصناعة الوطنية. يُظهر الشّكل 1.18 عددًا قليلًا من الأحماض التي نستخدمها.

تتميز القواعد بطعمها المرّ وملمسها اللزق. ومن المدهش أنّ القواعد نفسها ليست لزقة، بل يسبب تحويل زيوت الجلد إلى محاليل لزقة من الصابون. كما أنّ معظم المستحضرات التجارية لتصريف الانسدادات (التخثر) تحتوي على هيدروكسيد الصوديوم، (NaOH) (وتعرف بالقلوي)، وهي شديدة القاعديّة، ولكنها ضارة إذا كانت مركزة. وهذه القواعد تستخدم بكثرة في الصناعة؛ ففي الولايات المتحدة، يصنّع كلّ عام نحو 25 بليون رطل من هيدروكسيد الصوديوم، لإنتاج مواد كيميائية مختلفة، ولصناعتي اللباب والورق. تسمّى المحاليل التي تحتوي على القواعد قلوية، وهو تعبير مشتق من الكلمة العربية *القلي* (*"الرماد"*). ويصبح الرّماد لزجًا عندما يكون مبلولًا، لاحتوائه على كربونات البوتاسيوم (K_2CO_3). يبين الشّكل 2.18 بعض القواعد المعروفة.

يمكن تعريف الأحماض والقواعد بعدة طرق. ولكن، سنعتمد التعريف الذي اقترحه العالِمان الكيميائيّان: الدنامركي يوهانز برونستد Johanes Bronsted (1879–1947) والبريطاني توماس لوري *Thomas* Lowry (1874–1936) عام 1923م. لقد عرّف برونستد-لوري، الحَمْض بأنّه المادة الكيميائيّة التي تعطي أيون الهيدروجين، (H^+)،

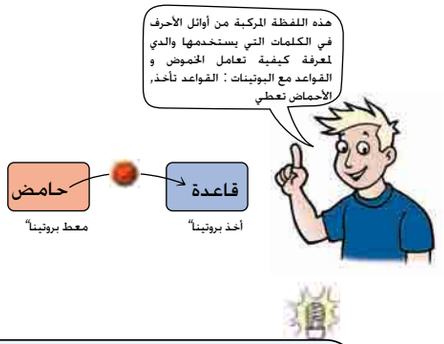
(أ) (ب) (ج) (د)

الشّكل 2.18
أمثلة على القواعد (أ) التّفاعلات المتعلقة ببيكربونات الصوديوم، $NaHCO_3$، والتي تجعل الأطعمة المخبوزة تنتفخ. (ب) يحتوي الرّماد على كربونات البوتاسيوم، K_2CO_3. (جـ) يُصنع الصّابون من تفاعل القواعد مع الزيوت الحيوانية أو النباتية. ويكون الصابون نفسه قلويًّا مخفّفًا. (د) تستخدم القواعد القوية، مثل هيدروكسيد الصوديوم، NaOH، منظفات للبالوعات.



الشّكل 3.18

إنّ شحنة أيون الهيدرونيوم الموجبة نتيجة للبروتون الإضافي الذي استحوذ عليه الجزيء. إنّ أيونات الهيدرونيوم ذات الدور المهم في العديد من تفاعلات القاعدة – الحَمْض، هي أيونات متعددة الذّرّات، والتي كما ذكرنا في البند 2.15، جزيئات تحمل شحنة كهربائية.



والقاعدة هي المادة الكيميائيّة التي تأخذ أيون الهيدروجين. تذكر أنّ ذرة الهيدروجين يتكوّن من إلكترون واحد يحيط بنواة تحتوي على بروتون واحد. يتكون أيون الهيدروجين، H^+، من فقدان إلكترون. لذا، فهو ليس أكثر من بروتون وحيد. وأحيانا يُقال إنّ الحَمْض هو المادة الكيميائيّة التي تعطي بروتونًا. والقاعدة هي المادة الكيميائيّة التي تأخذ بروتونًا.

$$HCl + H_2O \longrightarrow Cl^- + H_3O^+$$

H^+ المعطي (حَمْض) — H^+ المستقبل (قاعدة)

لا توجد أيونات هيدروجين، H^+، في الماء؛ لأنَّ أيّ أيون هيدروجين يتشكّل سرعان ما يلتقط من جزيء ماء ويتحوّل إلى أيون الهيدرونيوم، H_3O^+.

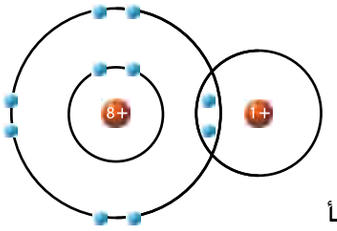
يعطي كلوريد الهيدروجين أيون الهيدروجين إلى أحد أزواج الإلكترونات غير المرتبطة في جزيء الماء، منتجًا رابطة هيدروجينية ثالثة ترتبط بالأكسجين. في هذه الحالة، يسلك كلوريد الهيدروجين سلوك الحَمْض (معطٍ للبروتون) ويسلك الماء سلوك القاعدة (آخذ للبروتون). تكون نواتج هذا التّفاعل أيوني الكلور **والهيدرونيوم** (Hyronium ion) H_3O^+ ، والذي كما يوضح الشّكل 3.18 هو جزيء ماء مضاف إليه بروتون.

$$H_2O + NH_3 \longrightarrow OH^- + NH_4^+$$

H^+ المعطي (حَمْض) — H^+ المستقبِل (قاعدة)

الشّكل 4.18

لأيون الهيدروكسيل شحنة سالبة صافية، وهي من توابع فقدانه لبروتون. وكذلك أيونات الهيدرونيوم، التي لها دور في العديد من تفاعلات الحَمْض – القاعدة.



تركيب الإلكترون النقطي لأيون الهيدروكسيل

نموذج الفضاء المعبأ لأيون الهيدروكسيل

+9 مجموع الشحنة
-10 مجموع الإلكترونات
-1 صافي الشحنة

يعتمد سلوكنا على مع من نتعامل، وهكذا بالنسبة إلى المواد الكيميائيّة.

ينتج عن هذا التّفاعل تكوين أيوني الأمونيوم والهيدروكسيل(*Hydroxide*)، والذي كما يبين الشّكل 4.18 جزيء ماء دون نواة لأحد ذرّات الهيدروجين.

إنّ إحدى المزايا المهمة لتعريف برونستد - لوري أنه يستخدم *السلوك* لتعريف ما إذا كانت المادة حَمْضا أم قاعدة نقول مثلًا إنّ كلوريد الهيدروجين يسلك سلوك الحمض عند مزجه بالماء، والماء يسلك سلوك القاعدة. وبالمثل، تسلك الأمونيا *سلوك* القاعدة عند مزجها بالماء، والتي بدورها تحت هذه الظروف تسلك سلوك الحمض. ولأنّ الحَمْض أو القاعدة تعرف بسلوك كل منهما، فلا يوجد تناقض في اعتبار مادة كيميائية كالماء تسلك مرة سلوك الحمض ومرة أخرى سلوك القاعدة. وللمقارنة، خذ نفسك مثلا. فأنت على ما أنت عليه، ولكن سلوكك يعتمد على مع مَن تتعامل. وبالمثل، فإنّ مادة كيميائية كالماء، تسلك سلوك القاعدة (H^+ تأخذ) عند مزجها بكلوريد الهيدروجين، ولكنها تسلك سلوك الحمض (H^+ يعطي) عند مزجها بالأمونيا.

يمكن لمنتجات تفاعل الحَمْض – القاعدة أن تكوّن أحماضًا أو قواعد. فأيون الأمونيوم مثلًا، يمكن أن يعيد إعطاء أيون هيدروجين لأيون الهيدروكسيل لإعادة تشكيل الأمونيا والماء:

$H_2O + NH_3 \longleftarrow OH^- + NH_4^+$

H^+ المستقبِل (قاعدة)
H^+ المعطي (حَمْض)

تحدث تفاعلات الحَمْض – القاعدة بشكل متزامن في الاتجاهين. وعليه، يمكن تمثيل حدوثها في الوقت نفسه باستخدام سهمين يشيران إلى اتجاهين متعاكسين:

$H_2O + NH_3 \rightleftharpoons OH^- + NH_4^+$

H^+ المعطي (حَمْض) — H^+ المستقبِل (قاعدة) — H^+ المستقبِل (قاعدة) — H^+ المعطي (حَمْض)

إذا نظرنا إلى المعادلة من اليسار إلى اليمين، فإنّ الأمونيا تسلك سلوك القاعدة لأنها تتقبل أيون الهيدروجين من الماء، والذي بدوره يسلك سلوك الحمض. ولكن عند النظر إليها من الجهة المعاكسة، فإنّ المعادلة تُظهر أنّ أيون الأمونيوم يسلك سلوك الحمض لأنه يعطي أيون الهيدروجين لأيون الهيدروكسيل، والذي بدوره يسلك سلوك القاعدة.

■ **نقطة فحص**

حدد سلوك الحَمْض من القاعدة لكل مادة مشاركة في هذا التّفاعل

$$H_2PO_4^- + H_3O^+ \rightleftharpoons H_3PO_4 + H_2O$$

هل كانت هذه إجابتك؟

في اتجاه التّفاعل الطبيعي (من اليسار إلى اليمين)، $H_2PO_4^-$ يكسب أيون الهيدروجين ليصبح H_2PO_4 . بتقبل أيون الهيدروجين، $H_2PO_4^-$ أن يسلك سلوك القاعدة. يأخذ أيون الهيدروجين ليكون والذي يسلك كحَمْض في الاتجاه المعاكس H_3PO_4، يفقد أيون الهيدروجين ليصبح وبالتالي يسلك كحَمْض. إنّ مستقبِل أيون الهيدروجين هو H_2O، والذي يسلك كقاعدة عند تحوله إلى H_3O^+ .

الملح (salt) أحد نواتج تفاعل الحَمْض ـ القاعدة

تعني كلمة *ملح* باللغة الدارجة كلوريد الصوديوم، NaCl، ملح المائدة. ولكن بلغة الكيميائيّين فإنّ مصطلح **الملح** يعني مركبا أيونيًّا يتشكل من تفاعل بين الحَمْض والقاعدة. مثلًا، يتفاعل كلوريد الهيدروجين مع هيدروكسيد الصوديوم لإنتاج ملح كلوريد الصوديوم والماء:

$$HCl + NaOH \longrightarrow NaCl + H_2O$$

كلوريد الهيدروجين	هيدروكسيد الصوديوم	ماءكلوريد الصوديوم
(حَمْض)	(قاعدة)	(ملح)

وبالمثل، فإنّ التّفاعل بين كلوريد الهيدروجين وهيدروكسيد البوتاسيوم ينتج ملح كلوريد البوتاسيوم والماء:

$$HCl + KOH \longrightarrow KCl + H_2O$$

كلوريد الهيدروجين	هيدروكسيد البوتاسيوم	ماء كلوريد البوتاسيوم
(حَمْض)	(قاعدة)	(ملح)

إنّ كلوريد البوتاسيوم هو المكوّن الرئيس لـ "خالٍ من – الملح"، لملح المائدة، كما هو ملاحظ في الشّكل 5.18.

يكون الملح في العادة أقلّ حتًّا من الأحماض والقواعد التي تشكّل عنها. ويكون للمادة الكيميائيّة الحاتّة قدرة على تفتيت المواد أو إجهاد السّطوح. إنّ كلوريد الهيدروجين هو حَمْض حاتّ؛ لذا يستخدم بكثرة لتنظيف الحمامات وكذلك في خرط سطوح الفلزات. كما أنّ هيدروكسيد الصوديوم قاعدة حاتّة جدًّا، ويستخدم أيضًا في تسليك البالوعات (وانسدادات المواسير). إنّ مزج كلوريد الهيدروجين وهيدروكسيد الصوديوم بالكميات نفسها ينتج محلولًا مائيًّا من كلوريد الصوديوم – ماء مالح، وهو أقلّ ضررًا من أيّ من مكوناته. يوجد عدد كبير من الأملاح بعدد الأحماض والقواعد الموجودة. سيانيد الصوديوم، NaCN، هو سُمٌّ قاتل. كما أنّ "الملح الصخري" نترات البوتاسيوم KNO_3، مادة مفيدة كسماد، وكذلك في صناعة البارود.

يستخدم كلوريد الكالسيوم، $CaCl_2$، عادة لإذابة الجليد من الممرات، كما يساعد فلوريد الصوديوم، NaF، في حماية الأسنان من التّسوس. يبين الجدول 1.18 تفاعلات الأحماض والقواعد التي تنتج هذه الأملاح.

يسمّى التّفاعلُ بين الحَمْض والقاعدة تفاعلَ التعادل(*Neutralization reaction*). كما يرى من شفرة اللون في تفاعلات التّعادل في الجدول 1.18، يأتي الأيون الموجب من القاعدة، أمّا الأيون السالب فيأتي من الحَمْض. وتتحد أيونات الهيدروجين والهيدروكسيل المتبقية لتكوين الماء.

إنّ تفاعلات التّعادل لا تنتج كلّها ماء. فعلى سبيل المثال، يسلك الدواء (الإيفيدرين الكاذب) سلوك القاعدة بقبوله H^+ من كلوريد الهيدروجين بوجود كلوريد الهيدروجين. ينضم أيون Cl^- إلى أيون H^+ لتشكيل ملح كلوريد الهيدروجين. وهو يستخدم لإزالة الاحتقان الأنفي، كما في الشّكل 6.18. يذوب هذا الملح في الماء البارد، ويمكن امتصاصه خلال النظام الهضمي.

الشّكل 5.18

يستخدم "الخالي من الملح" كملح المائدة البديل، والذي يحتوي على كلوريد البوتاسيوم بدلًا من كلوريد الصوديوم. ولكن يجب الحذر من استخدام هذه المنتجات؛ لأنّ كميات زائدة من أملاح البوتاسيوم يمكن أن تؤدي إلى أمراض خطيرة. وأكثر من ذلك، فإنّ أيونات الصوديوم مكوّن حيويّ لغذائنا، ويجب عدم استبعاده بالكامل. ولتحقيق التوازن الجيد بين هذين الأيونين المهمين؛ يمكنك طلب الملح المتوافر في الأسواق، والذي هو مزيج من كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم، كالذي يظهر هنا.

لمعلوماتك

■ ما الذي يجعل أحد الأحماض قويًّا والآخر ضعيفًا؟ باختصار، هذا يتعلق باستقرار الأيون السالب المتبقي بعد التبرع بالبروتون. إنّ حَمْض الهيدروكلوريك قويّ لأنّ أيون الكلور يتكيّف بشكل جيد مع الشحنة السالبة. ولكن حَمْض الأسيتيك ضعيف؛ لأنّ أيون الأكسجين أقلّ قدرة على التّكيّف مع الشحنة السالبة.

الجدول 1.18 تفاعلات حَمْض – قاعدة والأملاح المتكوّنة

ماء		ملح		قاعدة		حَمْض
H_2O	+	NaCH	¡	NaOH	+	HCN
		سيانيد الصوديوم		هيدروكسيد الصوديوم		سيانيد الهيدروجين
H_2O	+	KNO_3	¡	KOH	+	HNO_3
		نترات البوتاسيوم		هيدروكسيد البوتاسيوم		حَمْض النيتريك
$_2H_2O$	+	$CaCl_2$	¡	$Ca(OH)_2$	+	HCl_2
		كلوريد الكالسيوم		هيدروكسيد الكالسيوم		حَمْض الكلوريك
H_2O	+	NaF	¡	NaOH	+	HF
		فلوريد الصوديوم		هيدروكسيد الصوديوم		حَمْض الفلوريك

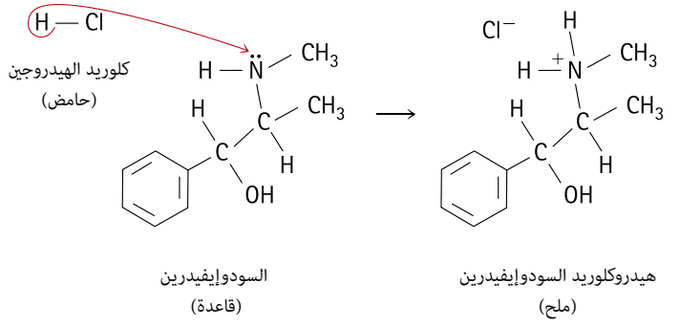
إنّ تفاعلات التّعادل لا تنتج كلّها ماء. فعلى سبيل المثال، يسلك الدواء (الإيفيدرين الكاذب) سلوك القاعدة بقبوله H^+ من كلوريد الهيدروجين بوجود كلوريد الهيدروجين. ينضم أيون Cl^- إلى أيون H^+ لتشكيل ملح كلوريد الهيدروجين. وهو يستخدم لإزالة الاحتقان الأنفي، كما في الشّكل 6.18. يذوب هذا الملح في الماء البارد، ويمكن امتصاصه خلال النظام الهضمي.

■ **نقطة فحص**

ما الوصف الأفضل لتفاعل التعادل: تغير فيزيائيّ، أم تغير كيميائيّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يتم تكوين مواد كيميائية جديدة خلال تفاعل التعادل، وهذا يعني أنّ هذا التّفاعل هو تغير كيميائيّ.



الشّكل 6.18

كلوريد الهيدروجين والإيفيدرين الكاذب يتفاعلان لتكوين ملح *هيدروكلوريد السودوإيفيدرين*، والذي، بسبب ذائبيته في الماء، يمتص بسهولة في الجسم.

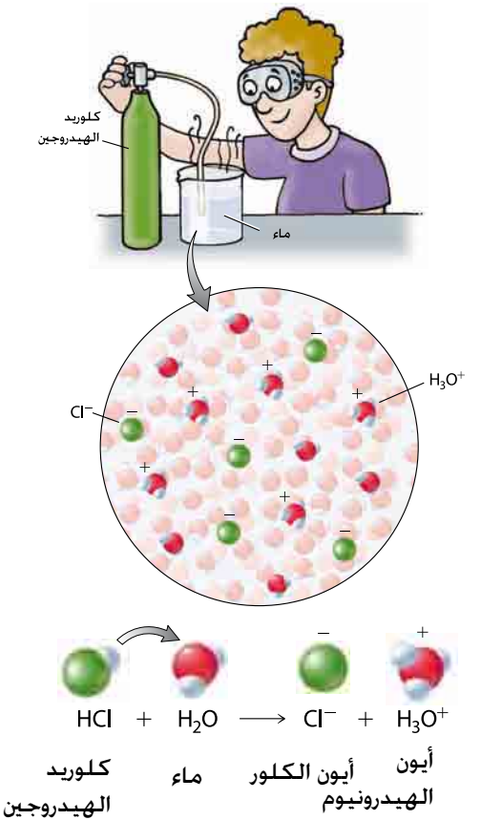
■ 2.18 الشّدّة النّسبيّة للأحماض والقواعد

على العموم، كلما كثر استعداد الحَمْض لإعطاء أيونات هيدروجين، كان أقوى. وفي المقابل، كلما زاد تقبل القاعدة لأيونات الهيدروجين، كانت القاعدة أقوى. وكمثال على الحَمْض القوي، كلوريد الهيدروجين، أمّا هيدروكسيد الصوديوم NaOH فمثال على القاعدة القوية. إنّ قدرة هاتين المادتين على الحتّ هي نتيجة لقوتهما.

الحتّ هو إحدى الطرائق لتقييم قوة الحَمْض أو القاعدة، وهو قياس كمية المتبقي من أيّ منهما بعد إضافته إلى الماء. إذا كانت كمية المتبقي كبيرة، فإنّ الحَمْض أو القاعدة ضعيف. ولتوضيح هذا المفهوم، ادرس ما يحدث عند إضافة كلوريد الهيدروجين القوي للماء، وماذا يحدث عند إضافة حَمْض الأسيتيك الضعيف للماء، $C_2H_4O_2$، (المكوّن النشط للخل). ولأنّ حَمْض كلوريد الهيدروجين حَمْض، فهو يعطي أيونات الهيدروجين للماء، مكونًا أيونات الكلور وأيونات الهيدرونيوم. ولأنّ HCl، حَمْض قويّ، فإنّه يتحول إلى أيونات تقريبًا بالكامل، كما هو مبين في الشّكل 7.18.

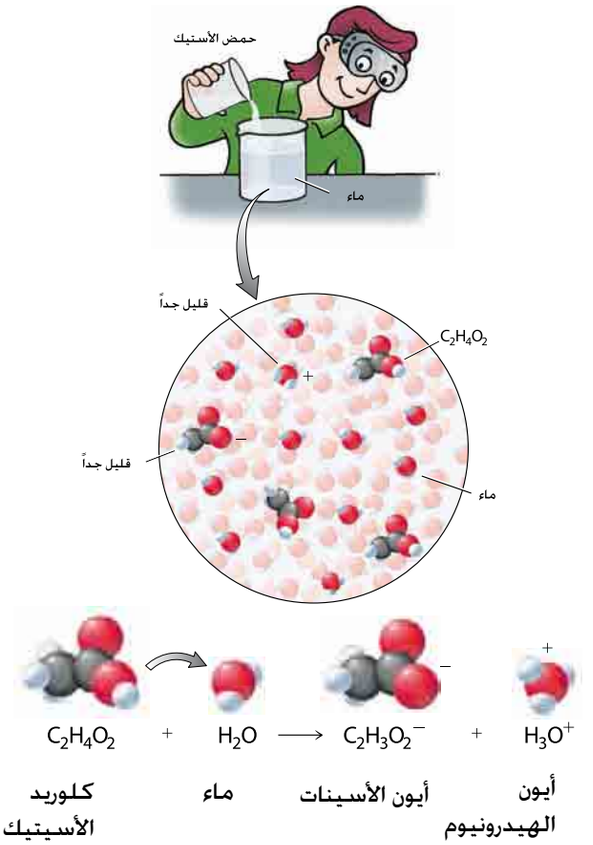
وبسبب أنّ حَمْض الأسيتيك ضعيف، فإنّ استعداده يكون قليلًا لإعطاء أيونات الهيدروجين للماء. وعند ذوبان هذا الحَمْض في الماء، يتحوّل جزء بسيط فقط من جزيئات هذا الحَمْض إلى أيونات، وتُحدث هذه العملية تكسير الروابط القطبية بين O – H (لا تتأثر الروابط C – H لحَمْض الأسيتيك بالماء لأنّها غير مستقطبة). يبقى الجزء الرئيس من جزيئات حَمْض الأسيتيك متماسكًا بشكله الأصليّ المتأيّن، كما هو مبين في الشّكل 8.18.

يبيّن الشّكلان 7.18 و8.18 السّلوك دون المجهري لكلّ من الأحماض القوية والضعيفة في الماء. ولأنّ الجزيئات والأيونات أصغر من أن ترى، فكيف يستطيع الكيميائيّ قياس قوة الحَمْض؟ إنّ إحدى طرائق هذا هي قياس قدرة المحاليل على توصيل التيار الكهربائي، كما يوضح الشّكل 9.18. لا يحتوي الماء النقي على أيونات لإيصال الكهرباء. وعند ذوبان الحَمْض في الماء، يتولد الكثير من الأيونات، كما أشير في الشّكل 7.18.



الشّكل 7.18

مباشرة وبعد إضافة كلوريد الهيدروجين الغازي إلى الماء، يتفاعل مع الماء لتكوين أيونات كلّ من الهيدرونيوم والكلور. في حين يدلّنا الجزء اليسير المتبقي من HCl (لا يظهر شيء هنا) بأنّه يسلك سلوك الحمض القوي.



الشّكل 8.18

عند إضافة حَمْض الأسيتيك السائل إلى الماء، يتفاعل القليل فقط من جزيئات هذا الحَمْض مع الماء لتكوين أيونات. الجزء الرئيس من جزيئات حَمْض الأسيتيك تبقى بشكل غير مؤيّن، وهذا يعني ضمنيًّا أنّ حَمْض الأسيتيك ضعيف.

(أ)

(ب)

(ج)

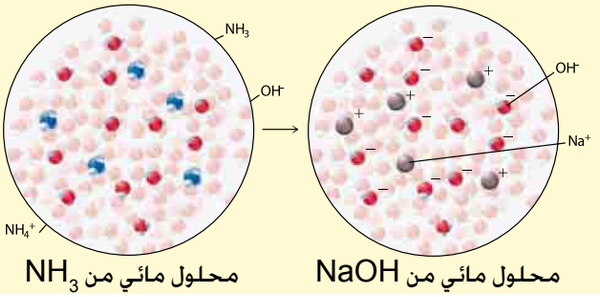
الشّكل 9.18

(أ) الماء النقي لا يوصل الكهرباء في هذه الدارة الكهربائيّة لعدم احتوائه على الأيونات. لذا، يبقى المصباح في هذه الدارة غير مضاء. (ب) لأنّ HCl حَمْض قويّ، تقريبًا، فإنّ جزيئاته جميعها تتكسر وتنفصل في الماء، مكونة تركيزًا عاليًا من الأيونات التي توصل التيار الكهربائي لإضاءة المصباح. (جـ) لأنّ حَمْض الأسيتيك $C_2H_4O_2$ ضعيف في الماء، فإنّ جزءًا بسيطًا من جزيئاته تتكسر إلى أيونات. وبسبب تولّد قليل من الأيونات، ينتج تيار كهربائيّ ضعيف، ويكون ضوء المصباح ضعيفًا.

يسمح وجود هذه الأيونات بمرور تيار كهربائي كبير. وعند ذوبان الحَمْض الضعيف في الماء، تتولَّد أيونات قليلة، كما أشير إليه في الشّكل 8.18. إنّ وجود عدد قليل من الأيونات يعني وجود تيار كهربائيّ ضعيف. يمكن رؤية المنحنى نفسه مع القواعد القوية والضعيفة. ومثال ذلك أنّ تمثيل القاعدة القوية لتقبل أيونات الهيدروجين أكثر من القاعدة الضعيفة. إنّ محاليل القواعد القوية تسمح بانسياب تيار كهربائيّ كبير. أمّا محاليل القاعدة الضعيفة، فإنّها تسمح بانسياب تيار كهربائيّ ضعيف .

■ **نقطة فحص**

وفقًا للمحاليل المائية هنا، أيّ القاعدتين أقوى: NH_3 أم NaOH؟



هل كانت هذه إجابتك؟

هناك عدد أيونات أكبر في المحلول عن اليمين، وهذا يعني أنّ هيدروكسيد الصوديوم، NaOH، قاعدة قوية. الأمونيا هي القاعدة الأضعف، كما يستدل من وجود عدد أقلّ من الأيونات في المحلول إلى اليسار.

لا يعني كون الحَمْض أو القاعدة قويًّا أنه محلول حاتّ. إنّ سبب الحتّ للمحلول الحَمْضيّ هو أيونات الهيدرونيوم وليس الحَمْض الذي أنتج أيونات الهيدرونيوم. وبالمثل، فإنّ فعل الحتّ لمحلول القاعدة ينتج عن أيونات الهيدروكسيل التي تحتويه بغض النظر عن القاعدة التي ولدت أيونات الهيدروكسيل. فالمحلول المخفف جدًّا من حَمْض قوي أو قاعدة قوية يمكن أن يكون له أثر حتّ ضعيف؛ لأنّ هذه المحاليل تحتوي على عدد قليل من أيونات الهيدرونيوم أو أيونات الهيدروكسيل. (تقريبًا، تتحطّم جزيئات الحَمْض القوي جميعها، أو جزيئات القاعدة القوية إلى أيونات. ولكن لأنّ المحلول مخفف جدًّا، فإنّ عددًا قليلًا يتوافر من جزيئات الحَمْض أو القاعدة الموجودة أصلا. وعليه، يوجد عدد قليل من أيونات الهيدرونيوم أو أيونات الهيدروكسيل). لذا، لا تقلق إذا اكتشفت أنّ بعض معاجين الأسنان تحتوي كمية قليلة من هيدروكسيد الصوديوم، واحدة من أقوى القواعد المعروفة.

من جهة أخرى، يمكن أن يكون محلولٌ مركز من حَمْض ضعيف، مثل حَمْض الأسيتيك في الخلّ، حامضًا أو أشد من محلول مخفف لحَمْض قوي مثل كلوريد الهيدروجين. لذا فالقوة النّسبيّة لمحاليل حَمْضية أو قاعدية، يمكن مقارنتها فقط عندما يكون لهما التركيز نفسه.

3.18 المحاليل: الحَمْضيّة، والقاعديّة، والمتعادلة

يقال للمادة التي لها المقدرة على سلوك مسلك الحمض، ولها المقدرة نفسها للسلوك مسلك القاعدة بأنها **أمفوترية**. الماء مثال جيد على هذه المواد. ولأنّ الماء أمفوتريّ(*Amphoteric*) فإنه يتفاعل مع نفسه. وفي سلوكه مسلك الحمض، يعطي جزيء الماء أيون هيدرونيوم إلى جزيء الماء المجاور، والذي يصبح قاعدة لأنّه يأخذ أيون الهيدرونيوم. ينتج هذا التّفاعل أيوني الهيدروكسيل والهيدرونيوم اللذين يتفاعلان معًا لإعادة تكوين جزيء الماء:

H_2O + H_2O ⟺ OH^+ + H_3O

ماء ماء أيون أيون

هيدروكسيد هيدرونيوم

عندما يكتسب جزيء ماء أيون الهيدروجين، فإنّ جزيء ماء آخر يجب أن يفقد أيون هيدروجين. ولهذا، فإنّ مقابل كلّ تشكيل لأيون الهيدرونيوم، يتشكّل أيون الهيدروكسيل أيضًا. في الماء النقي، يكون مجموع أعداد أيونات الهيدرونيوم مساويًا لعدد أيونات الهيدروكسيل. تكشف التجارب أنّ تركيز أيونات كلّ من الهيدرونيوم والهيدروكسيل قليلة جدًّا؛ نحو 0.0000001 M لكلّ منهما، حيث ترمز M إلى المولارتي؛ أي مول واحد لكلّ لتر (الجزء 3.16). فالماء نفسه حَمْض ضعيف جدًّا، وفي الوقت نفسه قاعدة ضعيفة جدًّا. كما يُستدل على ذلك من عدم إضاءة المصباح في الشّكل 9.18 أ.

■ **نقطة فحص**

هل تتفاعل جزيئات الماء بعضها مع بعض؟

هل كانت هذه إجابتك؟

نعم، ولكن بشكل قليل. عندما يتفاعل الماء مع نفسه، ينتج أيونات كلّ من الهيدرونيوم والهيدروكسيل (ملحوظة: تأكد من فهمك لهذه العبارة لأنها تعدّ الأساس لبقية الفصل).

كشف مزيد من التجارب قواعد مهمة لها علاقة بتركيز أيونات كلّ من الهيدرونيوم والهيدروكسيل في المحاليل التي تحتوي على الماء. إنّ حاصل ضرب تركيز أيونات الهيدرونيوم في تركيز أيونات الهيدروكسيل في المحلول المائي يساوي دائمًا مقدارًا ثابتًا، *Kw*، وهو رقم بالغ الصّغر:

$$\text{تركيز } H_3O^+ \times \text{تركيز } OH^- = K_W = 0.00000000000001$$

يُعطى التركيز عادة كمولارتي، والذي يشار إليه برموز المعادلة باستخدام المربعات:

$$[H_3O^+] \times [OH^-] = K_W = 0.00000000000001$$

لمعلوماتك

■ الأسبرين جزيء حَمْضي، ولكن ليس حَمْضيًّا بدرجة حَمْض الهيدروكلوريك، HCl، الموجود في معدتك والمستخدم في هضم الطعام. إذن، كيف يُتلف الأسبرين المعدة؟ إنّ حَمْض المعدة من القوة بحيث إنّ الأسبرين في مثل هذه البيئة لا يستطيع منح أيون الهيدروجين، وهذا يعني أنه يبقى غير "متأيّن". إنّ الأسبرين غير المؤيّن غير قطبي ولا يذوب في الماء. ولكنه مع ذلك قادر على اختراق الغشاء المحتوي على حَمْض الهيدروكلوريك غير القطبي الذي يبطن المعدة. بعد مروره من خلال هذا الغشاء، يجد الأسبرين نفسه في بيئة أقلّ حَمْضية، حيث يستطيع منح أيون الهيدروجين. وهذا يخفف درجة الأحماضة (PH) للجدار الداخلي للمعدة، والذي يتلف الأنسجة، وربما يسبب النزيف. يكون العلاج بالطبع هو ابتلاع حبوب الأسبرين المغلّفة، والتي تؤخر إطلاق الأسبرين حتى يمرّ خلال المعدة.

تعني المربعات أن تقرأ المعادلة "مولارتي لـ H_3O^+ مضروب في مولارتي OH^- يساوي K_W. وبكتابتها بالرموز العلمية نحصل على ما يلي:

$$\left[OH^-\right]\left[H_3O^+\right] = K_W = 1\times10^{-14}$$

تكون قيمة K_W للماء النقي، حاصل ضرب تركيز أيونات الهيدرونيوم 0.000 0001 M، في تركيز أيونات الهيدروكسيل، 0.000 0001 M، والتي يمكن كتابتها بالرموز العلمية كما يلي:

$$\left[1\times10^{-7}\right]\times\left[1\times10^{-7}\right] = K_W = 1.0\times10^{-14}$$

إنّ القيمة الثابتة K_W مهمة جدًّا؛ لأنّ ذلك يعني عدم وجود مادة مذابة في الماء، إنّ حاصل ضرب تركيز أيون الهيدرونيوم في تركيز أيون الهيدروكسيل يساوي دائمًا 1.0×10^{-14}. ولهذا، إذا زاد تركيز أيون الهيدرونيوم (H_3O^+)، وجب أن ينقص تركيز أيون OH^- ؛ بحيث يبقى حاصل ضرب التركيز هو 1.0×10^{-14}.

■ **نقطة فحص**

1- إنّ تركيز أيون الهيدروكسيل في الماء النقي هو 1.0×10^{-7}. ما تركيز أيون الهيدرونيوم؟

2- ما تركيز أيونات الهيدرونيوم في محلول إذا كان تركيز أيونات الهيدروكسيل 1.0×10^{-3} M ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. $\left[H_3O^+\right] = \left[OH^-\right]$ لأنه في الماء النقي 1.0×10^{-7} M.

2. 1.0×10^{-11}M وذلك $\left[H_3O^+\right]\left[OH^-\right] = 1\times10^{-14}$ يجب أن يساوي $K_W = 1.0\times10^{-14}$.

يمكن وصف المحاليل المائية بأنها حَمْضية، أو قاعدية، أو متعادلة. كما يلخص ذلك الشّكل 10.18. إنّ **المحلول الحَمْضيّ** ***(Acidic Solution)*** هو المحلول الذي يكون فيه تركيز أيونات الهيدرونيوم أعلى من تركيز أيونات الهيدروكسيل. يحضر المحلول الحَمْضيّ بإضافة الحَمْض إلى الماء. ويكون تأثيرُ هذه الإضافة زيادةَ تركيز أيونات الهيدرونيوم، والتي تقلّل من تركيز أيونات الهيدروكسيل بالضرورة. أمّا **المحلول القاعديّ** ***(Basic Solution)*** فهو المحلول الذي يكون فيه تركيز أيونات الهيدروكسيل أعلى من تركيز أيونات الهيدرونيوم. ويحضر المحلول القاعديّ بإضافة القاعدة للماء. تزيد هذه الإضافة من تركيز أيونات الهيدروكسيل التي تقلل من تركيز أيونات الهيدرونيوم بالضرورة. في حين أنّ **المحلول المتعادل** ***(Neautral Solution)*** هو المحلول الذي يتساوى فيه تركيز أيونات كلّ من الهيدرونيوم والهيدروكسيل. يعدّ الماء النقي مثالًا على المحاليل المتعادلة؛ ليس لأنه يحتوي على عدد قليل من أيونات كلّ من الهيدرونيوم والهيدروكسيل، بل لأنه يحتوي على عدد متساوٍ من الاثنين. ويمكن الحصول على محلول متعادل عند اتحاد كميتين متساويتين من الحَمْض والقاعدة. وهذا يفسر أنّ الحَمْض والقاعدة يعادل أحدهما الآخر.

في المحلول الحمضي

$[H_3O^+] > [OH^-]$.

في المحلول القاعدي

$[H_3O^+] < [OH^-]$.

في المحلول المتعادل

$[H_3O^+] = [OH^-]$.

الشّكل 10.18

تحدد التراكيز النّسبيّة لأيونات كلّ من الهيدرونيوم والهيدروكسيل ما إذا كان المحلول حَمْضيًّا، أو قاعديًّا، أو متعادلًا.

■ **نقطة فحص**

كيف تعمل إضافة الأمونيا للماء على جعل المحلول قاعديًّا في حين أنّ الأمونيا لا تحتوي على أيونات هيدروكسيل في صيغتها الكيميائيّة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

تعمل الأمونيا بطريقة غير مباشرة على زيادة تركيز أيونات الهيدروكسيل بتفاعلها مع الماء:

$$NH_3 + H_2O \rightarrow NH^+_4 + OH^-$$

يزيد هذا التّفاعل تركيز أيونات الهيدروجين، والذي له الأثر في تقليل تركيز أيونات الهيدرونيوم. ومع وجود تركيز لأيونات الهيدروكسيل أعلى من تركيز أيونات الهيدرونيوم، يصبح المحلول قاعديًّا.

مقاييس درجة الأحماضة (pH) المستخدم لوصف الأحماضة

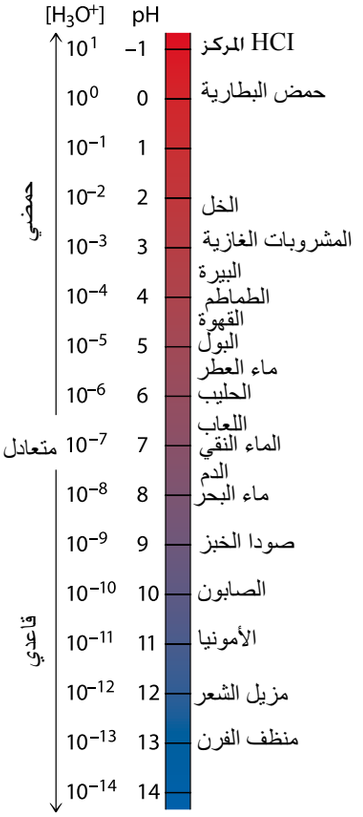
إنّ مقياس *درجة الأحماضة pH* هو مقياس رقميّ يستخدم للدلالة على درجة حموضة المحلول. وهو يساوي سالب لوغاريتم تركيز أيون – الهيدرونيوم رياضيًّا:

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

لاحظ مرة أخرى أنّ القوس المربع يستخدم للدلالة على التراكيز المولارية. حيث $[H_3O^+]$ يُقرأ ”تركيز أيون الهيدرونيوم المولري“. ولفهم الدالة اللوغاريتمية؛ انظر إلى صندوق حساب العلوم الطبيعية عن اللوغاريتمات في الجزء التالي.

لإيجاد pH للمحلول المتعادل، والذي تركيز أيون الهيدرونيوم له $1.0 \times 10^{-7}\ M$ ، نأخذ أولا لوغاريتم هذه القيمة وهي -7 (انظر شكل صندوق العلوم الطبيعية عن اللوغاريتمات في الجزء التالي). تعرف الـ pH بسالب هذه القيمة، وهذا يعني -(-7) = 7. لذا، فإنّ تركيز أيون الهيدرونيوم للمحلول المتعادل يساوي $1.0 \times 10^{-7}\ M$، و pH له تساوي 7. إنّ قيم PH للمحاليل الحَمْضيّة أقلّ من 7. فعلى سبيل المثال، إذا كان تركيز أيون الهيدرونيوم لمحلول حَمْضي $1.0 \times 10^{-4}\ M$، فإنّ $pH = -\log[1.0 \times 10^{-4}] = 4$). وكلما كان المحلول أكثر حَمْضية، كان تركيز أيون - الهيدرونيوم أكبر، ومن ثم أقلّ pH. أمّا قيم pH للمحاليل القاعديّة فتكون أكبر من 7. فعلى سبيل المثال، تكون قيمة pH لمحلول قاعديّ تركيز أيون الهيدرونيوم له يساوي $1.0 \times 10^{-8}\ M$ هي $pH = -\log[1.0 \times 10^{-8}] = 8$). وكلما زادت قاعدية المحلول قلّ تركيز أيون الهيدرونيوم له. ولكن بزيادة قيم pH له.

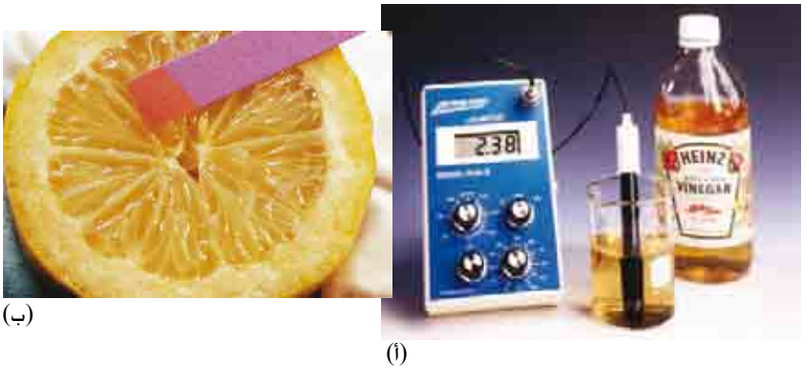
يبين الشّكل 11.18، قيمًا نموذجية لدرجة الأحماضة (pH) لمحاليل مألوفة. كما يبين الشّكل 12.18، طريقتين مألوفتين لتحديد قيم pH.



الشّكل 11.18
قيم pH لبعض المحاليل المألوفة.

لمعلوماتك

■ يتكوّن السّطح الخارجيّ للشعر من تراكيب دون مجهرية تسمى البشرة، وهي تشبه غطاء النافذة، يفتح ويغلق. إنّ المحاليل القاعديّة تتسبب في فتح هذه البشرة، والتي تجعل الشعر ”مساميًّا“. بخلاف المحاليل الحَمْضيّة التي تتسبب في إغلاقها بحيث تجعل الشعر ”مقاومًا“. يستطيع المُزَيِّن السيطرة على الفترة التي يحتفظ بها الشعر باللون الصناعي (الصبغة) عن طريق تعديل pH لمحلول صبغ الشعر مع وجود المحاليل الحَمْضيّة التي تغلق البشرة، وبالتالي ترتبط فقط مع المحور الخارجي لكلّ شعرة. والنتيجة هي لون مؤقّت للشّعر، والذي يمكن أن يزول مع أول غسل. وبوجود المحلول القاعديّ، تخترق الصبغة من خلال البشرة إلى الشعر، ويدوم الأثر أطول.



(أ)

(ب)

الشّكل 12.18
(أ) يمكن قياس pH لمحلول إلكترونيًّا باستخدام مقياس pH. (ب) يمكن تقدير pH لمحلول بطريقة تقريبية باستخدام ورق دوار الشّمس، وهو مغلف بصبغة تغير لونه تبعًا لقيمة pH.

حساب العلوم الطبيعية

■ pH واللوغاريتمات

يمكن إيجاد اللوغاريتم لأيّ عدد باستخدام آلة حاسبة علمية بإدخال الرّقم، ثمَّ الضغط على زر [log]. وتجد الآلة الحاسبة الأسّ لـ 10 التي يجب رفعها للحصول على الرّقم. فمثلًا اللوغاريتم لـ 10^2 هو 2، هل الجواب 2 لأنه الأسّ الذي يوضع للـ 10 لنحصل على 10^2. وإذا كنت تعرف أنّ 10^2 تساوي 100، فستفهم أنّ لوغاريتم 100 هو 2 أيضًا. تأكد من ذلك على آلتك الحاسبة. وبالمثل، فإنّ لوغاريتم الـ 1000 هو 3؛ لأنّ 10 رفعت إلى الأسّ الثالث، 10^3 تساوي 1000.

(لاحظ: نحن نتحدث عن الأساس 10 للوغاريتم، وليس اللوغاريتم الطبيعي ذا الأساس e).

إنّ أيّ عدد موجب، بما فيها الأعداد الصغيرة، لها لوغاريتم. فلوغاريتم العدد 0.0001 والتي تساوي 10^{-4} هو 4- (الأسّ الذي يرفع له 10 ليساوي هذا العدد).

مسألة 1:

ما لوغاريتم الـ 0.01؟

الحلّ:

العدد 0.01 هو 10^{-2}. إذن، فله لوغاريتم يساوي 2- (الأسّ الذي يرفع إلى 10).

يكون تركيز أيون الهيدرونيوم لمعظم المحاليل أقلّ من M 1 عادة. وتذكر مثلًا أنّ تركيز أيون الهيدرونيوم في الماء المتعادل هو 0.0000001 M ($10^{-7}M$). إنّ لوغاريتم أيّ عدد أقلّ من 1 (ولكن أكبر من صفر) يكون عددًا سالبًا. إنّ وجود إشارة (–) في تعريف الـ pH هو لتحويل لوغاريتم تركيز أيون الهيدرونيوم إلى عدد موجب.

عندما يكون تركيز أيون الهيدرونيوم هو M 1، فإنّ pH له تساوي صفرًا؛ لأنّ M 10 = M 1.

ومحلول له M 10 تكون pH له تساوي -1؛ لأنّ M 10^1 = M 10.

مسألة 2:

ما درجة pH لمحلول تركيز أيون الهيدرونيوم له يساوي M 0.001؟

الحل:

الرّقم 0.001 هو 10^{-3}، إذن

$$pH = - \log[H_3O+]$$

$$= - \log 10^{-3} = - (-3) = 3$$

مسألة 3:

ما لوغاريتم العدد 10^5؟

الحل:

"ما لوغاريتم 10^5؟" أيْ " ما الأسّ للعدد 10 ليعطي الرقم 10^5؟" والجواب هو 5.

مسألة 4:

ما لوغاريتم العدد 100000؟

الحل:

يجب معرفة أنّ 100000 هو 10^5. لذا، فإنّ لوغاريتم 100000 هو 5.

مسألة 5:

ما pH لمحلول له تركيز أيون الهيدرونيوم $10^{-9}M$؟ هل هذا المحلول حَمُضيّ، أم قاعديّ، أم متعادل؟

الحل:

pH = 9، وهذا يعني أنه محلول قاعديّ.

$$pH = - \log[H_3O+]$$

$$= - \log 10^{-9}$$

$$= - (-9)$$

$$= 9$$

لمعلوماتك

■ عند درجة حرارة أعلى من 374°س وضغط يساوي 218 جوّي، يتحول الماء إلى حالة من المادة تعرف بالمائع فوق الحرج، والذي يشبه كلًّا من السّائل والغاز. إنّ pH للمحلول المتعادل من الماء فوق الحرج تساوي 2، وهذا يعني أنه حامّ جدًّا. تجرى البحوث حاليًّا لمعرفة كيفية استخدام الماء فوق الحرج للقضاء على المواد الكيميائيّة السّامة، مثل مواد الحرب الكيميائيّة.الأثر أطول.

■ 4.18 الأمطار الحَمْضيّة والمحيطات القاعديّة

كما ذكر سابقًا، فإنّ مياه المطر بطبيعتها حَمُضية. إنّ أحد مصادر الأحماضة هو ثاني أكسيد الكربون، وهو الغاز نفسه الذي يعطي الطعم الفوار في المشروبات الغازية. يحتوي الغلاف الغازي على 810 بلايين طن من غاز CO_2، معظمها من المصادر الطبيعية، كالبراكين وتحلل المواد العضوية، ولكن هناك كميات متزايدة نتيجة الأنشطة البشرية (نحو 135 بليون طن).

يتفاعل الماء الموجود في الغلاف الجوي مع ثاني أكسيد الكربون لتكوين حَمُض الكربونيك:

$$CO_2\ (g) + H_2O\ (l) \longrightarrow H_2CO_3\ (aq)$$

حَمُض الكربونيك ماء ثاني أكسيد الكربون

يسلك حَمُض الكربونيك، كما يوحي اسمه، كحَمُض ويُنقص pH للماء. إنّ وجود CO_2 في الغلاف الجويّ يجعل pH نحو (5.6) وهو أقلّ كثيرًا من قيمة pH للمحاليل المتعادلة وهي 7.

وبسبب التذبذبات الموضعية، تتراوح قيمة pH لماء المطر بين 5 و7. إنّ هذه الأحماضة الطبيعية لماء المطر يمكن أن تؤدي إلى تسريع تعرية التربة، وكذلك تشكيل كهوف تحت الأرض عند توافر شروط معينة.
بالاتفاق، يشير مصطلح المطر الحَمْضيّ إلى المطر الذي تكون pH له أقلّ من 5. ينتج المطر الحَمْضيّ عن امتصاص الملوثات المنقولة جوًّا، مثل ثاني أكسيد الكبريت، من الرطوبة في الغلاف الجوي. ويتحول ثاني أكسيد الكبريت إلى ثالث أكسيد الكبريت الذي يتفاعل بدوره مع الماء لإنتاج حَمْض الكبريتيك:

$$2SO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow SO_3(g)$$

ثالث أكسيد الكبريت أكسجين ثاني أكسيد الكبريت

$$SO_3(g) + H_2O(l) \longrightarrow H_2SO_4(aq)$$

حَمْض الكبريتيك ماء ثالث أكسيد الكبريت

في كل عام، ينبعث إلى الغلاف الجويّ نحو 20 مليون طن من SO_2 نتيجة حرق الفحم والنفط اللذين يحتويان على الكبريت. إنّ حَمْض الكبريتيك أقوى كثيرًا من حَمْض الكربونيك. لذا، فإنّ المطر المضاف إليه حَمْض الكبريتيك يؤدّي إلى تآكل المعادن، والدهانات، وغير ذلك من المواد التي تتعرض له. وتبلغ التكلفة في كلّ عام بلايين الدولارات. كما أنّ التكلفة على البيئة كبيرة جدًّا (الشّكل 13.18). إنّ العديد من الأنهار والبحيرات التي تصلها مياه الأمطار الحَمْضيّة تصبح أقلّ قدرة على تحمل الحياة. كما أنّ الكثير من النباتات التي تصلها الأمطار الحَمْضيّة تموت. وهذا الشيء واضح الدلالة في المناطق الصناعية الضخمة.

لمعلوماتك

■ ما زالت الأمطار الحَمْضيّة مشكلة خطيرة في العديد من مناطق العالم، ومع ذلك، فقد حدث تقدم ملموس نحو حلّ هذه المشكلة. فمثلًا في الولايات المتحدة، تم خفض انبعاث ثاني أكسيد الكبريت وأكسيد النيتروجين إلى النصف منذ عام 1980م. كما تم تطبيق قانون الهواء النظيف ضمن الولاية (CAIR) في عام 2005م، والذي صُمِّم لخفض مستويات الملوثات بصورة أكثر، وخصوصًا في المناطق التي تهطل فيها أمطار المناطق الصناعية الكثيفة.

■ **نقطة فحص**

ما الذي يجعل المحلول المائي الناتج حامضًا عند إضافة حَمْض الكبريتيك H_2SO_4 إلى الماء؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لأنّ حَمْض الكبريتيك قويّ، وهو يكوّن أيونات الهيدرونيوم عند إذابته في الماء. إنّ أيونات الهيدرونيوم هي المسؤولة عن فعل الحمّ.

(أ)

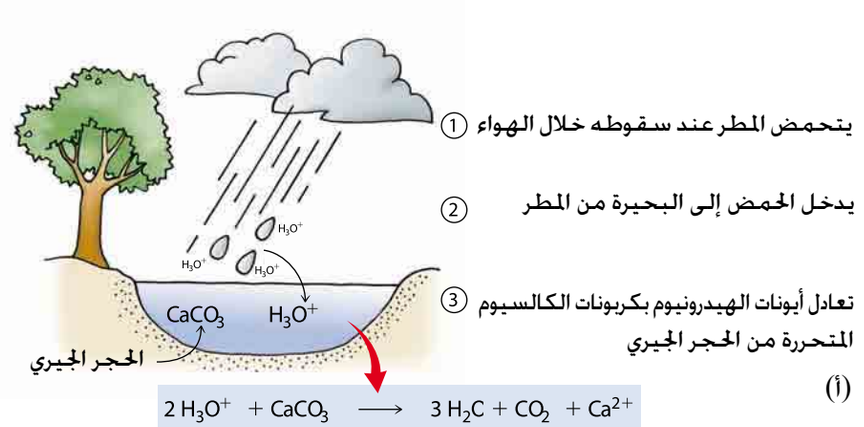
(ب)

الشّكل 13.18

(أ) تبين هاتان الصورتان المسلّة نفسها في متنزّه مدينة نيويورك الأوسط قبل أثر المطر الحَمْضيّ وبعده. (ب) العديد من الغابات التي تقع في اتجاه الريح من المناطق الصناعية الكثيفة، مثل شمال شرق الولايات المتحدة وأوربا، أصابها المطر الحَمْضيّ بشكل ملحوظ.

الشّكل 14.18

(أ) لا يظهر الأثر المدمر للمطر الحَمْضيّ في مسطحات المياه العذبة المبطنة بكربونات الكالسيوم، والذي يعادل أي حموضة. (ب) البحيرات والأنهار المبطنة بمواد خاملة لا تكون محمية.



الشّكل 15.18

يصنع معظم الطباشير من كربونات الكالسيوم، والتي هي المادة الكيميائيّة نفسها الموجودة في الحجر الجيري. حتى إضافة حَمْض ضعيف، مثل حَمْض الأسيتيك للخلّ، ينتج أيونات هيدرونيوم تتفاعل مع كربونات الكالسيوم لتكوين العديد من المنتجات، وأكثرها ملاحظة هو ثاني أكسيد الكربون الذي يخرج على شكل فقاقيع من المحلول. جرّب ذلك بنفسك! إذا لم تكن الفقاقيع كثيرة كما هي ظاهرة هنا، فإنّ الطباشير تكون مصنوعة من مركبات معدنية أخرى.

يعتمد الأثر البيئي للمطر الحَمْضيّ على الجيولوجيا المحلية. كما يوضح الشّكل 14.18. في بعض المناطق، كما هو الحال في الوسط الغربي للولايات المتحدة، تحتوي الأرض على كميات ضخمة من المركبات القلوية، مثل كربونات الكالسيوم (الحجر الكلسي) التي ترسبت عندما كانت هذه الأراضي تحت المحيط. كما حدث ذلك عدة مرات خلال 500 مليون عام مضت. تتعادل المياه الحَمْضيّة التي تصب في هذه الأراضي مع كربونات الكالسيوم قبل أن تُحدِث أضرارًا (يوضح الشّكل 15.18 معادلة كربونات الكالسيوم للحَمْض).

ولكن في الشمال الشرقي للولايات المتحدة وعدة مناطق أخرى، تحتوي الأرض على القليل من كربونات الكالسيوم، وتتكون أساسًا من مواد غير نشطة كيميائيًا، مثل الجرانيت، ويتراكم أثر المطر الحمضي على الأنهار والبحيرات. إنّ أحد الحلول الممكنة لهذه المشكلة هو زيادة الـ pH للبحيرات الحَمْضيّة والأنهار، بإضافة كربونات الكالسيوم، بعملية يطلق عليها التّكلّس. إنّ تكاليف نقل كربونات الكالسيوم بالإضافة إلى تكاليف المراقبة الدقيقة لأنظمة المياه تجعل هذه العملية مقصورة على نسبة قليلة من أنظمة المياه المتأثرة. وأكثر من ذلك، فباستمرار هطول الأمطار الحَمْضيّة في هذه المناطق تزداد الحاجة إلى استمرار عملية التّكلّس هذه.

إنّ الحلّ المثاليّ لمشكلة الأمطار الحَمْضيّة على المدى الطويل هو منع معظم كميات ثاني أكسيد الكبريت المنتجة وغيرها من الملوثات من دخول الغلاف الجوي منذ البداية. بهذا الاتجاه، فقد أعيد تصميم المداخن لتقليل كمية الملوثات المنبعثة. أمّا الحلّ الجذري على المدى الطويل فهو التحوّل من استخدام الوقود الأحفوريّ إلى مصادر الطّاقة النظيفة، كالطّاقة النووية والشّمسيّة.

■ **نقطة فحص**

ما نوع البحيرات المحمية من الآثار السّلبيّة للأمطار الحَمْضيّة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

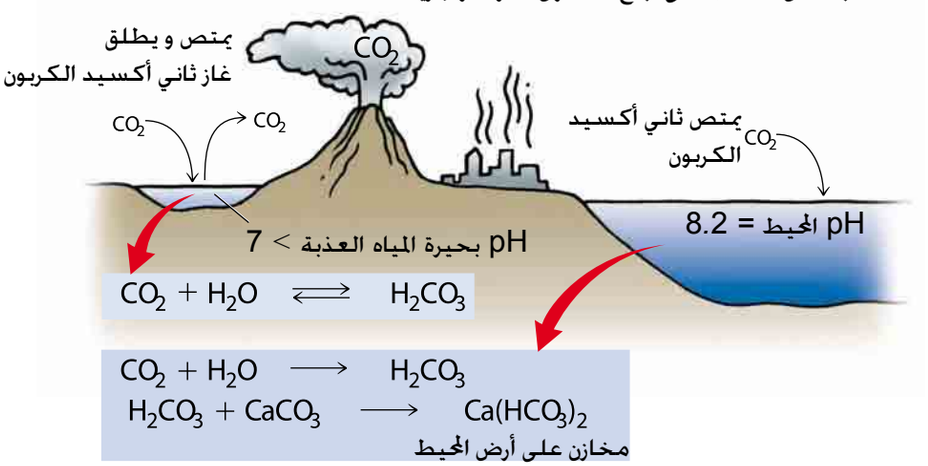
إنّ البحيرات التي تتكوّن أرضيتها من المعادن القاعديّة، مثل الحجر الجيري، تكون أكثر مقاومة للأمطار الحَمْضيّة؛ لأنّ كيميائية الحجر الجيري (في معظمه كربونات الكالسيوم، $CaCo_3$) تعمل على معادلة الحمض الداخل.

يجب ألا نتعجب من تزايد كميات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي نتيجة للأنشطة البشرية. ولكن المدهش هو أنّ الزيادة في نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ليست متناسبة، أيّ أنّها أقلّ مما هو متوقع. كما تشير إليه الدراسات. إنّ التفسير المحتمل لذلك له علاقة بالمحيطات (الشّكل 16.18). عندما يذوب ثاني أكسيد الكربون في جسم مائيّ؛ قطرة، أو بحيرة، أو محيط، فإنه يكون حَمْض الكربونيك. يتحول حَمْض الكربونيك في الماء العذب مرة أخرى إلى الماء وثاني أكسيد الكربون، والذي يعود ثانية إلى الغلاف الجوي. ولكن معادلة حَمْض الكربونيك تتم بسرعة في المحيطات بالمواد القلوية المذابة مثل كربونات الكالسيوم (المحيط قاعدي و pH له ≈ 8.2). تنتهي منتجات التّعادل هذه إلى أرضية المحيط كمواد صلبة غير قابلة للذوبان. وهكذا، فإنّ معادلة ثاني أكسيد الكربون في المحيط يمنع إعادة إطلاقه ثانية إلى الغلاف الجويّ. ولهذا، فإنّ المحيط مصرف لثاني أكسيد الكربون. فمعظم ثاني أكسيد الكربون الذي يصل المحيط يخرج. وعليه، فإنّ ضخّ المزيد من CO_2 إلى المحيط يعني مزيدًا منه في المحيطات. وهذه واحدة من بين الطرائق العديدة التي تساهم فيها المحيطات في تنظيم بيئتنا الكونية.

ومع ذلك، فما زال تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجويّ متزايدًا، كما يبين الشّكل 17.18. يُنتج ثاني أكسيد الكربون بسرعة كبيرة بحيث لا يستطيع المحيط امتصاصه. وهكذا يمكن أن يؤدي إلى تغير بيئة الأرض. إنّ غاز ثاني أكسيد الكربون هو أحد غازات الدفيئة، وهذا يعني أنه يساعد في تدفئة سطح الأرض، من خلال منعه للإشعاعات تحت الحمراء من الانبعاث إلى الفضاء الخارجي. ولو لم توجد غازات الدفيئة في الغلاف الجوي، لأصبح سطح الأرض ثلاجة، أي أنّ درجة حرارته نحو (-18°س). ولكن، مع استمرار زيادة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، فسوف نشهد زيادة في معدل درجة حرارة سطح الأرض. يمكن أن تؤدي زيادة معدل درجة الحرارة إلى تغير في الأنماط المُناخية العالمية، كما أنه يؤدي إلى زيادة في ارتفاع مستوى البحر، إضافة إلى ذوبان في الأغطية الجليدية القطبية، وزيادة في حجم مياه البحر بسبب التمدد الحجمي. وسوف ندرس التسخين الكونيّ بتفاصيل أكثر في الفصل 25.

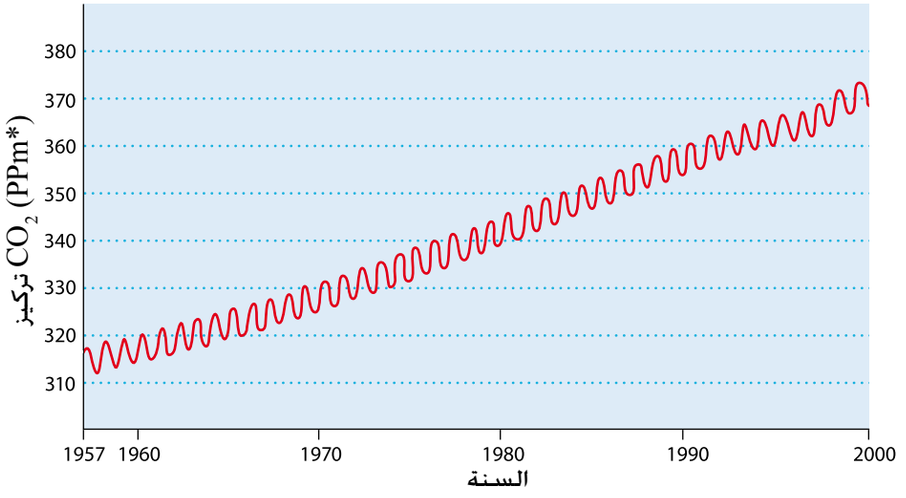
وهكذا، فإنّ حموضة المطر تعتمد كثيرًا على تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، والذي يعتمد بدوره على الـ pH للمحيط. تتداخل هذه الأنظمة مع درجات الحرارة الكونية، والتي ترتبط بدورها بعدد غير محدود من النّظم الحية على الأرض. كم هذا صحيح! إنّ هذه الأجزاء جميعها متداخلة بشكل معقد، حتى تبلغ مستوى الذّرّات والجزيئات!

لا تعرف الملوثات التي يطلقها البشر حدودًا سياسية. فالملوثات التي تطلقها معامل صهر الحديد في الصين، يتم الكشف عنها في سياتل – واشنطن.



الشّكل 16.18

يتكون ثاني أكسيد الكربون عند دخول حَمْض الكربونيك لأيّ مسطّح مائيّ. يكون هذا التّفاعل معكوسًا في المياه العذبة، ويعاد إطلاق ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجويّ. في المحيط القاعديّ، يتعادل حَمْض الكربونيك إلى مركبات مثل $Ca(HCO_3)_2$، والذي يترسب على أرض المحيط. ونتيجة لذلك، يبقى معظم ثاني أكسيد الكربون الذي يدخل إلى المحيط من الغلاف الجوي هناك.

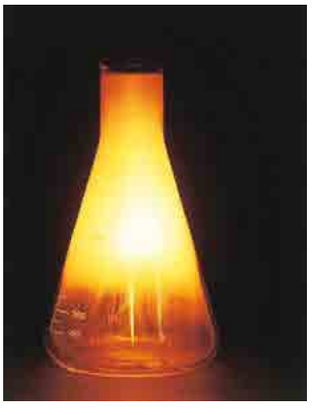


* ppm = جزء من المليون، وهذا يعني عدد جزيئات ثاني أكسيد الكربون لكلّ مليون جزيء من الهواء.

الشّكل 17.18
لقد سجل الباحثون في محطة مونالو Mauna Loa لمراقبة المناخ في هاواي ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجوّ منذ أن بدأ تجميع البيانات في خمسينيّات القرن الماضي. يعرف هذا المنحنى المشهور بمنحنى كيلينج Keeling، تكريمًا لشارلز كيلينج، وهو أول من بدأ هذا المشروع، وأول من لاحظ هذه الاتجاهات. من المثير أن تعكس الذبذبات في هذا المنحنى مستويات ثاني أكسيد الكربون الفصلية.

لمعلوماتك

■ **يختبر العلماء طُرقًا لتعزيز قدرة المحيطات على امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجويّ. لقد وجدوا أنّ إضافة مسحوق الحديد إلى منطقة صغيرة من المحيط كان له أثر كبير في تسريع نمو كائنات حية صغيرة عززت معدل امتصاص ثاني أكسيد الكربون. هل يمكن أن يساهم هذا الامتصاص في حلّ مشكلة الاحتباس الحراريّ؟ وهل بإضافة كمية كبيرة من مسحوق الحديد يبدأ عصر جليديّ جديد، أو يغير أيكولوجية المحيط؟ لا نعلم.**



الشّكل 18.18
في تكوين كلوريد الصوديوم الإكسوثيرمي، يتأكسد فلز الصوديوم من غاز الكلور، ويختزل غاز الكلور من فلز الصوديوم.

■ 5.18 فقدان الإلكترونات واكتسابها

يشير **التّأكسد (Oxidation)** إلى العملية التي يفقد فيها المتفاعل واحدًا أو أكثر من إلكتروناته. أمّا **الاختزال (Reduction)** فعكس ذلك، حيث يكتسب فيها المتفاعل واحدًا أو أكثر من إلكتروناته. إنّ التّأكسد والاختزال عمليتان متكاملتان وتحدثان في الوقت نفسه معًا دائمًا؛ أي لا يمكن أن تحدث الواحدة دون الأخرى. فالإلكترون المفقود من تفاعل الأكسدة لإحدى المواد الكيميائيّة لا يختفي، بل تكسبه مادة كيميائية أخرى في عملية الاختزال.

يحدث تفاعل التّأكسد - الاختزال عند اتحاد الصوديوم مع الكلور لتكوين كلوريد الصوديوم، كما هو مبين في الشّكل 18.18. معادلة هذا التّفاعل هي $2\,Na(s) + Cl_2(g) \longrightarrow 2\,NaCl(s)$

ولمعرفة كيفية انتقال الإلكترونات في هذا التّفاعل، يمكننا أن ننظر إلى المواد المتفاعلة على انفراد. تتحوّل كلّ ذرة صوديوم المتعادلة كهربائيًّا إلى أيونات مشحونة كهربائيًّا بشحنة موجبة. وفي الوقت نفسه يمكننا القول إنّ كلّ ذرة تفقد إلكترونًا. ومن ثم تأكسدت:

$$2\,Na(s) \longrightarrow 2Na^+ + 2e^-$$ تأكسد

يتحوّل كلّ جزيء كلور متعادل إلى أيونين سالبين. كل ذرة منهما تكسب إلكترونًا ومن ثم تختزل:

$$Cl_2 + 2e^- \longrightarrow 2\,Cl^-$$ اختزال

المحصلة هي أنّ الإلكترونين اللذين خسرتهما ذرّات الصوديوم قد انتقلا إلى ذرّات الكلور. وهكذا، فإنّ كلّ معادلة من المعادلتين السابقتين تمثّل نصف العملية الحقيقية، ولهذا السبب، يطلق عليهما **نصف تفاعل (Half reaction)**؛ أي لا يمكن لذرة الصوديوم أن تفقد إلكترونًا دون وجود ذرة كلور لتلتقطه. كل من نصفي التّفاعل مطلوب لتمثيل *كامل* عملية التّأكسد – الاختزال. نصف التّفاعل مفيد لتوضيح أيّ متفاعل يكسب إلكترونات وأيّ متفاعل يفقدها. ولهذا السبب يستعمل نصف التّفاعل خلال هذا الفصل.

ولأنّ الصوديوم يسبب اختزال الكلور، فإنّ الصوديوم يسلك سلوك عامل اختزال. إنّ عامل الاختزال هو أيّ متفاعل يتسبب في اختزال مادة أخرى. لاحظ أنّ الصوديوم قد تأكسد حينما سلك *سلوك عامل اختزال*: لقد فقد إلكترونات. وعلى النقيض، فإنّ الكلور تسبب في أكسدة الصوديوم. وبهذا، فقد سلك *كعامل مؤكسد*. وبسبب اكتسابه إلكترونات في العملية، فإنه قد اختزل. تذكر أنّ التّأكسد هو فقدان إلكترونات، والاختزال هو اكتسابها.

إنّ العناصر المختلفة ذات ميول مختلفة للتأكسد والاختزال: فبعضها يفقد إلكترونات بسهولة أكثر من غيرها، وبعضها يكتسب إلكترونات بسهولة أكثر، كما يوضح الشّكل 19.18.

■ **نقطة فحص**

1. تتأكسد معاملات الاختزال في تفاعلات التّأكسد-الاختزال. هل هذا صحيح؟
2. تختزل معاملات التّأكسد في تفاعلات التّأكسد-الاختزال. هل هذا صحيح؟

هل كانت هذه إجابتك؟

العبارتان صحيحتان.

ليس من السهولة دائمًا تصنيف التّفاعل على أنه تفاعل تأكسد – اختزال. ولكن يمكن أن تزودنا المعادلة الكيميائيّة ببعض الإيحاءات المهمة. أوّلًا، انظر إلى التّغيّرات في الحالة الأيونية للعناصر. يتكوّن فلزّ الصوديوم، مثلًا، من ذرّات صوديوم متعادلة. لتكوين كلوريد الصوديوم، تتحوّل هذه الذّرّات إلى أيونات الصوديوم الموجبة الشحنة، وهكذا تفقد ذرّات الصوديوم إلكترونات (تأكسد). وإليك الآن طريقة ثانية لتشخيص التّفاعل على أنه تفاعل تأكسد – اختزال من خلال معرفة ما إذا كان العنصر يكسب ذرّات أكسجين أم يفقدها. عندما يكتسب العنصر أكسجين، فإنه يفقد إلكترونات. وبسبب ارتفاع الكهروسالبية للأكسجين، فإنّ اكتساب الأكسجين هو تأكسد (فقدان إلكترونات)، أمّا فقدانه فاختزال (اكتساب إلكترونات). مثلًا، يتفاعل الهيدروجين، H_2، مع الأكسجين، O_2، لتكوين الماء، H_2O، كما يلي:

$$H-H + H-H + O=O \rightarrow H-O-H + H-O-H$$

لاحظ أنّ عنصر الهيدروجين يصبح مرتبطًا بذرة الأكسجين من خلال هذا التّفاعل. ولهذا فإنّ الهيدروجين يتأكسد.

وهناك طريقة ثالثة لتشخيص ما إذا كان التّفاعل هو تفاعل تأكسد – اختزال هي في رؤية ما إذا كان العنصر يكسب ذرّات هيدروجين أم يفقدها. إنّ كسب الهيدروجين هو اختزال، أمّا فقدانه فتأكُسُد. في تكوين الماء الموضح أعلاه، رأينا أنّ عنصر الأكسجين قد كسب ذرّات هيدروجين، وهذا يعني أن الأكسجين قد اختزل؛ أي أنّه اكتسب إلكترونات من الهيدروجين. ولهذا تكون ذرة الأكسجين ضمن الماء سالبة قليلًا كما ناقشنا في الجزء 7.15. لقد تم تلخيص الطرائق الثلاث لتشخيص التّفاعل على أنه تفاعل تأكسد – اختزال في الشّكل 20.18.

■ **نقطة فحص**

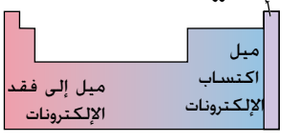
في المعادلة التالية، هل يتأكسد الكربون أم يختزل؟

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O$$

هل كانت هذه إجابتك؟

عندما يشكّل كربون الميثان، CH_4، ثاني أكسيد الكربون، CO_2، فإنه يفقد هيدروجين، ويكتسب أكسجين، وهذا يشير إلى أنّ الكربون قد تأكسد.

ميل قليل لفقدان أو اكتساب الإلكترونات



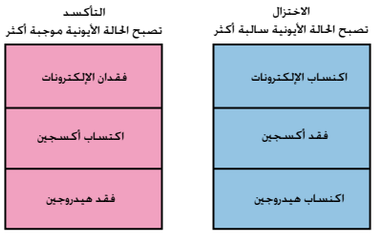
على الأغلب يسلك سلوك عامل مؤكسد (يختزل)

على الأغلب يسلك سلوك عامل مختزل (يتأكسد)

الشّكل 19.18

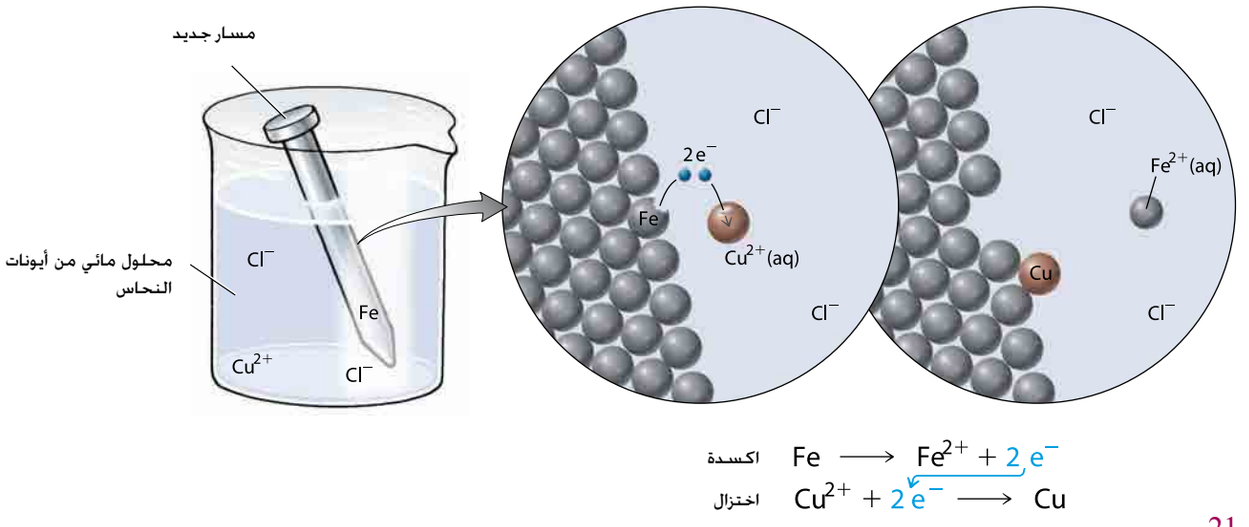
يستدل على مقدرة الذرة على اكتساب أو فقدان إلكترونات من موقعها في الجدول الدوري. تميل تلك التي في أعلى اليمين إلى اكتساب إلكترونات، أمّا التي في أسفل اليسار فتميل إلى فقدانها.

عندما نقول أن مادة قد تأكسد، فإننا نعني بذلك أنها قد فقدت الالكترونات. وعندما نقول أن مادة قد اختزلت، فإننا نعني بذلك أنها اكتسبت إلكترونات.



الشّكل 20.18

إنّ نتيجة الأكسدة شحنة موجبة أكبر، يتمّ الحصول عليها بفقدان إلكترونات، أو كسب ذرّات أكسجين، أو فقدان ذرّات هيدروجين. في حين أنّ نتيجة الاختزال شحنة سالبة أكبر، يتم الحصول عليها باكتساب إلكترونات، أو فقد ذرّات أكسجين، أو باكتساب ذرّات هيدروجين.



الشّكل 21.18

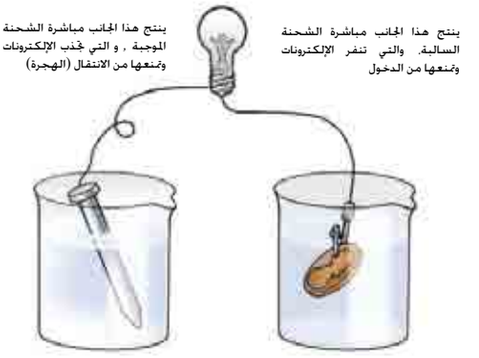
وضع مسمار من الحديد في محلول من أيونات النحاس Cu^{2+} يؤكسد أيونات الحديد Fe^{2+}، والتي تذوب في الماء في الوقت نفسه، تختزل أيونات النحاس إلى النحاس الفلزي والتي تغطي المسمار. (يجب أن توجد الأيونات السالبة الشحنة، مثل أيونات الكلور، Cl^-، والتي توازن الأيونات الموجبة الشحنة في المحلول.)

6.18 حصاد طاقة الإلكترونات المتحركة

الكيمياء الكهربائيّة *(Eelectrochemistry)* هي دراسة العلاقة بين الطّاقة الكهربائيّة والتّغيّر الكيميائيّ. تتضمن هذه الكيمياء استخدام تفاعل التّأكسد – الاختزال لإنتاج تيار كهربائيّ، أو استخدام تيار كهربائيّ لإنتاج تفاعل التّأكسد – الاختزال.

لفهم كيف يمكن لتفاعل التّأكسد – الاختزال توليد تيار كهربائي: خذ الحالة عند وضع عامل اختزال على اتصال مباشر مع عامل تأكسد: تنساب الإلكترونات من عامل الاختزال إلى عامل التّأكسد. وما انسياب الإلكترونات هذا إلّا تيار كهربائيّ، وهو شكل من طاقة الحركة التي يمكن حصادها لأغراض مفيدة.

مثلًا، تعدّ ذرّات الحديد عامل اختزال أفضل من أيونات النحاس Cu^{2+}. إذن، عند وضع قطعة حديد فلزية في محلول يحتوي على أيونات النحاس متصلّة معًا، تنساب الإلكترونات من الحديد إلى أيونات النحاس، كما يوضح الشّكل 21.18. وتكون النتيجة أكسدة ذرّات الحديد واختزال أيونات النحاس.



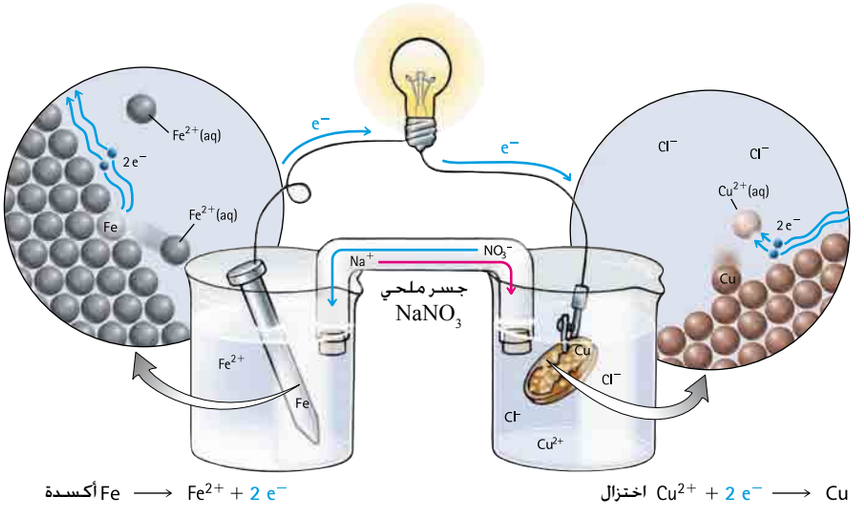
الشّكل 22.18

لا يحدث شيء عند وضع مسمار من الحديد في الماء وتوصيله بسلك في محلول من أيونات النحاس؛ لأنّ هذا الترتيب ينتج تراكمًا للشحنات تمنع المزيد من انسياب الإلكترونات.

والتي تغطي المسمار. (يجب أن توجد الأيونات السالبة الشحنة، مثل أيونات الكلور، Cl^-، والتي توازن الأيونات الموجبة الشحنة في المحلول).

لا حاجة لأنّ يكون الحديد الفلزي وأيونات النحاس على اتصال فيزيائيّ حتى تنساب الإلكترونات بينهما. إذا كانا في وعاءين منفصلين وتمّ توصيلهما بسلك موصل، فإنه يمكن أن تنساب الإلكترونات من الحديد من خلال السلك إلى أيونات النحاس. يمكن وصل التيار الكهربائي الناشئ في السلك إلى جهاز مفيد، مثل المصباح الكهربائي. ولكن لا يمكن استدامة التيار الكهربائي في هذا الترتيب.

إنّ سبب عدم استدامة التيار الكهربائي، المبين في الشّكل 22.18، منذ بدء انسياب الإلكترونات عبر السلك هو تراكم الشحنات فورًا في كلا الوعاءين. تتراكم شحنات موجبة بتجمع أيونات Fe^{2+} في الوعاء الأيسر من المسمار. يُراكم الوعاء الأيمن الشحنات السالبة بتجمع الإلكترونات في ذلك الجانب. وتمنع هذه الحالة المزيد من انتقال الإلكترونات عبر السلك. تذكر أنّ الإلكترونات سالبة. لذا فإنها تتنافر مع الشحنات السالبة في الوعاء الأيمن وتتجاذب مع الشحنات الموجبة في الوعاء الأيسر. أمّا النتيجة النهائية فهي أنّ الإلكترونات لا تستطيع الانسياب عبر السلك، ويبقى المصباح معتمًا.



الشّكل 23.18

يكمل الجسر الملحي الدارة الكهربائيّة. تتحرر الإلكترونات عند مرور الحديد المؤكسد عبر السلك إلى الوعاء الأيمن. تنتقل أيونات النترات، NO_3^-، من الجسر الملحي في الوعاء الأيسر لتوازن الشحنات الموجبة لأيونات الحديد Fe^{2+} المتكون، مانعةً بذلك تراكم الشحنة الموجبة. في هذه الأثناء، تدخل أيونات الصوديوم، Na^+ من الجسر الملحي إلى الوعاء الأيمن لتوازن أيونات الكلور Cl^- "المتخلي عنها" من أيونات النحاس عند إمساك أيونات النحاس Cu^{2+} الإلكترونات لتصبح فلز نحاس.

قد يكون الجسر الملحي بسيط جدًّا ليتكون من منشفة ورقية مشبعة بالماء المالح.

لحلّ هذه المشكلة: يجب السّماح للأيونات بالانتقال إلى أيّ من الوعاءين لكي لا يحدث تراكم للشحنات الموجبة أو السالبة في أيّ منهما. يمكن تحقيق ذلك بعمل جسر ملحي، بأنبوب على شكل - U معبأ بملح مثل نترات الصوديوم $NaNO_3$، ومغلق من طرفيه بسدادات شبه مسامية. يوضح الشّكل 23.18 كيف يسمح الجسر الملحي للأيونات التي يمسكها للدخول إلى أيّ من الوعاءين، سامحًا بانسياب الإلكترونات عبر السلك الموصل صانعة دارة كهربائية متكاملة.

البطّاريّات

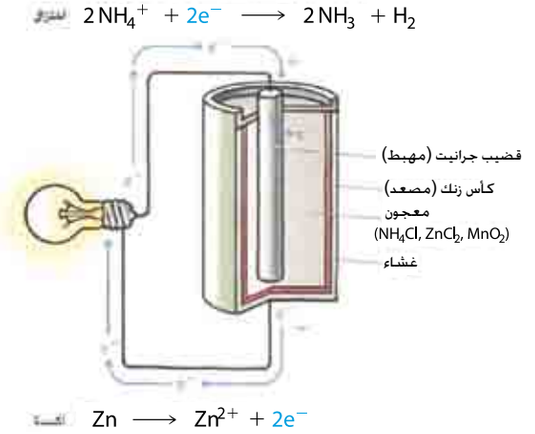
وهكذا يمكننا أن نرى بإعداد مناسب إمكانيّة حصاد الطّاقة الكهربائيّة من تفاعل التّأكسد – الاختزال. إنّ الجهاز المبين في الشّكل 23.18 مثال على ذلك. تسمّى هذه الأجهزة *الخلايا الفولتية*. وبدلًا من وجود وعاءين، يمكن أن تكون الخلية الفولتية وحدة ذاتية متكاملة.

وتسمى في هذه الحالة *بطارية*. تكون البطارية إما مستهلكة أو يمكن إعادة شحنها. وسندرس هنا بعض الأمثلة لكلّ منهما. على الرّغم من أنّ النوعين يختلفان في التصميم والمكونات، إلا أنهما يعملان بالمبدأ نفسه: يتم وصل مادتين تُؤكسد وتَختزل إحداهما الأخرى في وسط يتم انتقال الأيونات من خلاله لموازنة انسياب الإلكترونات الخارجي.

دعنا ندرس البطاريات المستهلكة أولًا: *بطارية الخلية الجافة* المألوفة، والتي اخترعت في عام 1860م وما تزال تستخدم حتى يومنا هذا. ومن المحتمل أن تكون أرخص مصدر للطاقة المستهلكة لمصابيح الإضاءة، والألعاب وما شابه. تتكون بطارية الخلية الجافة من كأس من الزنك معبأ بعجينة سميكة من كلوريد الأمونيوم NH_4Cl، وكلوريد الزنك $ZnCl_2$، وثاني أكسيد المنجنيز MnO_2، يغمس في هذه العجينة عصا مسامية من الجرافيت تصل إلى أعلى البطارية، كما هو مبين في الشّكل 24.18.

الجرافيت موصل جيد للتيار الكهربائي. تستقبل المواد الكيميائيّة في العجينة الإلكترونات عند عصا الجرافيت، وهناك تختزل. إنّ تفاعل أيونات الأمونيوم هو

اختزال $2NH_4^+(aq) + 2e^- \longrightarrow 2NH_3(g) + H_2(g)$



الشّكل 24.18

بطارية الخلية الجافة المألوفة من قضيب جرافيت مغمور في معجون كلوريد الأمونيوم، وثاني أكسيد المنجنيز، وكلوريد الزنك.

يعرف **القطب*(Electrode)*** بأنّه أيّ مادة توصل الإلكترونات من الوسط الذي تحدث فيه التّفاعلات الكهروكيميائية وإليه.

يزداد عمر البطاريات الاحتياطية للكشاف الضوئي إذا ما حفظت في الثلاجة.

يسمّى القطبُ الذي يحدث عليه الاختزال الكيميائيّ **المهبطَ *(Cathode)***. ويكون المهبط لأيّ بطارية، كالتي تشاهد في الشّكل 24.18، دائمًا موجبًا (+)، وهذا يشير إلى أنّ الإلكترونات تنجذب طبيعيًّا إلى هذا الموقع. إنّ مصدر الإلكترونات التي تكتسبها المواد الكيميائيّة عند المهبط هو **المصعد *(Anode)***، وهو القطب الذي تتأكسد عنده المواد الكيميائيّة. ويكون المصعد لأيّ بطارية دائمًا سالبًا (-)، وهذا يشير إلى أنّ الإلكترونات تبتعد عن هذا الموقع. إنّ المصعد في الشّكل 24.18 هو كأس الزنك، حيث تفقد ذرّات الزنك الإلكترونات لتشكيل أيونات الزنك:

$$Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^- \quad \text{تأكسد}$$

ينتج عن اختزال أيونات الأمونيوم في خلية البطارية الجافة غازان هما الأمونيا، NH_3، والهيدروجين- H_2، اللذان يجب إزالتهما حتى نتجنب زيادة الضغط الذي قد يؤدي إلى الانفجار. تتم الإزالة من تفاعل الأمونيا مع كلوريد الزنك وتفاعل الهيدروجين مع ثاني أكسيد المنجنيز:

$$ZnCl_2(aq) + 2\,NH_3(g) \longrightarrow Zn(NH_3)_2Cl_2(s)$$

$$2\,MnO_2(s) + H_2(g) \longrightarrow Mn_2O_3(s) + H_2O(l)$$

إنّ عمر البطارية الجافة قصير عادة. تتسبب الأكسدة في تآكل كأس الزنك، وفي النهاية تتسرب المحتويات نحو الخارج. وحتى عندما تكون البطارية غير شغالة، يتآكل الزنك عند تفاعله مع أيونات الأمونيوم. ويمكن حماية الزنك من التآكل بتخزين البطارية في ثلاجة. وكما ناقشنا في الجزء 3.17، تتباطأ التّفاعلات الكيميائيّة مع نقصان درجة الحرارة. وهكذا فتبريد البطارية يعمل على تباطؤ معدل تآكل الزنك، والذي بدوره يزيد من عمرها.

وهناك نوع آخر من البطاريات المستهلكة، هو البطاريات القلوية، الغالية الثمن، وهي موضحة في الشّكل 25.18. تتلافى العديد من مشاكل بطاريات الخلية الجافة، وذلك من خلال عملها في عجينة قلوية قوية. وبوجود أيونات الهيدروكسيل، يتأكسد الزنك إلى أكسيد الزنك غير المذاب:

$$Zn(s) + 2\,OH^-(aq) \longrightarrow ZnO(s) + H_2O(l) + 2e^- \quad \text{تأكسد}$$

وفي الوقت نفسه، يختزل ثاني أكسيد المنجنيز:

$$2\,MnO_2(s) + H_2O(l) + 2e^- \longrightarrow Mn_2O_3(s) + 2\,H_2O(aq) \quad \text{اختزال}$$

لاحظ تجنب استخدام أيون الأمونيوم الذي يؤدي إلى تآكل الزّنك، في هذين التّفاعلين. (وهذا يعني أنّ البطاريات القلوية تدوم وقتًا أطول من بطاريات الخلية الجافة) كما أنهما يمنعان تشكّل النواتج الغازية. إضافة إلى أنّ هذه البطاريات أفضل في المحافظة على جهد ثابت خلال فترات عملها الطويلة.

إنّ بطاريات الزّئبق والليثيوم الصغيرة المستهلكة والتي تستخدم في الآلات الحاسبة وآلات التصوير هي أنواع من البطاريات القلوية. في بطارية الزئبق، يُختزل أكسيد الزئبق، HgO، بدلًا من ثاني أكسيد المنجنيز. وبسبب سُمّيّته، وأضراره على البيئة، فقد أوقف المصنعون صناعة هذا النوع من البطاريات. أما بطاريات الليثيوم فتستخدم فلز الليثيوم مصدرًا للإلكترونات بدلًا من الزنك. ليس لأنّ الليثيوم يعطينا جهدًا أعلى من الزنك فقط، ولكن لأنّ كثافته تبلغ نحو $\frac{1}{13}$ من كثافة الزنك، والذي يسمح بإنتاج بطارية خفيفة.

الشّكل 25.18
تدوم البطاريات القلوية أطول من بطاريات الخلية الجافة وتعطي جهدًا ثابتًا، ولكنها أغلى ثمنًا.

يكون عمر البطاريات المستهلكة قصيرًا نسبيًا؛ لأنّ المواد الكيميائيّة التي تنتج الإلكترونات تستهلك. إنّ الميزة الرئيسة للبطارية التي يمكن إعادة شحنها هي انعكاسية تفاعلات التّأكسد والاختزال. وتعدّ بطارية NiMH أحد الأمثلة الشائعة لمثل هذه البطاريات. إنّ شحن هذه البطّارية يجعل فلز النيكل يستخلص الهيدروجين من الماء لتشكيل أيون الهيدروجين السالب، كما هو مبين أدناه: H، حيث تُمثّل النقطتان إلكترونين*.

$$\underset{\text{ماء}}{H_2O} + \underset{\text{فلز النيكل}}{Ni} + 2e^- \longrightarrow \underset{\substack{\text{هيدريد}\\ \text{النيكل}}}{H{:}Ni} + \underset{\substack{\text{أيون}\\ \text{الهيدوكسيد}}}{Ho^-}$$

* يمثل النيكل في هذه المعادلة مركبًا شبه فلزي للنيكل، وعناصر مختلفة من الأرضية النادرة، مثل اللانثانيوم La.

إنّ دور النيكل هو في استقرار الإلكترونين على الهيدروجين، والذي يسمى أيون الهيدريد بسبب احتوائه على إلكترون إضافي. وكما يسمى الكلور بالكلوريد عند إضافة إلكترون إضافي له، يسمى أيون الكلوريد، باستخدام الرمز "يد" في نهايته. وهكذا فإنّ البطارية المشحونة تمامًا تحتوي على كميات وفيرة من هيدريد النيكل. وعند تشغيل البطارية وتزويدنا بالكهرباء، يطلق أيون الهيدريد إلكترونات، وهو ينضم إلى أيون الهيدروكسيل لإعادة تشكيل الماء:

$$H:Ni + HO^- \longrightarrow H_2O + Ni + 2e^-$$

هيدريد النيكل — أيون الهيدوكسيد — ماء — فلز النيكل

إنّ إعادة شحن البطارية القابلة لإعادة الشحن يعني إعادة توليد المواد الكيميائيّة، مثل هيدريد النيكل التي يمكن أن تطلق إلكترونات عند الحاجة. إن المواد الكيميائيّة في بطارية NiMH هي هيدريد النيكل، H:Ni. أمّا المواد الكيميائيّة لبطارية السيّارة الاعتيادية فهي الرصاص، Pb، والذي يتحول إلى كبريتات الرصاص، $PbSO_4$، عند إطلاقها إلكترونات. وعند إعادة شحن بطارية السيّارة، تتحول كبريتات الرصاص ثانية إلى رصاص، Pb.

تستخدم بطاريات أيون - الليثيوم التي يعاد شحنها في مجالات عديدة، كتزويد الحاسوب المحمول بالطّاقة، وكذلك أجهزة الهاتف المحمول. كما يستخدم بعض هذه البطاريات في السيارات المهجنة، كما في سيّارة تويوتا (Prius) التي تظهر في الصورة (الشّكل 26.18). لقد حسّن التهجين من كفاءة السيّارة؛ لأنّ طاقتها الحركية تتحول إلى طاقة وضع كهربائية في البطارية عندما تتباطأ، بدلًا من تحولها إلى طاقة حرارية ضائعة من قبل كوابح السيّارة. تستخدم الطّاقة الكهربائيّة الناتجة في محرك البنزين للسيّارة وجعلها تتحرك. كما أنّ أنظمة البطارية المهجنة تغلق محرك السيّارة إذا كانت تسير بسرعة عادية أو بطيئة، كما في حالة الاختناقات المرورية.

إنّ استمرار التحسينات في تكنولوجيا البطاريات سيؤدي إلى ظهور الجيل الثاني من السيارات المهجنة والمعروفة بالهجين القابل للشحن، والذي يمتاز ببطاريات أكبر، وخزانات وقود أصغر. يمكن شحن هذه السيارات المهجنة خلال الليل، واستخدامها في اليوم التالي حتى مسافة 60 ميلًا دون استخدام البنزين، علمًا بأنّ معدل استخدام الفرد العادي اليوميّ للسيّارة هو 40 ميلًا في الولايات المتحدة. والأفضل من ذلك، أنه يمكن شحن هذا النوع من السيارات باستخدام بطاريات شمسية أو محرك هوائيّ صغير. كما أنّ السيارات التي يستمر شحنها خلال النهار، يمكن أن تزود الشبكة بالطّاقة خلال الذروة، ويمكن أن يُكافأ أصحاب هذه السيارات لتوفيرهم الطّاقة. أضف إلى ذلك، أنّ مثل هذا النوع من السيارات قد يزودنا باحتياطي كهربائي للاستخدامات المنزلية في الحالات الطارئة عند انقطاع التيار الكهربائي. كما تسهم هذه السيارات المهجنة القابلة للشحن ذات البطاريات الكبيرة وذات الكفاءة العالية، في الحفاظ على الطّاقة والاكتفاء الذاتي على المستويين الخاص والعام.

■ **نقطة فحص**

ما المواد الكيميائيّة التي تنتج عند إعادة شحن بطارية هيدريد النيكل؟

هل كانت هذه إجابتك؟

هيدريد النيكل، H:Ni، وأيونات الهيدروكسيل HO^-.

خلايا الوقود

إنّ *خلية الوقود* جهاز لتحويل الطّاقة الكيميائيّة إلى طاقة كهربائية. وتعدّ خلايا الوقود أكثر الطرق كفاءة في توليد الكهرباء. يبين الشّكل 27.18 خلية وقود الهيدروجين – الأكسجين. هذه الخلية لها حجرتان: واحدة لدخول وقود الهيدروجين والأخرى لدخول وقود الأكسجين، وتفصل بينهما مجموعة من الأقطاب المسامية.

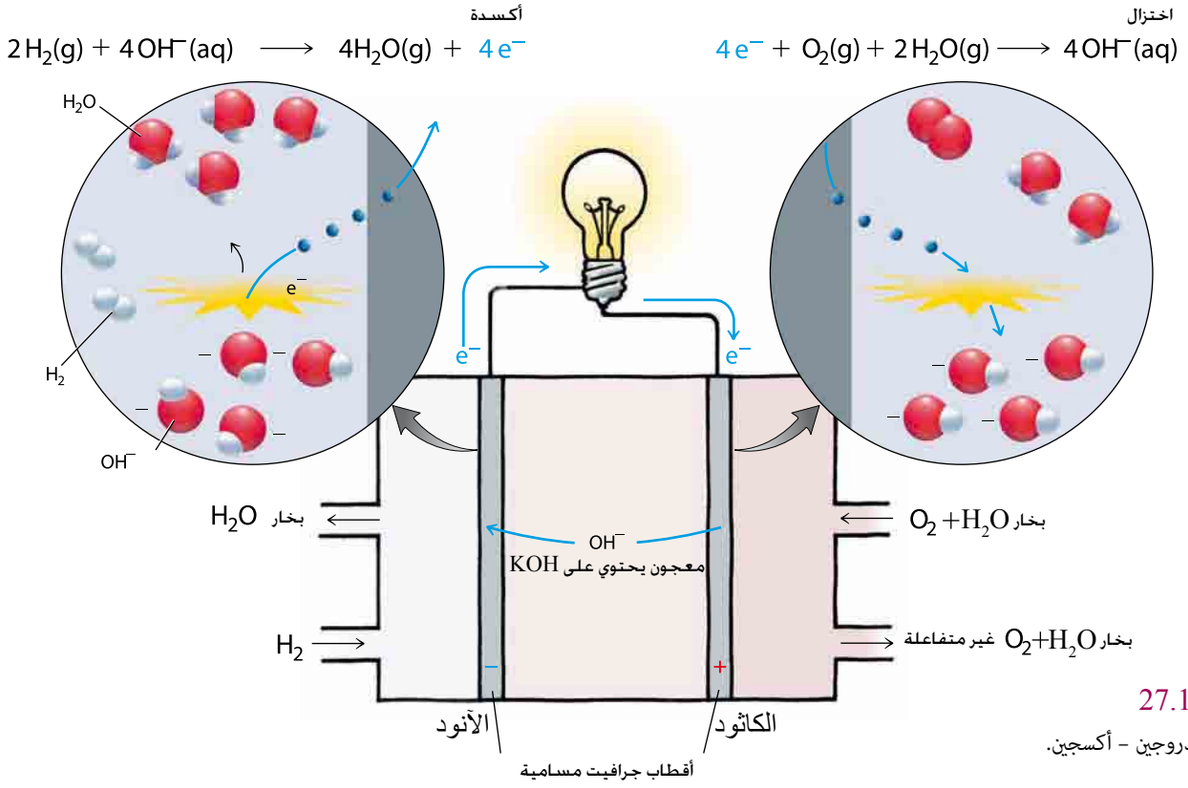
بجانب الشحنة الابتدائية الموجودة في البطارية الحديثة جدًّا فإنّ الطّاقة في بطارية السيّارة تستمد في النهاية من الوقود في خزان البنزين من خلال عملية إعادة الشحن.

الشّكل 26.18

تم بيع 500,000 سيّارة مهجنة منذ عام 2006م في أنحاء العالم كلّه، منها 266,000 تقريبًا في الولايات المتحدة. في الأعوام القادمة، تخيّل سيّارة مهجنة يمكن شحنها بالكهرباء ليلًا في بيتك، واستخدامها في النهار التالي دون استخدام البنزين حتى مسافة 60 ميلًا.

لمعلوماتك

■ تتحرك الإلكترونات من المصعد السالب إلى المهبط الموجب عند أخذ تيار من البطارية. ولكن، عند إعادة شحنها، تتحرك الإلكترونات من المهبط إلى المصعد، حيث تأتي الإلكترونات اللازمة للاختزال من المهبط. ولأنّ الإلكترونات لا تنتقل إلى المهبط السالب وحدها، بل تجبر على ذلك، فإن عملية إعادة الشحن تستهلك طاقة.



الشّكل 27.18
خلية وقود هيدروجين – أكسجين.

بسبب الاستعمالات العديدة لخلايا الوقود فإنّ من المؤكّد انتشارها في المستقبل القريب بسرعة كبيرة في الأسواق.

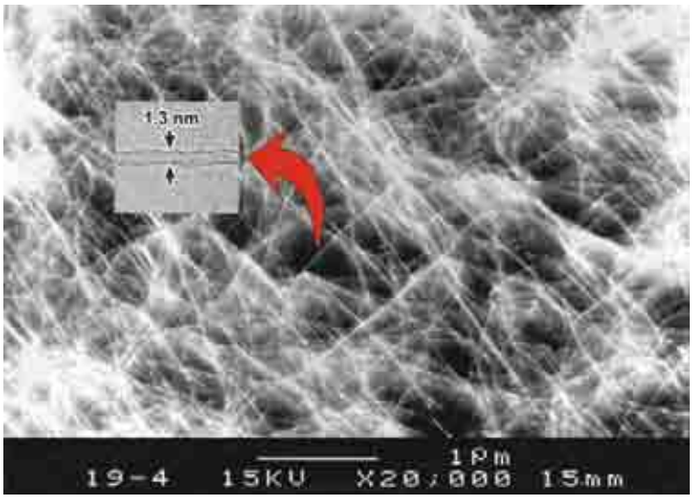
يتأكسد الهيدروجين عند تلامسه مع أيونات الهيدروكسيل، وذلك على القطب المواجه للهيدروجين (المصعد). تنساب الإلكترونات الناتجة عن هذا التّأكسد عبر دارة كهربائية خارجية لتزويد الطّاقة الكهربائيّة قبل التقائها بالقطب المقابل للأكسجين (المهبط) يلتقط الأكسجين الإلكترونات في الحال (بتعبير آخر يختزل الأكسجين) ويتفاعل مع الماء لتكوين أيونات الهيدروكسيل. ولإكمال الدارة الكهربائيّة، تنتقل أيونات الهيدروكسيل هذه عبر الأقطاب المسامية، ومن خلال عجينة هيدروكسيد البوتاسيوم، KOH، تتحد مع الهيدروجين عند القطب المقابل للهيدروجين.

كما توضح معادلة التّأكسد الظاهرة في أعلى الشّكل 27.18، تتفاعل أيونات الهيدروجين والهيدروكسيل لإنتاج جزيئات الماء ذات الطّاقة العالية، والتي تكون على شكل بخار. يستخدم هذا البخار في التسخين أو في توليد الكهرباء في التوربين البخاري. والأفضل من ذلك، أنّ الماء الذي يتكاثف من البخار يكون نقيًّا صالحًا للشرب.

على الرّغم من التشابه بين خلايا الوقود وبطاريات الخلية - الجافة، إلا أنّ خلايا الوقود لا تنضب طالما تُزوّدُ بالوقود. تستخدم المركبة الفضائية خلايا الوقود لاحتياجاتها الكهربائيّة. كما أنها تنتج 100 جالون من ماء الشرب لرواد الفضاء خلال مهمة عادية تستغرق أسبوعًا. وبالعودة إلى الأرض، فقد طوّر الباحثون خلايا وقود لاستخدامها في الحافلات والسيارات. وكما يظهر في الشّكل 28.18، هناك حافلات تجريبية في العديد من المدن، في فان كوفر، كولومبيا البريطانية، وفي شيكاغو/ إلينوي/ الولايات المتحدة. تنتج هذه الآليات القليل من الملوثات، وذات كفاءة أعلى من السيارات التي تستخدم الوقود الأحفوري.

في المستقبل، سوف تُجهَّز المباني التجارية والمنازل الشخصية بخلايا وقود كبديل عن التزود بالكهرباء (والتدفئة) من محطات القوى المحلية. ويعكف الباحثون على إيجاد نماذج صغيرة من خلال الوقود، لاستبدال بطاريات الأجهزة الكهربائيّة المحمولة، كأجهزة الهواتف والحواسيب المحمولة. ويمكن لهذه الأجهزة أن تعمل لفترات زمنية طويلة بكمية وقود يمكن أن تكون موجودة في محلات البقالة.

الشّكل 28.18
لأنّ مصدر الطّاقة في هذه الحافلة هو خلية الوقود فإنّ معظم ما ينبعث من عوادمها هو بخار ماء.



الشّكل 29.18
تتكوّن ألياف الكربون المنمنمة (النانوية) من أنابيب دون مجهرية تقريبًا. والتي تتفوق على معظم المواد المعروفة في مقدرتها على امتصاص جزيئات الهيدروجين. وباستخدام ألياف الكربون المنمنمة، يمكن تقليص حجم 36,000 لتر من الهيدروجين إلى مجرد 35 لترًا. إنّ ألياف الكربون المنمنمة حديثة الاكتشاف. ولكن يتطلب المزيد من البحث لتأكيد قدرتها على تخزين الهيدروجين، وتطوير التكنولوجيا اللازمة لذلك.

من المدهش أنّ السيّارة التي تستعمل خلية وقود الهيدروجين – الأكسجين، يمكنها قطع مسافة 500 كم بنحو 3 كجم من الهيدروجين. ولكن، يبلغ حجم هذه الكمية من غاز الهيدروجين على درجة حرارة الغرفة والضغط الجوي 36,000 لتر تقريبًا، أي حجم 4 سيارات متوسطة الحجم على وجه التقريب! إذن، فالعقبة الأساس في تطوير تكنولوجيا خلية الوقود يكمن في الوقود وليس في الخلية. ويمكن حصر هذه الكمية من الغاز في حجم أصغر كثيرًا، كما هو موضح في المركبة التجريبية في فان كوفر.

يتطلب ضغط الغاز طاقة. ونتيجة لذلك تنقص كفاءة خلايا الوقود، وهي الميزة الأساسية لها. كما أنّ تبريد الهيدروجين يواجه مشاكل مشابهة ليصبح في طور السّائل، ويأخذ حجمًا قليلا. لذا، يعكف الباحثون على تطوير طرق إبداعية أخرى لتزويد خلايا الوقود بالهيدروجين. من بين هذه الطرق، إنتاج الهيدروجين من تفاعلات كيميائية ضمن خلية الوقود ذاتها. ومن تفاعلات كيميائية تتعلق بوقود كسائل مثل الميثانول، CH_3OH. أو كبديل، يمكن استخدام بعض المواد المسامية، بما في ذلك تلك المطورة حديثًا، كألياف النانو كربون المبينة في الشّكل 29.18، والتي يمكنها حفظ كميات هائلة من الهيدروجين على سطحها، وتسلك "سلوك إسفنجة" هيدروجين. يعصر الهيدروجين من هذه المواد عند الطلب وذلك بالسيطرة على درجة الحرارة؛ فكلما كانت المادة أسخن أطلقت هيدروجين أكثر.

نقطة فحص

ما دام كان الوقود متوافرًا لخلية الوقود، تستطيع هذه الخلية تزويد الطّاقة الكهربائيّة إلى ما لا نهاية. لماذا لا تفعل البطاريات الشيء نفسه؟

هل كانت هذه إجابتك؟

تزود البطاريات الكهرباء ما دام كان هناك تأكسد واختزال للمواد الكيميائيّة المتفاعلة التي تحتويها. وعند استهلاك هذه المتفاعلات، لا تستطيع هذه البطاريات إنتاج الكهرباء. ومن الممكن أن تعمل بطارية إعادة الشحن مرة أخرى، ولكن بعد انقطاع سريان الكهرباء لتعبئة المتفاعلات مرة ثانية.

7.18 الكهرلة

الكهرلة هي استعمال الطّاقة الكهربائيّة لإنتاج طاقة كيميائية. إنّ إعادةَ شحن بطارية السيّارة مثالٌ على الكهرلة. كما في الشّكل 30.18، حيث يمرّر تيار كهربائيّ خلال الماء، وهي عملية تفتيت الماء إلى مكوناته العنصرية:

$$2\,H_2O(l) + \text{طاقة كهربائية} \longrightarrow 2\,H_2(g) + O_2(g)$$

تستخدم الكهرلة لتنقية المعادن من المناجم. ومثال هذا، الألومنيوم وهو العنصر الثالث الأكثر وفرة طبيعيًّا في القشرة الأرضية، والذي يوجد متحدًا مع الأكسجين طبيعيًّا في المنجم على شكل بوكسيت. لم يعرف الألومنيوم في العالم حتى عام 1827م، عندما تم تفاعل البوكسيت مع حَمْض الكلوريد.

الشّكل 30.18
تنتج الكهرلة للماء غازي الهيدروجين والأكسجين بنسبة 1:2 بالحجم، وفق الصيغة الكيميائيّة للماء: H_2O. ولكي تتم هذه العملية؛ يجب إذابة أيونات في الماء حتى تصل الشحنة الكهربائيّة إلى الأقطاب.

يعطينا هذا التّفاعل أيون الألومنيوم، Al^{3+}، والذي يختزل إلى فلز الألومنيوم، حيث يعمل الصوديوم بوصفه عامل اختزال.

$$Al^{3+} + 3\,Na \longrightarrow Al + 3\,Na^{+}$$

هذه الطريقة الكيميائيّة مكلفة؛ لقد كان ثمن رطل الألومنيوم في ذلك الوقت 100,000 دولار، وكان يعدّ عنصرًا شحيحًا وثمينًا. في عام 1855م، عرضت أدوات الطعام المصنوعة من الألومنيوم وبعض الأصناف الأخرى مع مجوهرات التاج الفرنسي في باريس. وفي عام 1886م، اكتشفت طريقة لاستخلاص الألومنيوم من أكسيد الألومنيوم، Al_2O_3، كمكوّن أساسي للبوكسيت، على يد عالِمَيْن عمل كل منهما مستقلًّا عن الآخر في الوقت نفسه تقريبًا، وهما شارلز هول Charles Hall (1863–1914) في الولايات المتحدة، وبول هيرولت Paul Heroult في فرنسا (1863 –1914). لقد عرفت هذه الطريقة فيما بعد بطريقة هول – هيرولت، والتي تظهر في الشّكل 31.18، حيث يمرّ تيار كهربائيّ قوي خلال خليط مذاب من أكسيد الألومنيوم والكريولايت Cryolite، والموجودة طبيعيًّا كفلز. تتفاعل أيونات الفلور في الكريولايت مع أكسيد الألومنيوم لتكوين أيونات فلوريد الألومنيوم المختلفة، مثل والتي بدورها تتأكسد إلى أيون فلوريد الألومنيوم السداسي . ويختزل الـ Al^{+3} إلى عنصر الألومنيوم الذي يجمع من قاع حجرة التّفاعل. إنّ هذه العملية ما زالت تستخدم حتى يومنا هذا من قِبَل الصناعيين، ولقد طُورت بشكل كبير لإنتاج الألومنيوم بكميات كبيرة. وفي عام 1890م، انخفض سعر الألومنيوم ليصل ثمن الرطل منه إلى دولارين.

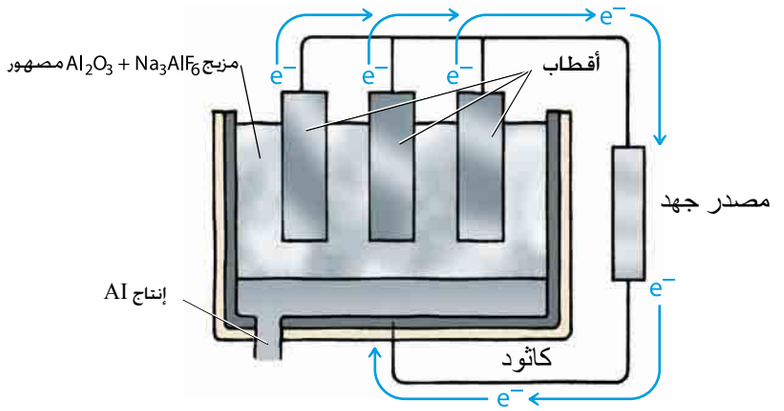
يبلغ الإنتاج العالمي من الألومنيوم اليوم 16 مليون طن في السنة. ويتطلّب لكلّ طنّ من الألومنيوم من المنجم استهلاك 16,000 كيلوات - ساعة من الطّاقة الكهربائيّة، وهذا معدل استهلاك عائلة أمريكية في 18 شهرًا. وفي المقابل، فإنّ تكلفة إعادة تدوير الألومنيوم تستهلك 700 كيلوات – ساعة لكلّ طنّ فقط. وهكذا، فإنّ إعادة التدوير لا يقلل كمية النّفايات فقط، ولكنه يساعد في تخفيف الحمولة عن محطات القوى أيضًا، مما يحدّ من تلوث الهواء، إضافة إلى المحافظة على مناجم الألومنيوم العالية الجودة في الولايات المتحدة والتي بدأت تنضب. كما أنّ إعادة التدوير تساهم في تقليل الحاجة إلى تطوير مناجم بوكسيت جديدة في الأقطار الأجنبية.

يمكن أن ينتج التّغيّر الكيميائيّ كهرباء. وعليه، فمن المنطق أن تنتج الكهرباء تغيرًا كيميائيًّا؛ العلوم الفيزيائية متماثلة.

لمعلوماتك

■ تحتاج أجسامنا إلى كميات كبيرة من الطّاقة من أجل البقاء. نحصل على هذه الطّاقة من جزيئات خاصة عالية الطّاقة مثل (ATP)، والتي ينتجها الجسم عن طريق أكسدة جزيئات الطعام بالأكسجين. إذا توقفت عن التنفس، بالخنق مثلًا، فإنّ خلايا جسمك لا تستطيع إنتاج هذه الجزيئات عالية الطّاقة بحرمانها من الأكسجين. وتكون النتيجة الموت المفاجئ. ولكن بدلا من الموت، لماذا لا يطفئ الجسم بالكامل حتى يتوافر الأكسجين ثانية؟ يحدث التلف المميت؛ لأنّ بعض الخلايا تستمر في القيام بأنشطتها حتى مع توافر مستوى قليل من الأكسجين. وتستمر أجزاء منها بالعمل وأجزاء أخرى معطلة، ونتيجة هذا الاختلال في التوازن، تموت الخلية. يكمن السّرّ في تأكّدنا من أنّ الخلايا جميعها معطلة تمامًا. وهذا يفسر عودة الحياة أحيانًا للذين يغرقون في المياه المتجمدة حتى بعد مرور ساعة دون تنفس؛ تتعطل خلاياهم جميعها بانتظام بسبب البرد الشديد.

$$\text{أكسدة}\quad 2\,AlOF_3^{2-} + 6\,F^- + C \longrightarrow 2\,AlF_6^{3-} + CO_2 + 4\,e^-$$



$$\text{اختزال}\quad AlF_6^{3-} + 3\,e^- \longrightarrow Al + 6\,F^-$$

الشّكل 31.18

إنّ درجة انصهار أكسيد الألومنيوم عالية جدًّا (2030°س)، لتحليلها بكفاءة إلى فلز الألومنيوم. عند مزج هذا الأكسيد بفلز الكريولايت، تنخفض درجة الانصهار إلى درجة معقولة 980°س. وبتمرير تيار كهربائيّ قويّ خلال مصهور أكسيد الألومنيوم – خليط الكريولايت، ينتج فلز الألومنيوم عند المهبط، حيث تمسك أيونات الألومنيوم إلكترونات، وبهذا تختزل إلى فلز الألومنيوم.

■ **نقطة فحص**

هل يعدّ التّفاعل الإكسوثيرمي (الطارد للحرارة) في خلية وقود الهيدروجين – الأكسجين مثالًا على الكهرلة!

هل كانت هذه إجابتك؟

لا: خلال الكهرلة، تستعمل الطّاقة الكهربائيّة لإنتاج تغيّر كيميائيّ. أمّا في خلية الوقود أكسجين – هيدروجين – فإنّ التّغيّر الكيميائيّ يستخدم لإنتاج الطّاقة الكهربائيّة.

■ 8.18 الحتّ والاحتراق

إذا نظرت إلى يمين الجانب العلوي من الجدول الدوري فستجد أكثر عوامل الأكسدة المألوفة: إنّه الأكسجين. في الحقيقة، وإنْ لم تكن قد لاحظت هذا حتى الآن، فإنّ مصطلح *الأكسدة* مشتق من اسم هذا العنصر. يستطيع الأكسجين انتزاع إلكترونات الكثير من العناصر، وبخاصة تلك التي في أسفل الجدول الدوري من اليسار. وهناك تفاعلان مألوفان من تفاعلات التّأكسد – الاختزال يتعلقان بالأكسجين بوصفه عاملا مؤكسدًا هما *الحت والاحتراق*.

■ **نقطة فحص**

الأكسجين عامل تأكسد جيد، كما هو الكلور. ماذا يشير هذا بالنسبة إلى مواقعهما في الجدول الدوري؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يجب أن يكون كلّ من الكلور والأكسجين في المنطقة نفسها من الجدول الدوري. كما أنّ كليهما له شحنات نووية قوية وفاعلة، إضافة إلى أنّ كلًّا منهما عامل تأكسد قويّ.

الحتّ هو العملية التي يتلف الفلز بها. إنّ التّلف الذي يسببه أكسجين الغلاف الجوي هو مشكلة عامة ومكلفة. مثلًا، نحو ربع - الفولاذ المنتج في الولايات المتحدة يستعمل لاستبدال الحديد التالف، مكلفًا بلايين الدولارات سنويًّا. يتلف الحديد عند تفاعله مع أكسجين الغلاف الجوي والماء، مشكّلًا أكسيد الحديد الثلاثي الماء، وهو مادة بنية تميل إلى الاحمرار موجودة طبيعيًّا، وتعرف بالصدأ، وهي مبينة في الشّكل 32.18:

$$4\,Fe + 3\,O_2 + 3\,H_2O \longrightarrow 2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$$

صدأ ماء أكسجين حديد

وهناك عنصر آخر مألوف يتأكسد بالأكسجين هو الألومنيوم، والناتج عن أكسدة الألومنيوم هو أكسيد الألومنيوم، Al_2O_3، الذي لا يذوب في الماء. وبسبب عدم ذوبانه في الماء، فإنه يشكّل غطاء واقيًا يحمي الفلز من مزيد من التّأكسد. إنّ هذا الغطاء شفاف. لذا، يحتفظ فلز الألومنيوم بلونه اللامع.

إنّ الغطاء الواقي، المؤكسد والعديم الذوبان في الماء هو الأساس في العملية المعروفة *بالجلفنة*. للزّنك ميول أكثر قليلًا من الحديد للأكسدة. ولهذا فالعديد من المواد الحديدية، كالمسامير المشاهدة في الشّكل 33.18، تجلفن بطبقة من الزنك. يتأكسد الزنك إلى أكسيد الزنك، وهو مادة خاملة وعديمة الذوبان بحيث تحمي الحديد تحتها من الصدأ.

الشّكل 32.18

لا يؤدي الصّدأ نفسه إلى تلف تراكيب الحديد الذي يتشكّل فوقه. يدمر فقدان الحديد الفلزي سلامة التراكيب لهذه الأجسام.

لمعلوماتك

■ اكتشف الباحثون أنّ استنشاق الفئران وحيوانات أخرى لغاز كبريتيد الهيدروجين، H_2S، بتراكيز معينة، يدخلها في مرحلة تتعطل فيها عملياتهم الحيوية، حيث تتذبذب درجة الحرارة عدة درجات فوق درجة حرارة محيطهم. والنتيجة هي دخول الحيوان مرحلة الدم البارد. وهذا ما يحدث للدببة والسّناجب عند السُّبات (البيات الشتوي). الظاهر هو أنّ كبريتيد الهيدروجين يحاكي جزيء الأكسجين، O_2. تمتص الخلايا H_2S، وتحاول استخدامه كما لو أنه أكسجين، ولكن دون قوة الأكسجين المؤكسدة: ببساطة تُغلق آليات الخلايا. إنّ إغلاق الخلايا بانتظام هو المفتاح لإعادة العمليات الحيوية للكائن الحي. كما تم نقاشه في (أضف إلى معلوماتك صفحة 460). إذا تم تطبيق هذا على الإنسان، فإنّ توقف عملياته الحيوية يحتمل عدة إمكانيات، بما فيها الحماية ضد تحطم الخلايا الميت بسبب السّكتات الدماغية، والنوبات القلبية، وغيرهما من الجروح الحرجة، والتي يتضرر بسببها جريان الدم أو تزويده. كما أنّ هذه التكنولوجيا يمكنها مساعدة المتبرعين بالأعضاء أحياء مدة طويلة قبل عملية الزرع.

الشّكل 33.18

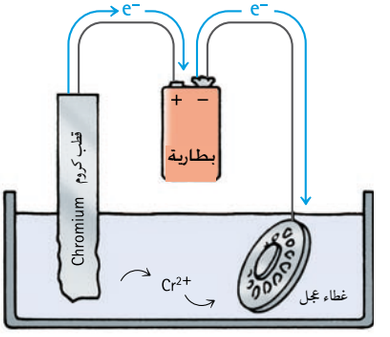
إنّ جلفنة المسمار (طلاؤه بالزنك) (أسفل) يحميه من الصّدأ، مع التضحية بأكسدة الزنك.

الشّكل 34.18
تساعد شرائح الزنك على حماية هيكل الحديد لناقلة النفط من الأكسدة. ترتبط شرائح الزنك المبينة هنا بهيكل السطح الداخلي.

الفلزات المستخدمة لحماية المهابط "تضحي" بنفسها للمصاعد (بفقدان الإلكترونات) وذلك للإبقاء على الفلزات المطلوبة، مثل أنابيب النحاس، دون أكسدة. تسمى هذه الفلزات المضحى بها أحيانًا المصاعدَ القربانية.

في آلية تسمّى *الحماية المهبطية*، يمكن حماية تراكيب الحديد من الأكسدة بوضعها على اتصال مع فلزات معينة، مثل الزنك أو الماغنسيوم، والتي لها ميل أكبر للتأكسد. وهذا يجبر الحديد على قبول الإلكترونات؛ أي أنه يسلك سلوك المهبط. (يحدث الصّدأ حينما يسلك الحديد سلوك المصعد فقط). مثلا، الناقلات عبر المحيط، محمية من الحتّ بواسطة أشرطة من الزنك مثبتة بهيكلها كما هو مبين في الشّكل 34.18. وبالمثل، تحمى أنابيب الفولاذ في الخارج بوصلها بقضبان من الماغنسيوم موضوعة تحت الأرض.

إضافة إلى ذلك، هناك طريقة أخرى لحماية الحديد وغيره من الفلزات من التّأكسد وهي طلاؤها بفلز مقاوم للحتّ، مثل الكروم، أو البلاتين، أو الذهب. الطلاء هو عملية تغليف أحد الفلزات بآخر بواسطة الكهرلة، وهذه العملية موضحة في الشّكل 35.18؛ يوصل الجسم المراد طلاؤه إلى الطرف السالب لبطارية، ثم يُغمس في محلول يحتوي على أيونات الفلز المراد استخدامه كطلاء. ويوصل الطرف الموجب للبطارية بقطب مصنوع من فلز الطلاء. تُغلق الدارة عند غمس القطب في المحلول، فتنجذب أيونات الفلز المذابة إلى الجسم السالب الشحنة، حيث تلتقط الإلكترونات وتترسب ذرّات الفلز. ومن ثمَّ تزود الأيونات في المحلول بالتّأكسد الإجباري لفلز التغليف عند القطب الموجب.



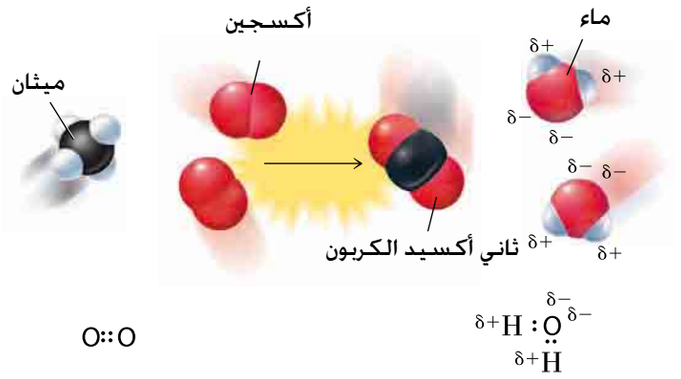
الشّكل 35.18
عند مرور الإلكترونات في غطاء الإطار وإعطائه شحنة سالبة، تتحرك شحنات الكروم الموجبة من المحلول إلى غطاء الإطار، وتختزل إلى فلز الكروم الذي يترسب كطلاء على الغطاء. يزود المحلول بالأيونات عندما تتأكسد ذرّات الكروم إلى أيونات Cr^{2+} عند المهبط.

الاحتراق هو تفاعل تأكسد - اختزال بين مواد غير فلزية والأكسجين الجزيئي. تتميز تفاعلات الاحتراق بأنها إكسوثيرمية (محررة للطاقة). يتشكّل الماء من تفاعل احتراق عنيف بين الهيدروجين والأكسجين. وكما ناقشنا في الجزء 5.17، تستخدم الطّاقة الناتجة عن هذا التّفاعل لتزويد الصواريخ في الفضاء بالطّاقة. وهناك أمثلة مألوفة أخرى على تفاعلات الاحتراق كحرق الخشب، وكذلك حرق الوقود الأحفوري. إنّ حرق هذه المواد وغيرها من المواد الكيميائيّة ذات الأساس الكربوني ينتج ثاني أكسيد الكربون والماء. خذ على سبيل المثال حرق الميثان، وهو المكون الأساسي للغاز الطبيعي:

$$CH_4 + 2\,O_2 \longrightarrow CO_2 + 2\,H_2O + \text{طاقة}$$

ميثان أكسجين ثاني أكسيد الكربون ماء

في الاحتراق، تنتقل الإلكترونات لتشكيل روابط قطبية بدلًا من الروابط التساهمية غير القطبية أو بالعكس. (هذا بالمقابلة مع الأمثلة الأخرى التي ذكرت عن تفاعلات التّأكسد – الاختزال التي أدرجت في هذا الفصل، والتي تتضمن تشكيل أيونات من الذرّات، أو بالعكس؛ أي تكوين ذرّات من الأيونات).



الشّكل 36.18
(أ) لا تجذب أيّ ذرة من جزيء الأكسجين إلكترونات الرابطة أكثر من الأخرى. (ب) تسحب ذرة الأكسجين من جزيء الماء الإلكترونات بعيدًا عن ذرة الهيدروجين في جزيء الماء، جاعلةً ذرة الأكسجين سالبةً أكثر وذرتي الهيدروجين موجبةً أكثر.

$$\delta+H:\ddot{O}:H\delta+$$

(ب) تسحب ذرات الأكسجين الناتجة الإلكترونات بعيدًا من نواة H في الجزيئات H_2O و تختزل.

$$O::O$$

(أ) تتشارك ذرات الأكسجين المتفاعلة الإلكترونات بالتساوي في الجزيئات O_2.

يوضح الشّكل 36.18 هذا المفهوم. والذي يقارن بين التركيب الإلكتروني لمواد الاحتراق الابتدائية والأكسجين الجزيئي من جهة ونواتج الاحتراق والماء من جهة أخرى. إنّ الأكسجين الجزيئي مركب تساهميّ غير قطبي، على الرّغم من أنّ لكلّ ذرة أكسجين في الجزيء شحنة كهروسالبية، ولكن روابط الإلكترونات الأربعة تكون مسحوبة بالقدر نفسه من قبل الذرتين. ولهذا لا تتجمع الإلكترونات على جانب على حساب الجانب الآخر. ولكن بعد الاحتراق، تتشارك ذرّات الهيدروجين والأكسجين بالإلكترونات في جزيء الماء، إلا أنّها تسحب في اتجاه الأكسجين. وهذا يعطي الأكسجين شحنة سالبة إضافية قليلة. وهذه طريقة أخرى للقول إنّ ذرة الأكسجين ربحت إلكترونات، وإنها اختُزلت. وفي الوقت نفسه، فإن ذرّات الهيدروجين في جزيء الماء تطور شحنة موجبة قليلة. وهذه طريقة أخرى للقول إنها فقدت إلكترونات، وتعرضت للأكسدة. إنّ اكتساب الأكسجين للإلكترونات وخسران الهيدروجين لها هي عملية تتحرر فيها الطّاقة. إنّ الطّاقة تتحرر عادة على شكل طاقة حركية جزيئية (حرارة) أو على شكل ضوء (لهب).

من المدهش، أنّ تفاعلات التّأكسد - الاختزال تحدث خلال جسمك. يمكنك تصوّر نموذج مبسّط لعمليات الأيض بمراجعة الشّكل 36.18، والتعويض عن الميثان بجزيء الطعام. تتخلى جزيئات الطعام عن إلكتروناتها لجزيئات الأكسجين التي تستنشقها. وتكون نواتج غاز ثاني أكسيد الكربون والماء والطّاقة. يخرج الإنسان في عملية الزفير ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء. والكثير من الطّاقة يستخدم للمحافظة على درجة حرارة الجسم (تدفئة الجسم، وكذلك لتفعيل الكثير من التّفاعلات الكيموحيوية الضرورية للحياة).

لمعلوماتك

■ هناك نوعان من الثقاب: الأول الذي يُضرب في أيّ مكان، وعادة ما يكون له "عين الثوْر"، والآخر هو "ثقاب الأمانْ" والذي يتطلب ضرب الثقاب بأحد جانبي العلبة. كلاهما يتضمن حرق الكبريت من رأس عود الثقاب. ولكن محاولة حرق الكبريت باستخدام أكسجين الهواء فقط هي عملية صعبة. ولهذا، يُخلط الكبريت بعامل مؤكسد مثل كلورات البوتاسيوم، $KClO_3$. للنوع الأول، نحتاج إلى مادة إضافية ثالثة هي الفوسفور الأحمر، P_4. تعمل حرارة الاحتكاك على تحويل الفوسفور الأحمر إلى فوسفور أبيض، وهو شكل آخر من الفوسفور، يحترق بسرعة في الهواء. هذا يبدئ تفاعل التّأكسد – الاختزال بين الكبريت وكلورات البوتاسيوم، والتي بدورها تبدأ الشرر لحرق عود الثقاب. يعمل ثقاب الأمان بالطريقة نفسها، ما عدا أنّ الفوسفور الأحمر يُضمن داخل ضارب القشرة، وهو المكان الذي ينار منه الثقاب.

ملخّص المصطلحات

الحَمْض Acid: مادة تعطي أيونات الهيدروجين.
القاعدة Base: مادة تأخذ أيونات الهيدروجين.
أيون الهيدرونيوم Hydronium ion: جزيء الماء بعد اكتسابه أيون هيدروجين.
أيون الهيدروكسيل Hydroxide ion: جزيء الماء بعد فقدانه أيون هيدروجين.
الملح Salt: مركب أيونيّ يتشكّل من تفاعل الحَمْض والقاعدة.
التّعادل Neutralization: تفاعل يتم باتحاد الحَمْض والقاعدة لتكوين الملح.
الأمفوترية Amphoteric: وصف للمادة التي يمكن أن تسلك سلوك الحمض أو سلوك القاعدة.
المحلول الحَمْضيّ Acidic solution: محلول يكون فيه تركيز أيونات الهيدرونيوم أكثر من تركيز أيونات الهيدروكسيل.

المحلول القاعديّ Basic solution: محلول يكون فيه تركيز أيون الهيدروكسيل أكثر من تركيز أيون الهيدرونيوم.
المحلول المتعادل Neutral solution: محلول يكون فيه تركيز أيونات الهيدرونيوم مساويًا لتركيز أيونات الهيدروكسيل.
pH: مقياس لدرجة حموضة المحلول يساوي سالب لوغاريتم للأساس 10 لتركيز أيون الهيدرونيوم.
التّأكسد Oxidation: عملية يفقد فيها المتفاعل واحدًا أو أكثر من إلكتروناته.
الاختزال Reduction: عملية يكتسب فيها المتفاعل واحدًا أو أكثر من إلكتروناته.
نصف تفاعل Half reaction: جزء واحد من تفاعل التّأكسد – الاختزال، يُمثَّل بمعادلة حيث تظهر الإلكترونات كمتفاعلات أو كنواتج.

الكيمياء الكهربائيّة Electrochemistry: فرع من الكيمياء يهتم بالعلاقة بين الطّاقة الكهربائيّة والتّغيّر الكيميائيّ.
القطب Electrode: أي مادة توصل الإلكترونات من وسط حدوث التّفاعل الكهروكيميائيّ أو إليه.
الكاثود Cathode: القطب الذي يحدث عليه الاختزال.
الأنود Anode: القطب الذي يحدث عليه التّأكسد.
الكهرلة Electrolysis: استخدام الطّاقة الكهربائيّة لإحداث تغيرٍ كيميائيّ.
الحتّ Corrosion: انحلال الفلز في العادة بفعل أكسجين الغلاف الجويّ.
الاحتراق Combustion: تفاعل تأكسد – اختزال منتج للحرارة بين مادة غير فلزية والأكسجين الجزيئيّ.

أسئلة مراجعة

1.18 الأحماض تعطي البروتونات، والقواعد تأخذها

1. ما تعريفات برونستد- لوري *للحَمْض والقاعدة*؟
2. ما الأيون الذي يكونه الماء عندما يذوب الحَمْض في الماء؟
3. عندما تفقد المادة الكيميائيّة أيون هيدروجين، هل تسلك سلوك الحمض أم القاعدة؟

2.18 الشّدّة النّسبيّة للأحماض والقواعد

4. ماذا يعني أنّ الحَمْض قويّ في محلول مائيّ؟
5. لماذا يوصل محلول الحَمْض القوي الكهرباء أفضل من محلول الحَمْض الضعيف للتركيز نفسه؟
6. متى يكون محلول قاعدة ضعيف أكثر حتًّا من محلول قاعدة قويّ؟

3.18 المحاليل الحَمْضيّة، والقاعديّة، والمتعادلة

7. هل الماء حَمْض قوي أم ضعيف؟
8. ما الصحيح حول التراكيز النّسبيّة لأيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيل في المحلول الحَمْضيّ؟ ماذا عن المحلولين: المتعادل والقاعديّ؟
9. إلام يشير pH للمحلول؟
10. هل تزداد pH للمحلول أم تنقص عندما يزداد تركيز أيون الهيدرونيوم في المحلول؟

4.18 المطر الحَمْضيّ والمحيطات القاعديّة

11. ما الناتج عن التّفاعل بين ثاني أكسيد الكربون والماء؟
12. ما علاقة ثاني أكسيد الكبريت بالمطر الحَمْضيّ؟
13. كيف ينتج البشر ثاني أكسيد الكبريت الملوث للهواء؟
14. لماذا لا ترتفع مستويات ثاني أكسيد الكربون بالسرعة المتوقعة بناءً على إنتاج ثاني أكسيد الكربون نتيجة الأنشطة البشرية؟

5.18 فقدان الإلكترونات واكتسابها

15. أيّ العناصر لها ميل أعظم لتسلك سلوك عوامل مؤكسدة؟
16. اكتب معادلة نصف التّفاعل حيث تتأكسد فيه ذرة البوتاسيوم، K.
17. ما الفرق بين العاملين المؤكسد والمختزل؟
18. أيّ العناصر لها ميل أعظم للسلوك كعوامل اختزال؟

6.18 حصاد طاقة الإلكترونات المتحركة

19. ما الكهرلة؟
20. ما الهدف من جسر الملح في الخلية الفولتية؟
21. ما نوع التّفاعل الذي يحدث على المهبط؟
22. ما نوع التّفاعل الذي يحدث على المصعد؟
23. ما الفرق الجوهري بين البطارية وخلية الوقود؟

7.18 الكهرلة

24. ما الكهرلة؟ وكيف تختلف عمَّا يحدث داخل البطارية؟
25. أعط مثالًا على فلز ينتج أساسًا بالكهرلة.

8.18 الحتّ والاحتراق

26. ما الشيء المشترك بين أكسدة كلّ من الزنك والألومنيوم؟
27. ما الفلز الذي يغلّف المسمار المجلفن؟
28. اذكر بعض الفروق بين الحتّ والاحتراق؟
29. ما الذي يجبر الحديد على أخذه خلال الحماية المهبطية؟
30. ماذا يحدث لقطبية ذرّات الأكسجين عندما يتحول من الأكسجين الجزيئي، O_2، إلى جزيئات ماء، H_2O؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ■ يتفاعل الحَمْض مع القاعدة لتكوين ملح يتكون من أيونات موجبة وأخرى سالبة. أيهما يكون الأيونات الموجبة: الحَمْض أم القاعدة، وأيهما يكون الأيونات السالبة؟

2. ● يتكون الماء من تفاعل بين الحَمْض والقاعدة. لِمَ لا يصنّف الماء على أنه ملح؟

3. ■ حدّد سلوك الحَمْض من القاعدة لكلّ مادة في التّفاعلين الآتيين:

أ- $\underline{HCl} + \underline{H_2O} \rightleftharpoons \underline{Cl^-} + \underline{H_3O^+}$

ب- $\underline{HPO_4^{2-}} + \underline{H_3O^+} \rightleftharpoons \underline{H_2O} + \underline{H_2PO_4^-}$

4. ● ماذا يحدث لخصائص الحتّ لكلّ من الحَمْض والقاعدة بعد أن يعادل كلّ منهما الآخر؟ لماذا؟

5. ● لماذا لا نستخدم مقياس pH للإشارة إلى حَمْضية المحلول بدلا من ذكر تركيز أيون الهيدرونيوم ؟

6. ♦ يكون التّفاعل الأمفوتري بين جزيئات الماء إندوثيرميًّا (ماصًّا للحرارة). وهذا يعني أنّ التّفاعل يتطلب طاقة حرارية ليبدأ:

$$\text{طاقة} + H_2O + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + OH^-$$

وكلما كان الماء ساخنًا توافرت الطّاقة لهذا التّفاعل، وكلما كثر تكونت أيونات كلّ من الهيدرونيوم والهيدروكسيل.

أ-أيهما له pH أعلى: الماء النّقيّ السّاخن أم الماء النّقيّ البارد؟

ب-هل من المحتمل أن يكون الماء متعادلًا ولكن الـ pH له أكبر أو أقلّ من 7.0؟

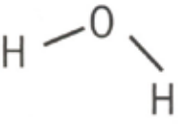
7. ♦ ما تركيز أيونات الهيدرونيوم في المحلول الذي pH لـه (-3)؟ لماذا يستحيل تحضير مثل هذا المحلول؟

8. ■ ماذا يحصل لِـ pH محلول حَمْضي عند إضافة الماء النّقيّ إليه؟

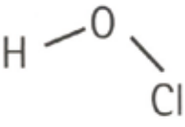
9. ■ هل يمكن التخفيف من حَمْضية محلول بإضافة محلول حَمْضي إليه؟

10. ● العديد من الجزيئات التي تُكسب السمك المطهي رائحة هي مركبات قاعدية. كيف يمكن بسهولة تحويل هذه الجزيئات ذات الرائحة إلى أملاح قليلة الرائحة قبيل تناوله؟

11. ♦ يعتمد مدى استعداد الحَمْض على التبرع بأيون الهيدروجين على مقدرة الحَمْض للتلاؤم مع الشحنة السالبة التي تكتسبها بعد تبرعها. أيهما يكون الحَمْض الأقوى: الماء أم حَمْض فوق الكلوريد؟ لماذا؟



ماء



حَمْض فوق هيدروكلوريك

12. ■ إذا صببت خلًّا على رمل شاطئ الكاريبي، فسينتج كثير من الرغوة والفقاقيع. أمّا إذا صببته على رمل شاطئ كاليفورنيا، فلا يحدث شيء. لماذا؟

13. ♦ لماذا تكون رابطة H—F أقوى كثيرًا من رابطة H—I ؟ (مساعدة: خذ في الحسبان الحجم الذري.)

14. ■ أيّ الرابطتين أسهل للتحطيم: H—F أم H—I ؟

15. ♦ أيّ الحَمْضين الأقوى: H—F أم H—I؟

16. ♦ المكوّن الرّئيس لمادة المبيض هو فوق كلورات الصوديوم، NaOCl، والتي تتكون من أيونات الصوديوم، Na^+، وأيونات فوق الكلورات OCl^-. ما النواتج التي تتكوّن عند تفاعل هذا المركب مع حَمْض الهيدروكلوريك، HCl؛ منظف الحمامات؟

17. ■ ماذا يحدث للـ pH لماء الصودا عندما يفقد الكربنة؟

18. ● كيف يمكنك أن تعرف ما إذا كان معجون الأسنان الذي تستعمله يحتوي على كربونات الكالسيوم، $CaCO_3$، أو ربما صودا الخبز (بيكربونات الصودا) $NaHCO_3$، دون النظر إلى بطاقة المكونات؟

19. ● لماذا تميل البحيرات التي تقع في الأحواض الجرانيتية إلى الحَمْض عندما يحدث المطر الحَمْضيّ أكثر من تلك التي تكون أحواضًا كلسية؟

20. ● كيف تسرّع المحيطات الساخنة عملية الاحتباس الحراري؟

21. ● ماذا يحدث لِـ pH عندما تنفخ فيه وتحدث الفقاقيع من خلال ماصة الشرب؟

22. ♦ ماذا يحدث لِـ pH لمحلول 1M من حَمْض الكلوريك، HCl، عندما ينفخ فيه غاز ثاني أكسيد الكربون؟

23. ● أيّ العناصر تتأكسد وأيها تختزل في المعادلة التالية؟

$$I_2 + 2\,Br^- \longrightarrow 2\,I^- + Br_2$$

24. ● أيّ العناصر يسلك سلوك عامل مؤكسد، وأيّ الفلزات يسلك سلوك عامل مختزل في التّفاعل التالي؟

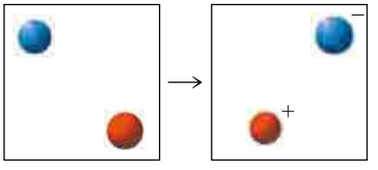
$$Sn^{2+} + 2\,Ag \longrightarrow Sn + 2\,Ag^+$$

25. ● يحترق كبريتيد الهيدروجين، H_2S، بوجود الأكسجين، O_2، لإنتاج الماء وثاني أكسيد الكبريت، SO_2. هل يتأكسد الكبريت من خلال هذا التّفاعل أم يختزل؟

$$2\,H_2S + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,H_2O + 2\,SO_2$$

26. ● تتفاعل الأحماض الدهنية غير المشبعة، مثل $C_{12}H_{22}O_2$، مع غاز الهيدروجين، لتكوين الأحماض الدهنية المشبعة مثل $C_{12}H_{24}O_2$. هل تتأكسد الأحماض الدهنية غير المشبعة في هذه العملية أم تختزل؟

27. ■ أي الذّرّات تأكسدت: الحمراء أم الزرقاء؟



28. ■ في التمرين السابق، أيّ الذّرّات تسلك سلوك عامل مؤكسد: الحمراء أم الزرقاء؟

29. ● ما الارتباط الذي تتوقعه بين الكهروسالبية للعنصر (الجزء 6.15) وقدرته على سلوك كعامل مؤكسد؟ ماذا عن قدرته على السلوك كعامل مختزل؟

30. ■ تكون ذرّات الحديد، Fe، عوامل مختزلة أفضل من أيونات النحاس، Cu^{2+}. في أيّ اتجاه تنساب الإلكترونات عندما يُغمر مسمار حديد في محلول أيونات النحاس Cu^{2+}؟

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

31. ♦ من المصادر الرئيسة لغاز الكلور، Cl_2، هو من التحليل الكهربائيّ للمياه الشديدة الملوحة، $NaCl(aq)$. ما المنتجات الثنائية الأخرى التي نحصل عليها نتيجة هذا التحليل الكهربائي؟ اكتب المعادلة الكيميائيّة الموزونة.

32. ■ البنسات الأمريكية المصنوعة بعد عام 1982م مصنوعة من فلز الخارصين، Zn، ومغطاة بفلز النحاس، Cu. تسهل أكسدة الخارصين أكثر من النحاس. إذن، لماذا لا تتآكل هذه البنسات بسرعة؟

33. ■ المعادلة الكيميائيّة العامة للتمثيل الضوئيّ مبينة أدناه. من خلال هذا التّفاعل، هل يتأكسد الكربون أم يختزل؟

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

34. ● المعادلة الكيميائيّة لحرق البروبان، C_3H_8، مبينة أدناه. من خلال هذه المعادلة، هل يتأكسد الكربون أم يختزل؟

$$C_3H_8 + 5\,O_2 \longrightarrow 3\,CO_2 + 4\,H_2O$$

35. ♦ يجب وزن المعادلات الكيميائيّة، ليس من حيث عدد الذّرّات فقط، ولكن أيضًا من ناحية الشحنة. أي أنّ عدد الذّرّات ليس هو الذي يجب أن يتساوى قبل السهم وبعده في المعادلة فقط. ولكن أيضًا الشحنة. خذ ذلك في الحسبان حين تزن المعادلة الكيميائيّة التالية:

$$Sn^{2+} + Ag \longrightarrow Sn + Ag^{+}$$

36. ■ أجرِ التمرين 35 قبل محاولة وزن كلّ من الذّرّات والشحنات للمعادلة التالية:

$$Fe^{3+} + I^{-} \longrightarrow Fe^{2+} + I_2$$

37. ● يحتاج جسم الإنسان إلى الحديد من نوع أيون Fe^{2+} لصحة جيدة. تحتوي الحبوب المقوّية بالحديد، عادة، على مقدار ضئيل من فلز الحديد، Fe. ما الذي يجب على الجسم فعله للاستفادة من فلز الحديد هذا: أكسدة أم اختزال؟

38. ■ لماذا تكون تفاعلات الاحتراق منتجة للحرارة عادة؟

39. ■ 88.88% من كتلة الماء أكسجين. تحتاج النار إلى الأكسجين لتشتد وتقوى. إذن، لماذا لا تشتد النار وتقوى عند إضافة الماء إليها؟

40. ■ لذرّات الحديد ميل أكبر من ذرّات النحاس إلى الأكسدة. هل هذا جيد أم سيىء للمنزل الذي فيه كثير من المواسير المصنوعة من أنابيب الحديد والنحاس التي يرتبط بعضها مع بعض؟ فسِّر ذلك.

41. ■ لذرّات النحاس ميل أكبر من ذرّات الحديد إلى الاختزال. هل هذا جيد أم سيىء لتمثال الحرية الذي نحاسه الخارجي مدعوم بأذرع من الفولاذ؟

42. ■ عندما يلمع البرق، تتفاعل جزيئات كلّ من النيتروجين، N_2، والأكسجين، O_2، في الهواء لتشكيل النترات NO_3^-، والتي تنزل مع المطر لتخصّب التربة. هل هذا مثال على الأكسدة أم الاختزال؟

43. ● لماذا يكون الهواء فوق اللهب المفتوح رطبًا دائمًا؟

44. ■ كيف يمكن استخدام الكهرلة لرفع هيكل سفينة غارقة؟

45. ■ يُؤَيّض الطعام عند هضمه بالتتابع. هل يتأكسد الطعام تدريجيًا أم يختزل؟ ما أدلتك على ذلك؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● أثبت أنّ تركيز أيون الهيدروكسيل في محلول مائيّ 1×10^{-4} M عندما يكون تركيز أيون الهيدرونيوم هو 1×10^{-10} M.

2. ● إذا كان تركيز أيون الهيدرونيوم لمحلول هو 1×10^{-10} M. فما pH لهذا المحلول؟ هل المحلول حَمْضيّ أم قاعديّ؟

3. ● إذا كان تركيز أيون الهيدرونيوم لمحلول هو 1×10^{-4} M. فما pH لهذا المحلول؟ هل هذا المحلول حَمْضيّ أم قاعديّ؟

4. ● بيّن أنّ تركيز أيون الهيدروكسيد هو 1×10^{-9} M لمحلول مائي الـ pH له تساوي 5.

5. ■ عندما يكون الـ pH لمحلول هو 1، يكون تركيز أيونات الهيدرونيوم $1.0\ M = 10^{-1} M$. افترض أنّ حجم هذا المحلول 500 ملليمتر. فما الـ pH بعد إضافة 500 ملليتر من الماء النقيّ؟ تحتاج إلى آلة حاسبة وتستطيع حساب اللوغاريتم للإجابة عن هذا السؤال.

6. ■ بيّن أنّ الـ pH لمحلول هو (-0.301) عندما يساوي تركيز أيون الهيدرونيوم 2.0 M. هل المحلول حَمْضيّ أم قاعديّ؟

أنشطة استكشافية

الملفوف الملوّن

يوجد العديد من الدلائل على الـ pH في النباتات. صبغات الملفوف الأحمر تعدّ مثالًا جيدًا على هذا. تكون هذه الصبغات حمراء عند قيم pH منخفضة (1 – 5)، وبنفسجية فاتحة حول قيم pH (6 – 7)، وخضراء فاتحة، قاعدية معتدلة، عند قيم pH (8 – 11)، وخضراء داكنة قاعديّة مركزة، عند قيم الـ pH (12 – 14).

احتياطات السلامة العامة: استعمل نظارة واقية، ولا تستخدم منتجات الكلور.

الأدوات المواد المطلوبة

1. رأس من الملفوف الأحمر، وعاء صغير، ماء، أربع كؤوس بلاستيكية غير ملونة، منظف حمامات، خلّ، صودا الخبز، مطهر أمونيا.

طريقة العمل

1. اغلِ كأسًا من الملفوف المقطع في كأسين من الماء (5 دقائق). اعصر الحساء واجمعه.
2. اسكب ربعَ الحساء في كلّ كأس واتركها لتبرد.
3. أضف كمية قليلة من منظف الحمامات إلى الكأس الأولى، وكمية قليلة أخرى من الخلّ إلى الكأس الثانية، وصودا الخبز إلى الكأس الثالثة، ومحلول الأمونيا إلى الكأس الرابعة.
4. استخدم الألوان المختلفة لتقدير قيم pH.
5. امزج بعض المحاليل الحَمْضيّة والقاعديّة معًا، ولاحظ التّغيّر السريع في pH (كما يستدلّ من تغير اللون).

لا يحدث التّغيّر في مؤشر pH دائمًا. لإثبات ذلك: أضف مقدار ملعقة شاي من صودا الخبز (بيكربونات الصوديوم) إلى الكأس الذي أضفت إليها الخلّ. (لماذا ينتج إضافة صودا الخبز فقاقيع؟) أضف الخلّ مرة أخرى لإعادة اللون الأحمر.

تبطين الفضة

إنّ فقدان لمعان الأواني الفضية هو بسبب غلاف كبريتيد الفضة، Ag_2S، وهو مركب أيونيّ يتكون من أيونين من الفضة Ag_+، وأيونٍ واحدٍ من الكبريت، S^{2-}. يبدأ انطفاء اللمعان على الأواني الفضية عندما تتحد ذرّات الفضة في هذه الأواني مع كبريتيد الهيدروجين، H_2S، الموجود في الجوّ، وهو غاز ذو رائحة كريهة ينتج عن هضم الأغذية في الحيوانات الثّدييّة وغيرها من الكائنات الحية. نصف التّفاعل للفضة وكبريتيد الهيدروجين كالآتي:

تأكسد $4\,Ag + 2\,H_2S \longrightarrow 4\,Ag^+ + 4\,H^+ + 2\,S^{2-} + 4e^-$

تتحد أيونات الفضة مع أيونات الكبريت لتشكيل كبريتيد الفضة المائل للسواد. وفي الوقت نفسه، تتحد أيونات الهيدروجين مع الأكسجين في الجو لتكوين الماء:

اختزال $4\,H^+ + 4e^- + O_2 \longrightarrow 2\,H_2O$

تعطى المعادلة الكيميائيّة لفقدان لمعان الفضة، لمجموع معادلتي النصف كما يلي:

$$4\,Ag + 2\,H_2S + O_2 \longrightarrow 2\,Ag_2S + 2\,H_2O$$

يتبين من هذه المعادلات أنّ كبريتيد الهيدروجين يسبب فقدان الفضة لإلكتروناتها للأكسجين. ولإرجاع الفضة إلى حالتها الفلزية اللامعة؛ يجب إرجاع الإلكترونات التي فقدتها له. ولكن الأكسجين لا يتخلى عن الإلكترونات للفضة، أمّا ذرّات الألومنيوم فتستطيع فعل ذلك بالارتباط المناسب.

الأدوات والمواد المطلوبة

وعاء ألومنيوم نظيف جدًّا (أو وعاء من غير الألومنيوم أو رقائق الألومنيوم)، ماء، بيكربونات الصوديوم، قطعة فضة فاقدة اللمعان.

طريقة العمل

1. ضع نحو لتر من الماء، وعدة ملاعق من بيكربونات الصوديوم في وعاء ألومنيوم (أو في الوعاء من غير الألومنيوم والذي يحتوي على رقائق الألومنيوم).
2. سخّن الماء حتى يغلي، ثم أبعد الوعاء عن مصدر الحرارة.
3. اغمر قطعة الفضة الفاقدة اللمعان ببطء، سترى آثارًا مباشرة عند اتصال قطعة الفضة بالألومنيوم. (أضف بيكربونات صوديوم إنْ لم ترَ الأثر مباشرةً). أيضًا، بمجرد قبول أيونات الفضة للإلكترونات من الألومنيوم، ومن ثم تختزل إلى ذرّات الفضة اللامعة، فإنّ أيونات الكبريت تصبح حرة لتشكيل غاز كبريتيد الهيدروجين، والتي ترجع ثانية إلى الهواء؛ يمكنك شمّ رائحته!

يكون دور بيكربونات الصوديوم كمحلول أيونيّ موصلًا يسمح للإلكترونات بالحركة من ذرّات الألومنيوم إلى ذرّات الفضة. ما ميزة هذه الطريقة مقارنة بطريقة صقل الفضة بمعجون أكّال؟

يزيل الصقل بمعجون أكّال كُلًّا من الطبقة غير اللامعة وبعض ذرّات الفضة. وعليه، فإنّ الأواني المطلية بالفضة التي تصقل بهذه الطريقة يمكن أن تفقد طلاءها الفضي. وبالعكس، فإنّ إعادة الفضة ولمعانها، تتم بطريقة الألومنيوم. أمّا القطع الكبيرة التي لا يمكن وضعها داخل إناء، فحاول مسحها بلطف بمعجون من كربونات الصوديوم والماء، مستعملًا رقائق الألومنيوم كقماش للمسح.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدًا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤالٍ مما يلي:

1. العلاقة بين أيون الهيدروكسيل وجزيء الماء هي أنّ:

أ. أيون الهيدروكسيل جزيء ماء زائد بروتون.

ب. أيون الهيدروكسيل وجزيء الماء هما الشيء نفسه.

ج. أيون الهيدروكسيل جزيء ماء ناقص نواة الهيدروجين.

د. أيون الهيدروكسيل جزيء ماء زائد إلكترونين إضافيين.

2. هيدروكسيل الصوديوم، NaOH، قاعديّ قويّ، وهذا يعني أنه يقبل أيونات الهيدروجين بسهولة. إنّ النواتج المتكوّنة عندما يأخذ هيدروكسيل الصوديوم أيون الهيدروجين من جزيء الماء هي:

أ. الماء وهيدروكسيل الصوديوم.

ب. هيدروكسيل الصوديوم وأيونات الهيدرونيوم.

ج. أيونات الصوديوم وأيونات الهيدرونيوم.

د. أيونات الصوديوم والماء.

3. عندما يساوي تركيز أيون الهيدرونيوم 1M، فما pH للمحلول؟ هل المحلول حَمْضي، أم قاعدي، أم متعادل؟

أ. pH = 0، حَمْضي.
ب. pH = 1، حَمْضي.
ج. pH = 10، قاعدي.
د. pH = 7، متعادل.

4. أضيف حَمْض ضعيف لمحلول من حَمْض الهيدروكلوريك القوي. هل يصبح المحلول أكثر حَمْضية، أم أقل حَمْضية، أم يبقى كما هو؟
أ. أكثر حَمْضية؛ لأنه يصبح هناك أيونات هيدرونيوم أكثر في المحلول.
ب. أقل حَمْضية؛ لأنّ المحلول يصبح مخففًا أكثر مع تركيز أقلّ لأيون الهيدرونيوم المضاف للمحلول.
ج. لا تتغير الأحماضة؛ لأنّ تركيز حَمْض الكلوريد عالٍ بحيث لا يحدث تغير بإضافة المحلول الضعيف.
د. أقل حَمْضية؛ بسبب زيادة تركيز أيونات الهيدروكسيل.

5. إنّ قطعة الطباشير مفيدة في إزالة عُسر الهضم لأنّ:
أ. كربونات الكالسيوم قاعدة وتعادل الأحماض الزائدة.
ب. كربونات الكالسيوم تمتص الحَمْض الزائد وتحمله إلى خارج النظام.
ج. كربونات الكالسيوم تضيف بطانة إضافية لحماية المعدة من الحَمْض الزائد.
د. كربونات الكالسيوم قد تحوّل الحَمْض إلى غاز يريح المعدة من زيادة الحَمْض الزائد.

6. أيّ العناصر تتأكسد، وأيّها تختزل في التّفاعل التالي؟

$$Sn^{2+} + 2\,Ag \longrightarrow Sn + 2\,Ag^{+}$$

أ. يتأكسد أيون القصدير Sn^{2+}، ويختزل أيون الفضة، Ag.
ب. يختزل أيون القصدير Sn^{2+}، ويتأكسد أيون الفضة.
ج. يتأكسد كلّ من أيون القصدير، Sn^{2+} والفضة، Ag.
د. يتأكسد كلّ من أيون القصدير، Sn^{2+} والفضة، Ag.

7. تتعلق كهروسالبية الذرّات بقدرتها على التّأكسد بالكيفية الآتية:
أ. كلما زادت كهروسالبية الذرة زادت قدرتها على التّأكسد.
ب. كلما نقصت كهروسالبية الذرة نقصت قدرتها على التّأكسد.
ج. كلما زادت كهروسالبية الذرة قلّت قدرتها على التّأكسد.
د. لا تؤثر كهروسالبية الذرة في قدرتها على التّأكسد.

8. في إنتاج الألومنيوم، فلز الصوديوم :
أ. يتأكسد.
ب. يختزل.
ج. يتأكسد ويختزل.
د. لا يتأكسد ولا يختزل.

9. تدوم البطارية التي لها جدران سميكة من الخارصين أكثر من تلك التي تكون جدرانها رقيقة لأنّ:
أ. جدران الخارصين السميكة تمنع البطارية من السخونة العالية.
ب. جدران الخارصين السميكة تمنع الإلكترونات من الضياع في البيئة المحيطة.
ج. البطارية تحتفظ بالحَمْض.
د. جدران الزنك تتحول إلى أيونات زنك عندما تزود البطارية الكهرباء.

10. المعادلة الكيميائيّة العامة للتركيب الضوئيّ مبينه أدناه. من خلال هذه المعادلة، هل يتأكسد الأكسجين في جزيئات الماء أم يُختزل؟

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

أ. يتأكسد أكسجين جزيئات الماء.
ب. يختزل أكسجين جزيئات الماء.
ج. يتأكسد جزء من أكسجين جزيئات الماء في حين يُختزل الجزء الآخر.
د. لا يتأكسد أكسجين جزيئات الماء ولا يُختزل.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

١د، ٢ج، ٣أ، ٤ب، ٥أ، ٦ب، ٧د، ٨ج، ٩ب، ١٠أ

اكتشف المزيد

http://www.epa.gov
قم زيارة الصفحة الرئيسة لوكالة حماية البيئة واستخدام المطر الحمضي ككلمة مفتاحية في موقع بحث الوكالة لتجد الكثير من المقالات حول هذا الموضوع.

http://mlso.hao.ucar.edu/cgi-/mlso_homepage.cgi
يعدد هذا الموقع مشاريع الغلاف الجوي حول المناخ. التابعة لمختبر تشخيص وربط المناخ في رصد ماوند لوا الشمس. كما يتضمن المرجع روابط مع شبكة اكتشاف تغيرات الستراتوسفير.

http://householdproducts.nlm.nih.gov/products.htm
استخدم قاعدة بيانات المنتجات المنزلية التابعة لمكتبة الطب الوطنية لتعليم المزيد حول طبيعة هذه المنتجات الكيميائية الطبيعية مثل مركبات العناية الشخصية بها. الفنون والاشغال اليدوية. مبيدات الحشرات. العناية بالحديقة. ومنتجات السيارات.

http://www.alminum.org
على موقع جمعية الألومنيوم. ستجد حقائق أساسية عن صناعة الألومنيوم. وجهود التدوير. وتأثير استخدام الآلومنيوم على البيئة.

http://www.calcars.org/vehices.html
التي تعلم المزيد حول مكونات السيارات الهجينة *(PHEVs)* من على هذا الموقع التابع لمبادرة السيارات في كاليفونيا. والذي يدعم تشجيع كفايات الوقود لأكثر من *100* ميل/جالون.

http://www.fuelcellworld.org
استخدم خلايا الوقود ككلمة مفتاحية في البحث عن عدد من الشركات الخاصة المكرسة لتحسين كفاية خلايا الوقود وتعميم استعمالاتها. إن خلايا الوقود هي بالتأكيد موجه المستقبل.

الفصل 18 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية
- 18.27

دروس تعليمية
- طبيعة الأحماض والقواعد
- الأحماض والقواعد القوية والضعيفة
- مقياس درجة الحموضة

أشرطة فيديو
- بعض الأحماض والقواعد أقوى من بعضها الآخر
- مياة المطر حمض ومياه المحيط قاعدة
- تكوين رمال الشاطئ

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط

المركبات العضويّة

19

1.19 مركبات كربون الهيدروجين (الهيدروكربونات)
2.19 الهيدروكربونات غير المشبعة
3.19 المجموعات الوظيفية
4.19 الكحولات، والفينولات والإيثرات
5.19 الأمينات وأشباه القلويات
6.19 المركبات الكربونية (مركبات الكربونيل)
7.19 المبلمرات

■ إنّ قدرة ذرات الكربون على ارتباط بعضها ببعض فريدة. ولهذا فإنّها تشكّل جزيئات مكونة من ذرات كربون عديدة. أضف إلى هذه الحقيقة أنّ ذرات الكربون يمكنها الارتباط بذرات عناصر أخرى. وعندئذٍ يمكنك تصور احتمالية عدد غير متناهٍ من الجزيئات المختلفة أساسها الكربون إنّ لكلّ جزيء مجموعة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية الفريدة. فمثلًا، نشمّ نكهة الفانيلا حين تمتص الأعضاء الحسية في الأنف مركب *الفانلين*، يتكون هذا المركب من حلقة من ذرات كلّ من الكربون والأكسجين مرتبطة بطريقة معينة. يكون الفانلين هو المكون الأساس في أيّ شيء له نكهة الفانيلا؛ ولا توجد نكهة فانيلا دون الفانلين. وفي المقابل تتشكل نكهة الشوكولاتة عندما يمتص الأنف مجموعة من الجزيئات أساسها الكربون، وليست ناتجة عن امتصاص جزيء واحد فقط.

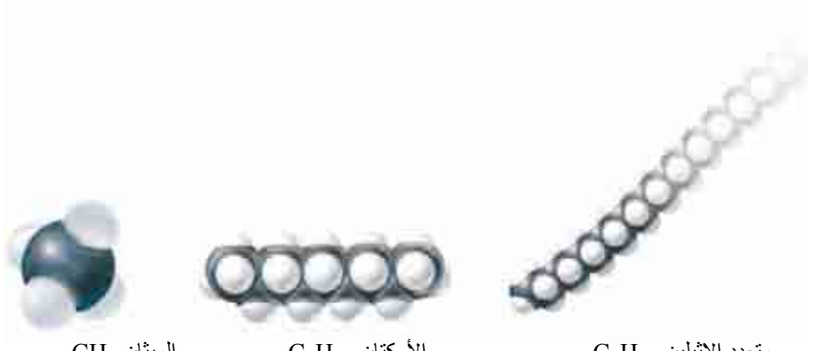
ربما تجد صعوبة في لفظ رباعي ميثيل بايرازين، ولكنك ستحب ما يفعله للآيس كريم.

تستند الحياة إلى قدرة الكربون على الارتباط بذرات كربون أخرى لتشكيل تراكيب مختلفة. إنّ هذه الحقيقة تعكس ظهور فرع الكيمياء الذي يدرس المركبات التي تحتوي على الكربون، وهذا الفرع يعرف **بالكيمياء العضوية *(Organic Chemistry)***. إنّ مصطلح *عضويّ* مشتق من *التعضي* وليس بالضرورة أن يكون مرتبطًا بنموذج زراعيّ صديق للبيئة. هناك اليوم أكثر من 13 مليون مركب عضوي معروف، ونحو 100,000 مركب جديد يضاف كلّ عام. ويتضمن هذا المركبات المكتشفة في الطبيعة، وكذلك المحضرة في المختبر. (في المقابل هناك ما بين 200,000 و 300,000 مركب غير عضوي معروف. وهذه أساسها عناصر غير الكربون).

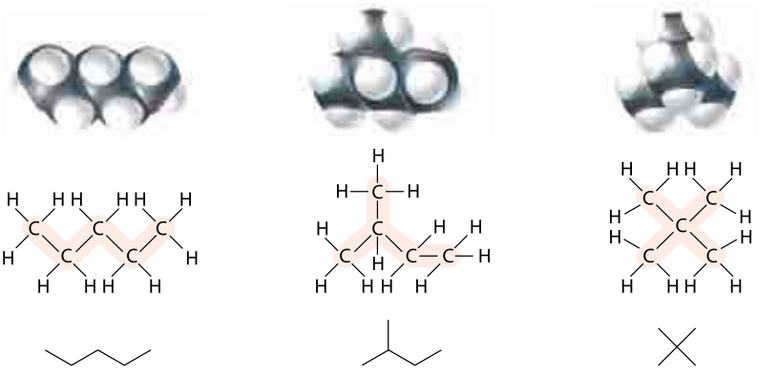
وبسبب أنّ المركبات العضوية وثيقة الارتباط بالكائنات الحية، ولأنّ هناك العديد من التطبيقات — كالنكهات، والوقود، والمبلمرات، والأدوية، والزراعة، والكثير غيرها — فمن المهم أن يكون لدينا فهم أساسيّ لها. وسنبدأ بأسهل المركبات العضوية؛ تلك التي تحتوي على كربون وهيدروجين فقط.

■ 1.19 مركبات كربون الهيدروجين (الهيدروكربونات) (Hydrocarbons)

تسمّى المركبات العضوية التي تحتوي على الكربون والهيدروجين فقط مركباتِ كربون الهيدروجين ***(الهيدروكربونات)***، التي يختلف بعضها عن بعض بعدد ذرات الكربون والهيدروجين التي تحتويها. ويعدّ الميثان، CH_4 أبسط الهيدروكربونات، وهو يحتوي على ذرة كربون واحدة لكلّ جزيء. إنّ الميثان هو المكوّن الرئيس للغاز الطبيعيّ. أمّا مركب كربون الهيدروجين، الأوكتان، C_8H_{18}، فله 8 ذرات كربون لكلّ جزيء، وهو أحد مكونات الجازولين. في حين أنّ مركب كربون الهيدروجين متعدد الإثيلين يحتوي على المئات من ذرات الكربون والهيدروجين لكلّ جزيء. متعدد الإثيلين هو بلاستيك يستخدم لصناعة العديد من المواد المألوفة مثل علب الحليب والأكياس البلاستيكية.



الميثان CH_4 الأوكتان C_8H_{18} متعدد الإثيلين C_8H_{18}



الشّكل 1.19
هذه الهيدروكربونات الثلاثة جميعها لها الصيغة الجزيئية نفسها. يمكننا رؤية الخصائص التركيبية المختلفة بتركيز الانتباه على هيكل الكربون في بعدين. ومن السهل رسم تراكيب عصا تستخدم الخطوط للروابط التساهمية كلّها للكربون – الكربون.

تختلف الهيدروكربونات أيضًا في الطريقة التي ترتبط بها ذرات الكربون معًا. يوضح الشّكل 1.19 الهيدروكربونات الثلاثة. ن-بنتان، وأيزوبنتان، ونيوبنتان. إنّ مركبات كربون الهيدروجين جميعها لها هذه الصيغة الجزيئية، C_5H_{12}، نفسها، ولكنها تختلف بنائيًّا بعضها عن بعض. فهيكل الكربون في ن-بنتان هو سلسلة من خمس ذرات كربون. وفي أيزوبنتان تتفرع السلسلة بحيث يكون الهيكل أربع ذرات كربون، ويبدأ التفرع عند ذرة الكربون الثانية. وفي النيوبنتان ترتبط ذرة الكربون المركزية بأربع ذرات كربون محيطة بها.

يمكن أن نرى اختلاف الخصائص البنائية للمركبات الثلاثة برسم الجزيئات في بعدين، كما يظهر في السّطر الأوسط من الشّكل 1.19. وبطريقة أخرى، يمكن تمثيل هذه المركبات ببناء العصي كالمشاهدة في السّطر الاساسي. يستخدم بناء العصي عادة كرمز مختصر لتمثيل الجزيء العضوي. تمثّل كلُّ (عصا) رابطةً تساهمية، ولفهم وجود ذرات الكربون عند نهاية أيّ خطّ، أو كلما التقى اثنان أو أكثر من الخطوط المستقيمة (إلا إذا رَسمت نوعًا آخر من الذرات عند نهاية الخط). كما لا تظهر عادة أيّ من ذرات الهيدروجين المرتبطة بذرات الكربون. وبدلًا من ذلك، يكون وجودها ضمنيًّا، وبالتالي يبقى التركيز على البناء الهيكلي الذي يتكون من ذرات الكربون.

عندما تكون كلّ ذرة كربون في كربون الهيدروجين ما عدا الذرتين في الأطراف مرتبطة بذرتين فقط ، فإنّ الجزيء في هذه الحالة يسمّى *الهيدروكربونات ذات السلسلة المستقيمة*. (لا تأخذ هذا الكلام بحرفيته؛ لأنّ المركب ن-البنتان المبين في الشّكل 1.19، هو كربون هيدروجين ذو سلسلة مستقيمة على الرّغم من الخط المتعرج للرسوم الممثله له). وعندما ترتبط ذرة الكربون على الأقل في كربون الهيدروجين بثلاث ذرات كربون أو أربع، فإنّ جزيء هيدروكربون يكون متفرعًا. وهكذا فكلا الأيزوبنتان والنيوبنتان هما هيدروكربونات متفرعة.

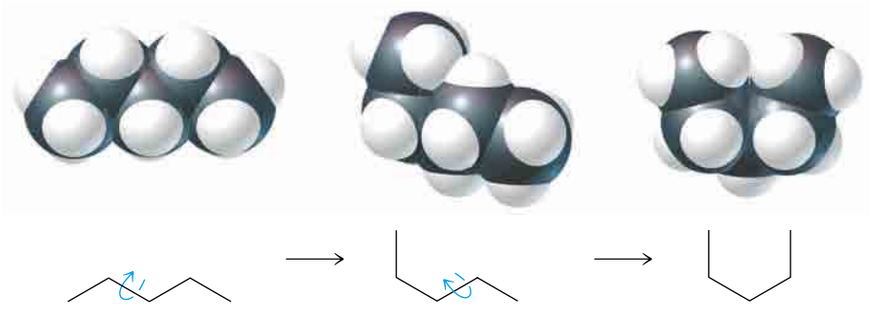
تكون للجزيئات مثل ن-البنتان والأيزوبنتان والنيوبنتان الصيغة الجزيئية نفسها، وهذا يعني أنّ لها العدد نفسه من النوع ذاته من الذرات. ولكن طريقة ترتيب هذه الذرات معًا مختلفة. ونقول إنّ لكلّ مركب هيئة (*Configuration*) تدلّ على كيفية ارتباط هذه الذرات. تُنتج الهيئات المختلفة بناءات كيميائية مختلفة. وتعرف الجزيئاتُ التي لها الصيغة الكيميائية نفسها، ولها هيئات مختلفة، ومن ثم تراكيب مختلفة **بالبناءِ الأيسوميري*(Structural Isomers)*** **(المتشكلات)**. تختلف التراكيب الأيسوميرية بعضها عن بعض في الخصائص الفيزيائية والكيميائية. فمثلًا، درجة الغليان لـ ن-البنتان هي 36°س، أمّا درجة الغليان للأيزوبنتان فهي 30°س، في حين أنّ درجة الغليان للنيوبنتان هي 10°س.

يزداد عدد التراكيب الأيسوميرية الممثلة لصيغة كيميائية بسرعة بزيادة عدد ذرات الكربون. هناك ثلاثة تراكيب أيسوميرية للمركبات التي لها صيغة C_5H_{12}، و18 لِـ C_8H_{18}، و75 لِـ $C_{10}H_{22}$، وعدد ضخم 366,319 لِـ $C_{20}H_{42}$!

بالنظر الى تراكيب العصيّ، تذكر أنّ كلّ زاوية أو نهاية تمثل ذرة كربون، وأنّ كلّ ذرة كربون يجب أن ترتبط أربع مرات. وبسبب افتراض وجود الهيدروجين فإنها لا تظهر.

الشّكل 2.19

ثلاثة امتثالات لجزيء ن-بنتان. يبدو الجزيء مختلفًا لكلّ تماثل، ولكن هيكل ذرات الكربون الخمس هو نفسه للامتثالات الثلاثة. في عينة من سائل ن-بنتان، توجد الجزيئات في الامتثالات جميعها.



تسمّى الاتجاهاتُ الفضائية المختلفة للجزيء الذي أساسه الكربون الامتثالاتِ(*Conformation*). اثنِ مفاصل رسغك، ومرفقك، وكتفك لتجد أنّ ذراعك يشكّل مدى من الامتثالات. وبالمثل فإنّ الجزيء العضوي يمكن أن يدور حول الرابطة، الكربون – الكربون الأحادية، ويشكل مدى من الامتثالات. مثلًا التركيب في الشّكل 2.19 هو امتثالات مختلفة لِـ ن-بنتان. وبلغة الكيمياء العضوية، نقول إنّ هيئة الجزيء، مثل ن-بنتان، له مدى واسع من الامتثالات. وإذا غيرت هيئة ن-بنتان، فلا يعود عندك ن-بنتان. وبدلًا من ذلك ستحصل على تركيب أيسوميري مختلف، مثل الأيزوبنتان، والذي له مدى خاص به من الامتثالات المختلفة.

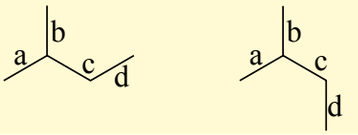
أيهما أسهل أن يُغير؛ امتثال ذراعك أم هيئتها؟

لمعلوماتك

■ وكما ناقشنا في الفصل 18-4، فإننا نقوم بضخ كميات كبيرة، إلى حد غير معقول، من ثاني أكسيد الكربون في الغلف الجوي عن طريق حرف الوقود الأحفوري. ولكن الغلاف الجوي هو ليس المتنفس الوحيد لامتصاص ثاني أكسيد الكربون الذي ننتجه. حيث يمكن تعديل مداخن المصانع ومحطات الطاقة، مثلًا، لامتصاص CO_2، ما الذي والذي يحول بدوره إلى سائل ويضخ إلى 1 كيلومترات داخل الأرض. ولكن هذه الإمكانية لم يتم التفكير فيها بعد، فعملية تخزين CO_2 في خزانات تحت الأرض قد تم توظيفها من قبل مصفاة للغاز الطبيعي في الجزائر. ولكن لمثل هذا النظام النفقات الخاصة به. حيث يمكن أن يقفز سعر إنتاج الكهرباء من التقاط CO_2 الناتج من حرق الوقود الأحفوري في محطات توليد الكهرباء بأكثر من 20%. ولكن تكاليف عدم تبني هذا النظام على المدى الطويل هي أكثر من ذلك بكثير.

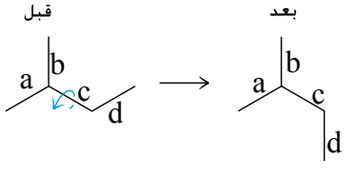
■ **نقطة فحص**

أي رابطة كربون – كربون التي أديرت من «قبل» امتثال الأيزوبنتان إلى بعده؟



هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ أفضل طريقة لإجابة أيّ سؤال حول الامتثالات للجزيء هي اللعب بالنماذج الجزيئية، والتي يمكنك الإمساك بها بين يديك. في هذه الحالة، الرابطة (c) بطريقة ما، بحيث يكون الكربون في نهاية اليمين مع الرابطة (d) تخرج من مستوى الورقة، ومباشرة تشير إليك، ثم تسقط فجأه ثانية إلى مستوى الورقة أسفل الرابطة (c). إنّ هذا الدوران يشبه دوران ذراع المصارع، الذي تكون ذراعه فوق الطاولة، وهو على وشك الخسارة، وفجأة يندفع بقوة ويلوي ذراع الخصم (وذراعه هو) من خلال دوران نصف دائري ويربح.

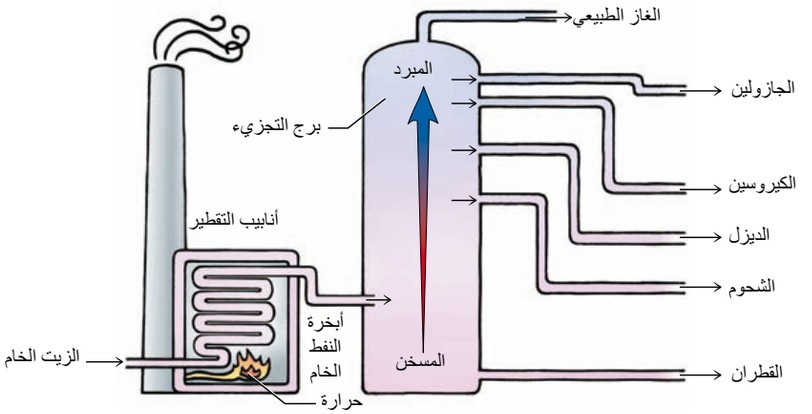


يمكن الحصول على الهيدروكربونات بشكل رئيس من الفحم والبترول. لقد تشكّل معظم الفحم والبترول الموجود اليوم قبل 280 مليون و395 مليون سنة، عندما تحللت النباتات والحيوانات بغياب الأكسجين. في ذلك الوقت، كانت الأرض مغطاة بالمستنقعات الكثيفة بسبب قربها من مستوى البحر، وكانت تنغمر بالمياه دوريًّا. لقد طمرت المواد العضوية تحت طبقات من الترسبات البحرية، وفي النهاية تحولت إلى فحم أو بترول.

إنّ الفحم مادة صلبة تحتوي على العديد من جزيئات الهيدروكربونات الكبيرة والمعقدة. ويستخدم معظم الفحم المنتج اليوم في إنتاج الفولاذ، ولتوليد الكهرباء في محطات الطاقة بحرق الفحم.

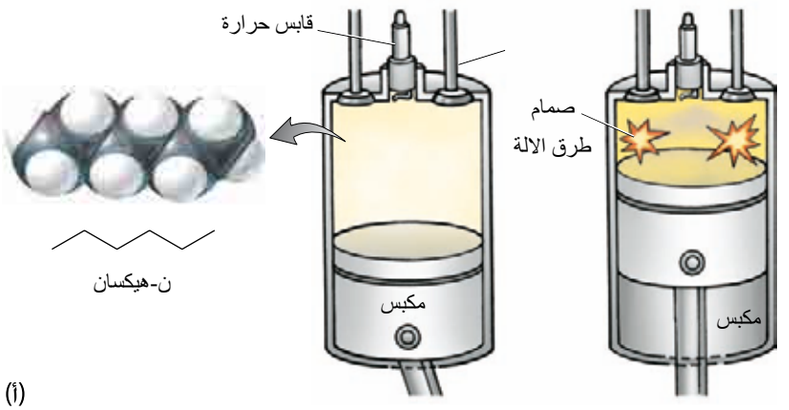
الشّكل 3.19

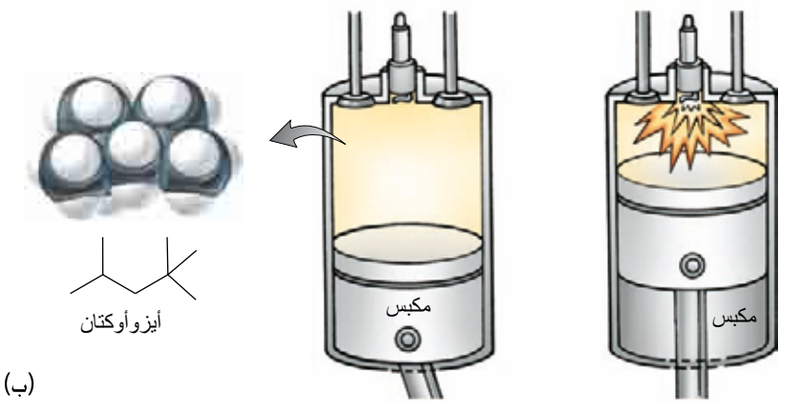
رسم للتقطير الجزيئي للبترول إلى مكوناته المفيدة.



أمّا البترول، والذي يسمّى أيضًا النفط الخام، فهو سائل يمكن فصله عن مكوناته الهيدروكربونية عبر عملية تعرف *بالتقطير التجزيئي*، المبين في الشّكل 3.19. يسخّن النفط في أنبوب حتى يتبخر عند درجة حرارة عالية تكفي لتبخير معظم مكوناته. ينساب البخار السّاخن إلى أسفل برج التجزئة؛ حيث تكون درجة الحرارة في الأسفل أكبر منها في الأعلى. وعند صعود البخار في البرج يبرد. وتبدأ مختلف المكونات في التكاثف. تتكاثف الهيدروكربونات التي لها درجة غليان عالية مثل القطران، والشحوم أولًا عند درجات حرارة عالية. تنتقل الهيدروكربونات التي لها درجة غليان منخفضة مثل البنزين إلى المناطق الباردة عند أعلى البرج قبل أن تتكاثف. تُصَرّف الأنابيب مختلف أجزاء الهيدروكربون من البرج. أمّا الغاز الطبيعي الذي هو بشكل رئيس ميثان فلا يتكاثف، بل يبقى غازًا ويتجمع عند أعلى البرج.

كلما انخفضت درجة غليان الهيدروكربون، صعد إلى أعلى في برج التقطير الجزيئي.





الشّكل 4.19

(أ) من الممكن تشغيل سلسلة الهيدروكربون الخطية، مثل ن-هكسان من الحرارة المتولدة عند ضغط الجازولين بالمكبس – قبل اشتغال قابس الشرارة. وهذا يقلب توقيت دورة المحرك، مؤديًا إلى ظهور صوت.

(ب) الهيدروكربونات المتفرعة، مثل الأيزو – أوكتان أقلّ استعدادًا للاحتراق، ولا يشتعل بالانضغاط وحده، بل عندما يشتغل قابس الشرارة فقط.

الشّكل 5.19

تظهر درجات الأوكتان على مضخات الجازولين. من المدهش أنّ السيارات الحديثة مصممة للعمل أفضل على درجة الوقود الأوكتان 87. ومع وقود أوكتان أعلى درجة، فإنّك لا تفقد الكفاءة فقط، بل النقود أيضًا.

تفسر الفروق في شدة التجاذب بين الجزيئات سبب تكاثف الهيدروكربونات المختلفة عند درجات حرارة مختلفة. وكما ناقشنا في الجزء 8.15، في مقارنتنا بين جذب الثناقطبي المستحث - الثناقطبي المستحث في الميثان والأوكتان، تتعرض الهيدروكربونات الكبيرة إلى العديد من هذه التجاذبات أكثر من الجزيئات الصغيرة. وبسبب قلة التجاذبات مع الجوار، فإنها تتكاثف فقط عند درجات حرارة أبرد حين تكون عند قمة البرج.

يتكون الجازولين المستخلص من التقطير الجزيئي للبترول من تشكيلة واسعة من الهيدروكربونات التي لها درجات غليان متشابهة. بعضها يحترق بكفاءة أكبر في محرك السيارة. تحترق الهيدروكربونات ذات السلسلة الخطية بسرعة كبيرة، مثل ن-هيكسان، محدثة ما يعرف *بطرطقة المحرك*، كما هو موضح في الشّكل 4.19. تحترق هيدروكربونات الجازولين التي لها تفرعات كثيرة، مثل الأيزوأوكتان، ببطء مما يجعل عمل المحرك أكثر نعومة. يُستخدم هذان المركبان؛ ن-هيكسان والأيزوأوكتان، كمركبات معيارية في تقييم *درجة الأوكتان* في الجازولين. اعتبرت الدرجة 100 اختياريًّا للأيزوأوكتان، في حين أعطيت الدرجة 0 لـ ن-هكسان. يقارن الأداء ضد الطرطقة لجازولين معين مع مخاليط مختلفة من الأيزوأوكتان و ن-هيكسان، ويعطى درجة الأوكتان. يبين الشّكل 5.19 المعلومات عن الأوكتان التي تظهر عند محطات ضخّ الجازولين العادية.

■ **نقطة فحص**

ما التركيب الأيسوميري المبين في الشّكل 1.19، الذي له أعلى درجة أوكتان؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يكون للتركيب الأيسوميري الذي له أعظم كمية من تفرع الكربون احتمالية أعلى درجة من الأوكتان، مما يجعل الجواب الصحيح هو النيوبنتان. لمعلوماتك، تكون الدرجة كما يلي:

المركب	درجة الأوكتان
ن-بنتان	61.7
أيزوبنتان	92.3
نيوبنتان	116

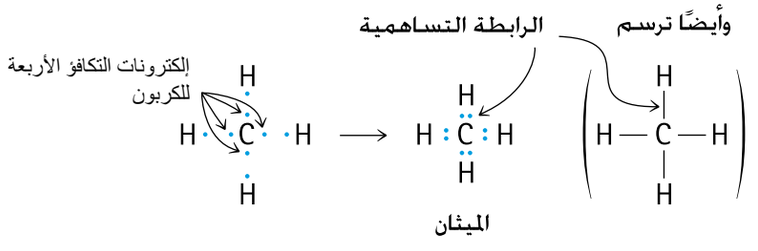
لمعلوماتك

■ يكون للدهون المشبعة في غذائنا سلاسل كربون طويلة تحتوي على روابط مفردة. تميل هذه السلاسل لأن تكون خطية، لذا فإنها تكون متراصّة معًا (مثل عيدان الثقاب في العلبة). وهكذا، فإنّ الدهون المشبعة تكون صلبة عند درجة حرارة الغرفة مثل الشحم. تحتوي سلاسل الكربون في الدهون غير المشبعة على روابط ثنائية، وتأخذ شكل منحنى، لذا لا تكون متراصة جيدًا معًا. وتكون الدهون غير المشبعة، مثل زيت الزيتون، سائلة عند درجة حرارة الغرفة.

■ 2.19 الهيدروكربونات غير المشبعة

تذكر من الجزء 1.15 أنّ للكربون أربعة إلكترونات تكافؤ غير مرتبطة. وكما هو مبين في الشّكل 6.19، فإنّ كلًّا من هذه الإلكترونات يستطيع التزاوج مع إلكترون من ذرة أخرى، مثل الهيدروجين لتكوين رابطة تساهمية.

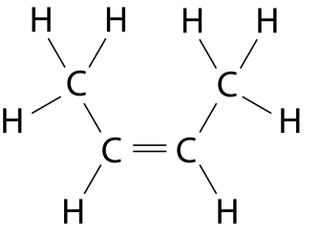
للهيدروكربونات التي نوقشت حتى الآن جميعها، بما فيها الميثان المبين في الشّكل 6.19، ترتبط كلّ ذرة كربون مع جيرانها بأربع روابط تساهمية مفردة. تعرف مثل هذه الهيدروكربونات **بالهيدروكربونات المشبعة.**



الشّكل 6.19

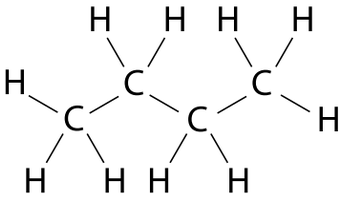
للكربون أربعة إلكترونات تكافؤ؛ كلّ إلكترون يتزاوج مع إلكترون من ذرة الهيدروجين في الروابط التساهمية الأربع للميثان.

هيدروكربون غير مشبع



2 -بيوتان C_4H_8

هيدروكربون مشبع



ن-بيوتان C_4H_{10}

الشّكل 7.19

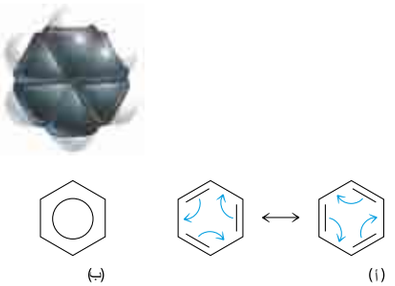
تشبع ذرات الكربون في الهيدروكربون ن-بيوتان، بحيث ترتبط كلّ ذرة مع أربع ذرات أخرى. وبسبب الرابطة الثنائية، ترتبط ذرتان من الهيدروكربون غير المشبع ٢-بيوتين مع ثلاث ذرات أخرى، والذي يجعل الجزيء هيدروكربون غير مشبع.

يعني المصطلح "*مشبع*" أن ترتبط كلّ ذرة كربون بالعديد من الذرات قدر الإمكان. وسندرس الآن حالات تكون فيه واحدة أو أكثر من ذرات الكربون مرتبطة بأقلّ من أربع ذرات مجاورة. ويحدث هذا حين تكون واحدة على الأقل من الروابط بين الكربون والذرة المجاورة رابطة متعددة. (انظر الجزء 5.15 لمراجعة الروابط).

تعرف الهيدروكربونات المحتوية على رابطة متعددة – سواء ثنائية أو ثلاثية أو أكثر – **بالهيدروكربونات غير المشبعة**. وبسبب الرابطة المتعددة، ترتبط ذرتا كربون بعدد من الذرات أقلّ من أربع. ولذلك تسمى ذرات الكربون هذه *غيرَ المشبعة*.

يقارن الشّكل 7.19 بين الهيدروكربون المشبع *ن*- بيوتان بالهيدروكربون غير المشبع 2-بيوتين. إنّ عدد الذرات المرتبطة مع ذرتي الكربون في الوسط في *ن*- بيوتان أربعة. في حين ترتبط ذرتا الكربون في الوسط في البيوتين بثلاث ذرات؛ ذرة هيدروجين وذرتي كربون.

من الهيدروكربونات غير المشبعة المهمة البنزين، C_6H_6، والذي يمكن رسمه على شكل حلقة سداسية مسطحة بثلاث روابط ثنائية. كما هو مبين في الشّكل 8.19أ. على عكس الرابطة الثنائية بين الذرات في معظم الهيدروكربونات غير المشبعة، إنّ الرابطة الثنائية لا تكون ثابتة في البنزين بين ذرتي كربون. وبدلًا من ذلك، فإنّ هذه الإلكترونات تكون حرة الحركة حول الحلقة. ويمثل هذا عادة بدائرة داخل الحلقة، كما هو مبين في الشّكل 8.19 ب، بدلًا من الروابط الثنائية المفردة.



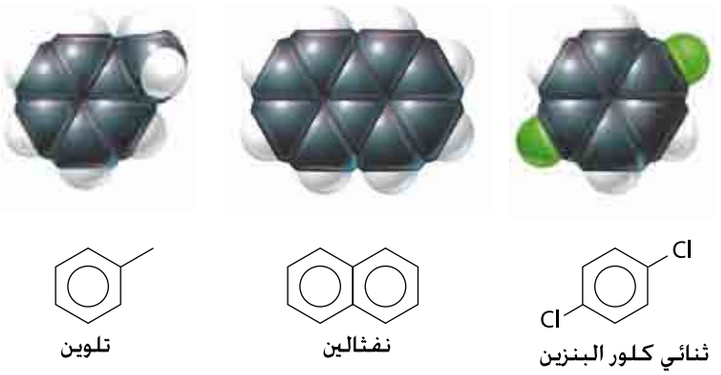
الشّكل 8.19

(أ) تنتقل الروابط الثنائية للبنزين، C_6H_6، حول الحلقة. (ب) لهذا السبب، عادة ما تمثل بدائرة داخل الحلقة.

تحتوي العديد من المركبات العضوية في تركيبها على واحدة أو أكثر من حلقات البنزين. ولأنّ العديد من هذه المركبات ذات رائحة عطرية، فإنّ أيّ مركب عضويّ يحتوي على حلقة بنزين يُصنّف على أنه **مركب عطريّ** (حتى وإن لم تكن له رائحة عطرية معينة).

ويبين الشّكل 9.19 بعض الأمثلة؛ فالتولوين مذيب مألوف، يستخدم لتخفيف الدهان، وهو سامّ. ويعطي لاصق الطائرات رائحة مميزة. وبعض المركبات العطرية مثل النفثالين، يحتوي على حلقتين أو أكثر من حلقات البنزين مرتبطة معًا. في زمن ما، كانت كرات طارد العثّ تُصنع من النفثالين أمّا اليوم، فتصنع هذه الكرات من المركب الأقل سمّيّة 1، 4 - ثنائي كلوروبنزين.

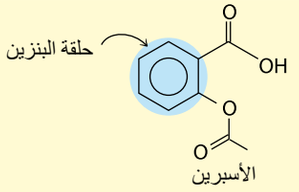
إنّ الأسيتيلين، C_2H_2 مثال على الهيدروكربون غير المشبع، والذي يحتوي على رابطة ثلاثية. كما أنّ اللهب الناتج عن حرق الأسيتيلين المحصور في وجود الأكسجين حار بما فيه الكفاية لصهر الحديد، والذي يجعل من الأسيتيلين وقودًا مفضّلًا في عملية اللحم (الشّكل 10.19).



الشكل 9.19
التراكيب الثلاثة للمركبات العضوية والتي تحتوي على حلقة أو أكثر من حلقات البنزين هي: التلوين، والنفثالين، 1،4 و ثنائي كلوريد بنزين.

■ **نقطة فحص**

إنّ التعرض الطويل للبنزين يزيد من خطورة الإصابة بالسّرطانات. يحتوي تركيب الأسبرين على حلقة بنزين. هل هذا يدلّ على أنّ تعاطي الأسبرين مدة طويلة يزيد من خطورة الإصابة بالسّرطان؟



هل كانت هذه إجابتك؟

لا؛ فعلى الرّغم من أنّ كلًا من البنزين والأسبرين يحتويان على حلقة بنزين، إلّا أنّ التركيب الإجمالي للمركبين مختلف تمامًا. كما أنّ لهما خصائص كيميائية مختلفة. لكلّ ذرة كربون محتواة في المركب العضوي مجموعة خصائص فيزيائية، وكيميائية، وبيولوجية متميزة. فعلى الرّغم من أنّ البنزين يسبب السّرطان فإنّ الأسبرين يستخدم لعلاج ألم الرأس.

الشكل 10.19
الأسيتيلين C_2H_2 هيدروكربون غير مشبع، عندما يشعل ينتج لهبًا حارًا بما يكفي لصهر الحديد.

■ 3.19 المجموعات الوظيفية

يمكن لذرات الكربون أن ترتبط بعضها مع بعض، ومع ذرات الهيدروجين بالعديد من الطرق، بحيث ينتج عددًا هائلًا من الهيدروكربونات. كما أنّ ذرات الكربون ترتبط أيضًا مع ذرات عناصر أخرى، مما يزيد عدد الجزيئات العضوية المحتملة. في الكيمياء العضوية، تسمّى أيُّ ذرة غير الكربون والهيدروجين في الجزيء العضوي **الذرة المغايرة** ***(Heteroatom)***؛ حيث تشير كلمة **مغايرة** إلى أنّ الذرة تختلف عن أيّ من الهيدروجين أو الكربون.

يمكن أن يعمل تركيب الهيدروكربون كهيكل لربط ذرات مغايرة مختلفة. وهذا مشابه لشجرة عيد الميلاد عند استخدامها لتعليق الزينة عليها. وكما أنّ الزينة تعطي شخصية للشجرة، فإنّ الذرات المغايرة تعطي شخصية للجزيء العضوي. كما أنّ للذرات المغايرة آثارًا أساسية في خصائص الجزيء العضوي.

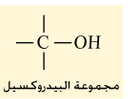
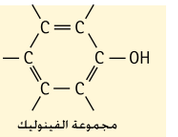
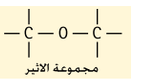
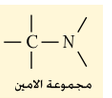
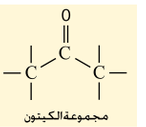
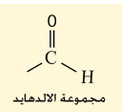
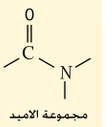
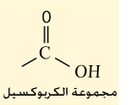
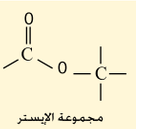
خذ الإيثان، C_2H_6 والإيثانول، C_2H_6O، اللذين يختلفان أحدهما عن الآخر بذرة الأكسجين. يغلي الإيثان عند درجة -88° س، وهو غاز عند درجة حرارة الغرفة، ولا يذوب في الماء بشكل جيد. وفي المقابل، فإنّ درجة الغليان للإيثانول هي + 78° س، وهو سائل عند درجة حرارة الغرفة، وذائبيته في الماء بلا نهاية. كما أنّه المكون الأساس للمشروبات الكحولية. وأكثر من ذلك، ادرس أمين الإيثيل، C_2H_7N، الذي له ذرة نيتروجين على الأساس نفسه لهيكل ذرتي الكربون. هذا المركب أكّال، لاذع وسامّ جدًا، وهو مختلف تمامًا عن أيّ من الإيثان أو الإيثانول.

تصنّف المركبات العضوية وفق **المجموعات الوظيفية** التي تحتوي عليها. وتعرف المجموعة الوظيفية على أنها مجموعة من الذرات التي تتصرف كوحدة. كما أنّ معظم هذه المجموعات الوظيفية تتميز بالذرات المغايرة التي تحتوي عليها؛ أدرجت بعض المجموعات الوظيفية في الجدول 1.19.

في الجزء المتبقي، سنقدم عائلات الجزيئات العضوية المبينة في الجدول 1.19. وسنوضح الدّور الرئيس الذي تقوم به الذرات المغايرة في تحديد خصائص كلّ عائلة.

بالتأكيد، فإنّ كيمياء الهيدروكربونات مدهشة، ولكن إضافة ذرات مغايرة للجزيئات العضوية تجعلها مدهشة فوق العادة. تحتوي المواد العضوية جميعها التي في الكائنات الحية مثلًا، على ذرات مغايرة.

الجدول 1.19 المجموعات الوظيفية في الجزيئات العضوية

التركيب العام	الاسم	الصنف
 مجموعة البيدروكسيل	مجموعة البيدروكسيل	الكحولات
 مجموعة الفينوليك	مجموعة الفينوليك	الفينولات
 مجموعة الاثير	مجموعة الإثير	الإثيرات
 مجموعة الامين	مجموعة الأمين	الأمينات
 مجموعةالكيتون	مجموعةالكيتون	الكيتونات
 مجموعة الالدهايد	مجموعة الألدهايد	الألدهايدات
 مجموعة الاميد	مجموعة الأميد	الأميدات
 مجموعة الكربوكسيل	مجموعة الكربوكسيل	الحموض الكربوكسيلية
 مجموعة الإيستر	مجموعة الإيستر	الإيسترات

في أثناء دراستك هذه المادة، ركّز على فهم الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمختلف عائلات المركبات؛ لأنّ هذا يمنحك تقديرًا عظيمًا لروعة التنوع الهائل للجزيئات العضوية وللعديد من تطبيقاتها.

■ **نقطة فحص**

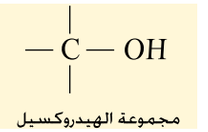
ما أهمية الذرات المغايرة في الجزيء العضوي؟

هل كانت هذه إجابتك؟

تحدّد الذرات المغايرة "هوية" الجزيء العضوي كثيرًا.

■ 4.19 الكحولات، والفينولات، والإيثرات

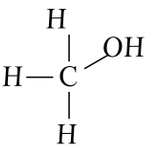
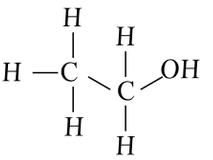
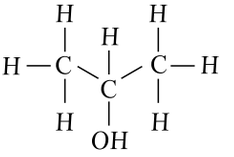
الكحولات جزيئات عضوية، بحيث ترتبط *مجموعة الهيدروكسيل* بالكربون المشبع. تتكون مجموعة الهيدروكسيل من أكسجين مرتبط مع الهيدروجين. وبسبب قطبية رابطة الأكسجين – الهيدروجين، غالبًا ما تذوب الكحول القليل الكتلة في الماء، والذي هو بدوره قطبيّ. بعض الكحولات المعروفة، ودرجات انصهارها، ودرجات غليانها مدرجة في الجدول 2.19.



مجموعة الهيدروكسيل

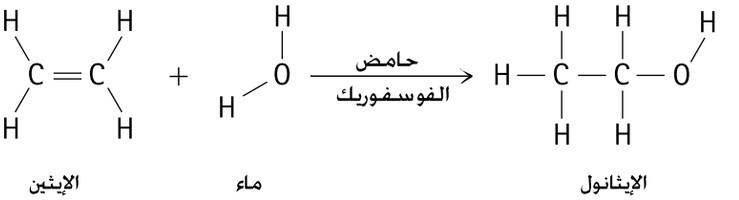
ينتج في الولايات المتحدة سنويًّا أكثر من 11 بليون رطل من الميثانول، CH_3OH، والذي يذهب معظمه في صناعة الفورمالدهايد وحمض الأسيتيك، وهي مواد أولية مهمة لإنتاج البلاستيك. إضافة إلى ذلك، يستخدم الميثانول كمذيب، وكمعزز للأوكتان، كما أنّه عامل مضاد للتجميد في الجازولين، ويسمّى *كحول الخشب* في بعض الأحيان بسبب إمكانية الحصول عليه من الخشب. ويجب عدم شرب الميثانول بتاتًا؛ لأنه في الجسم، يُؤيض إلى الفورمالدهايد وحمض الفورميك؛ فالفورمالدهايد مؤذٍ للعيون، ويؤدي إلى فقدان البصر. كما أنّه استخدم في زمن ما لحفظ العينات البيولوجية الميتة. أمّا حمض الفورميك، فهو مكوّن المادة المؤثرة لعض النمل، إلى جانب أنّ بإمكانه تخفيض pH الدم إلى مستويات خطرة. وللميثانول خصائص سمية أصيلة. إنّ شرب نحو 15 مللترًا (3 ملاعق شاي تقريبًا) من الميثانول قد يؤدي إلى العمى، في حين أنّ شرب نحو 30 مللترًا يسبب الموت.

الجدول 2.19 بعض الكحولات البسيطة

التركيب	الاسم العلمي	الاسم المألوف	درجة الانصهار (°س)	درجة الغليان (°س)
	ميثانول	الكحول المثيلي	-97	65
	إيثانول	الكحول الإيثيلي	-115	78
	بروبانول-2	كحول الأيزوبروبيل	-126	97

في المقابل، الإيثانول، C_2H_5OH، هو "كحول" المشروبات الكحولية، وهو من أقدم المواد الكيميائية التي صنعها البشر. يحضر الإيثانول بتغذية المواد السكرية المختلفة لخمائر معينة، والتي تنتجه من خلال عملية بيولوجية تعرف *بالتّخمّر*. كما يستعمل الإيثانول بكثرة بأنه مذيب صناعيّ. لسنوات طويلة، تمّ تصنيع الإيثانول لهذه الأغراض بالتخمر. أمّا اليوم، فهناك ماركة صناعية له أقلّ تكلفة، وهي نواتج ثانوية للبترول، مثل الإيثين، كما يوضح الشّكل 11.19.

الشّكل 11.19
يمكن تصنيع الإيثانول من الهيدروكربون غير المشبع؛ الإيثلين، مع حمض الفوسفوريك ليكون محفّزًا وعاملًا مساعدًا.



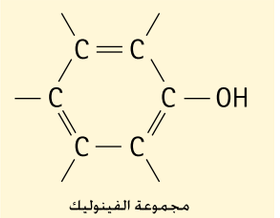
لا يتعدى تركيز الإيثانول في السّائل المنتج بطريقة التخمير إلى أكثر من نحو 12% لأنّ خلايا الخميرة تبدأ في الموت بعد هذا التركيز. ولهذا، تكون نسبة الكحولات في معظم الخمور نحو 12% - تنتج فقط بطريقة التّخمير. وللحصول على نسبة أعلى من الإيثانول الموجود في الكحول "ذات التأثير القوي" كالجن والفودكا، يقطر السّائل المخمّر. في الولايات المتحدة، يقاس محتوى كمية الإيثانول في مشروبات الكحول المقطر *كشهادة*، وهي تساوي ضعف النسبة المئوية للإيثانول. فمثلا الويسكي شهادة - 86، يعني وجود 43% إيثانول بالحجم. لقد نشأ مصطلح *شهادة* من الطريقة التقريبية التي استخدمت لفحص محتوى الكحول. يبلل ملح البارود بالشراب المراد قياس نسبة الكحول فيه. فإذا كان الشراب في معظمه ماء، فإنّ البارود لا يشتعل، ولكن إذا احتوى الشراب على كمية مقيسة كبيرة من الإيثانول، فإنّ البارود يحترق. لذا يزودنا بشهادة على جودة الشراب.

لمعلوماتك

- كما أنّ الجسم يستقلب الميثانول إلى فورمالدهايد، $HCOH$، يستقلب الإيثانول إلى أسيتالدهيد، CH_3COH. لا يسبب العمى، ولكنه يسبب بعض الآلام الجانبية التي يشعر بها مَن يكثر مِن الشرب.

الكحول الثالث - المشهور هو كحول الأيزوبروبل، ويعرف أيضا بـ 2 – بروبانول. إنه كحول الصقل الذي تشتريه من محال الأدوية. وعلى الرّغم من أنّ 2 - البروبانول له درجة غليان عالية نسبيًّا، إلّا أنّه يتبخر في الحال، منتجًا أثر تبريد ملموس عندما يسلط على الجلد. لذا، يستخدم لتخفيف الحمى. إنّ هذا النوع من الكحول سامّ جدًّا إذا شرب. انظر النشاط في نهاية هذا الفصل لتفهم السبب. وبدلًا من كحول الأيزوبروبل، تستخدم الكمادات الباردة في تخفيف الحمى، وهي أكثر أمانًا كثيرًا. من المحتمل أنك تعرف كحول الأيزوبروبل لأهميته في التعقيم.

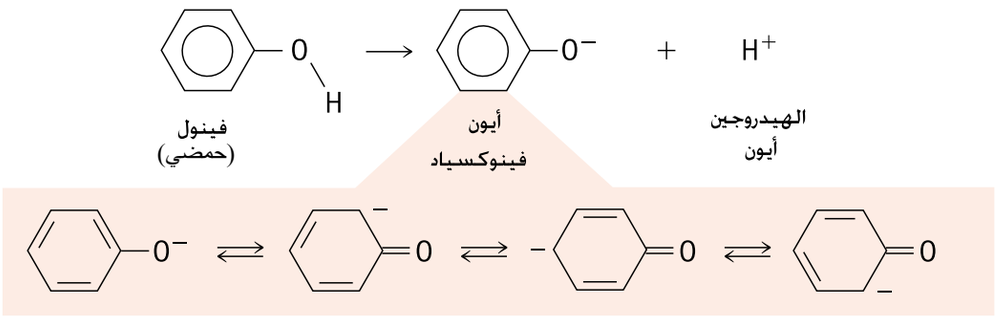
تحتوي **الفينولات** على مجموعة الفينوليك، والتي تتكون من مجموعة هيدروكسيل مرتبطة مع حلقة بنزين. وبسبب وجود حلقة البنزين، يفقد الهيدروجين من مجموعة الهيدروكسيل مباشرة في تفاعل حمض – قاعدة، والذي يجعل مجموعة الفينوليك حمضًا معتدلا.



إنّ السّبب في هذه الحموضة موضّح في الشّكل 12.19. يعتمد سهولة إعطاء الحمض لأيون الهيدروجين على مدى استعداد الحمض إيواء الشحنة السالبة الناتجة التي تكسبها بعد فقدانها أيون الهيدروجين. وبعد تبرّع الفينول بأيون الهيدروجين، يصبح أيون الفينوكسيد سالب الشحنة. ولكن شحنة الفينوكسيد السالبة ليست مقيدة لذرة الأكسجين. تذكّر أنّ الإلكترونات في حلقة البنزين تتنقل حول الحلقة. وبطريقة مشابهة، ينتقل الإلكترون المسبب للشحنة السالبة في أيون الفينوكسيد، ويمكن أن ينتقل حول الحلقة، كما يبين الشّكل 12.19. وتمامًا كما يستطيع عدة أشخاص الإمساك بحبة بطاطس ساخنة وتمريرها بينهم بسرعة، يمكن لأيون الفينوكسيد أن يمسك بالشحنة السالبة بسبب تنقلها حول الحلقة. وبسبب إيواء شحنة الأيون السالبة بلطف، تكون مجموعة الفينوليك أكثر حمضية مما لو كانت غير ذلك.

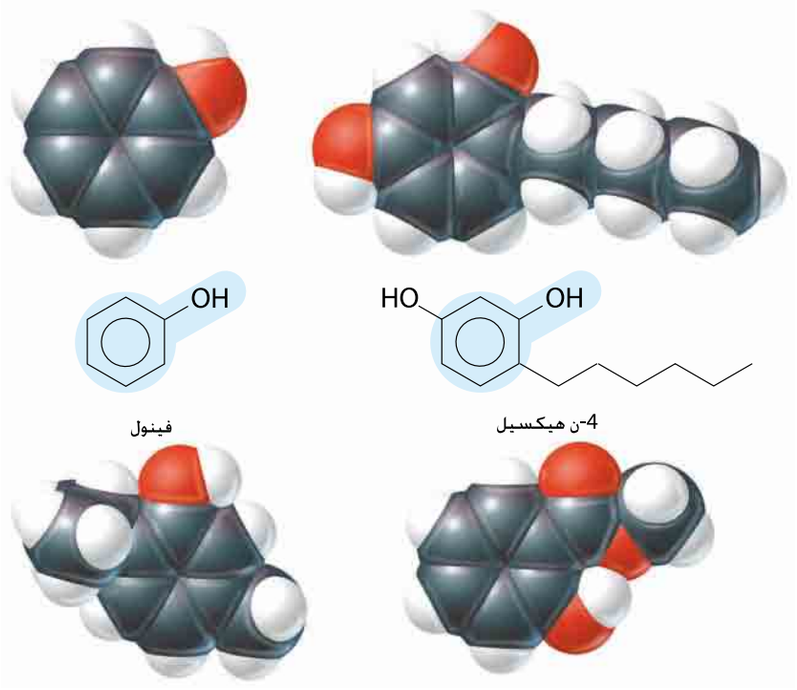
الشّكل 12.19

تنتقل الشحنة السالبة لأيون الفينوكسيد إلى مواقع مختارة على حلقة البنزين. تساعد هذه الحركة على إيواء الشحنة السالبة، ولهذا تتبرع بسرعة مجموعة الفينوليك بأيون الهيدروجين.



يبيّن الشّكل 13.19 أبسط فينول وهو الفينول. في عام 1867م اكتشف جوزيف ليستر (1827-1912م) Joseph Lister القيمة التطهيرية للفينول، والذي عند تعريض الأجهزة الطبية والجروح له، يزيد كثيرًا معدل نجاح العمليات الجراحية. لقد كان الفينول أول ما استخدم كمحلول مضاد للبكتيريا، أو *التطهير*. يُتلف الفينول الأنسجة السليمة. ولكن، تم إنتاج العديد من الفينولات المعتدلة. مثلًا، يستخدم الفينول 4 –ن– هكسيل ريزوسينول في غسول الفم وعلاج الحنجرة. ولهذا المركب خصائص تطهيرية أكبر من الفينول، بالإضافة إلى أنّه لا يتلف الأنسجة. إنّ غسول الفم ماركة ليسترين (سُميت تكريمًا لجوزيف ليستر) تحتوي على الفينول المطهر الثيامول وميثيل سلسيلايت.

نحن نصنف الجزيئات العضوية على أساس المجموعات الوظيفية التي تحتويها. وكما سترى قريبًا، يمكن أن تحتوي الجزيئات العضوية على أكثر من مجموعة وظيفية. وعليه، يمكن أن يصنف جزيء عضويّ واحد على أنه فينول أو إيثر في الوقت نفسه.



الشّكل 13.19

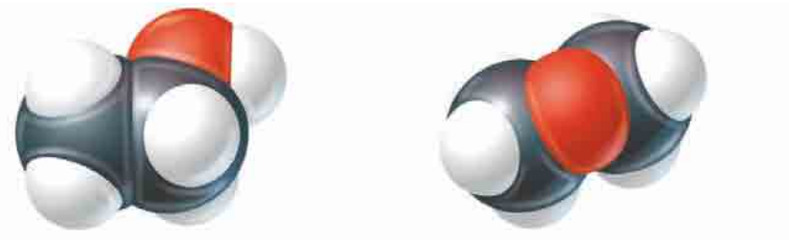
كل فينول يحتوي على مجموعة الفينوليك (مضاء بالأزرق).

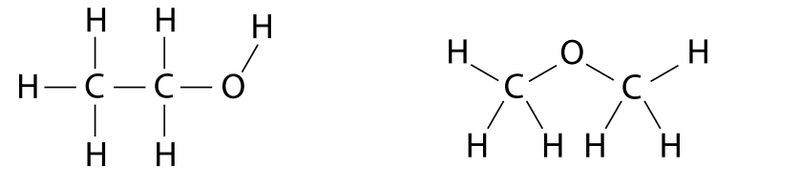
■ **نقطة فحص**

لماذا تكون الكحولات أقلّ حمضية من الفينولات؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا تحتوي الكحول على حلقة بنزين مرتبطة مع مجموعة الهيدروكسيل. إذا كانت الكحول لتفقد هيدورجين الهيدروكسيل، فستكون النتيجة شحنة سالبة على الأكسجين. ودون حلقة البنزين المجاورة، لا تجد الشحنة السالبة مكانًا تذهب إليه. وكنتيجة لهذا، يتصرف الكحول كحمض ضعيف جدًّا فقط، مثلما يفعل الماء.





ثنائي إيثيل الإيثر: لا يذوب في الماء درجة الغليان 25-°س

الإيثانول: يذوب في الماء، يغلي على دلاجة 78°س

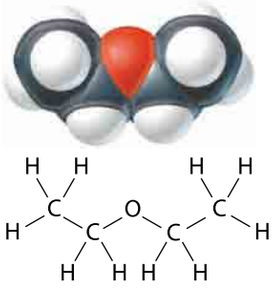
الشّكل 14.19
يرتبط الأكسجين في الكحول مثل الإيثانول بذرة كربون واحدة وذرة هيدروجين واحدة. الأكسجين في الإيثر، مثل ثنائي ميثيل الإيثر، يرتبط بذرتي كربون. وبسبب هذا الفرق، فإنّ الكحول والإيثرات اللذين لهما كتلة جزيئية متشابهة لهما خصائص فيزيائية مختلفة تمامًا.

الإيثرات (Ether) مركبات عضوية مرتبطة تركيبيًّا مع الكحول، ولكن ذرة الأكسجين في مجموعة الإيثر، لا ترتبط بذرة الكربون وذرة الهيدروجين بل بذرتي كربون. وكما نرى في الشّكل 14.19، فإنّ الإيثانول وثنائي ميثيل الإيثر لهما الصيغة الكيميائية C_2H_6O نفسها، ولكن خصائصهما الفيزيائية مختلفة كثيرًا. حيث إن الإيثانول سائل عند درجة حرارة الغرفة (درجة الغليان 78°س) ويمتزج جيدًا بالماء. أمّا ثنائي ميثيل الإيثر فهو غاز عند درجة حرارة الغرفة (درجة الغليان -25°س) كما أنّه أقلّ ذائبية في الماء.

إنّ الإيثرات لا تذوب جيدًّا في الماء لأنها غير قادرة على تكوين رابطة هيدروجينية قوية مع الماء دون مجموعة الهيدروكسيل (الجزء 8.15). إضافة إلى أنّ فصل جزيئات الإيثر بعضها عن بعض يتطلب قليلا من الطاقة دون رابطة الهيدروكسيل القطبية. ولهذا، يكون للإيثرات ذات الوزن الجزيئي المنخفض درجةُ غليان منخفضة وتتبخر بسرعة كبيرة.

ثنائي إيثيل الإيثر، المبين في الشّكل 15.19، كان من أوائل المطهرات. لقد اكتشفت صفاته التطهيرية في بدايات 1800م وعُدّ استخدامه ثورة في علم الجراحة. وبسبب تطايره العالي على درجات حرارة الغرفة، فإنّ استنشاقه يدخل بسرعة إلى مجاري الدم. ولأنّ ذائبية الإيثر في الماء متدنية وتطايره عالٍ، فإنّه يترك بسرعة مجاري الدم. وبسبب هذه الخصائص الفيزيائية، يمكن إدخال المريض الذي يتعرض للجراحة من التخدير (حالة فقدان الوعي) وإخراجه ببساطة بتنظيم الغازات المتنفسة. إنّ غازات التخدير الحديثة لها آثار جانبية قليلة أقلّ من ثنائي إيثيل الإيثر، ولكنها تستند إلى المبدأ نفسه.

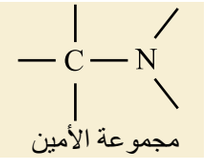
مجموعة الإيثر



ثنائي الإيثر درجة الغليان 35°س

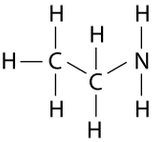
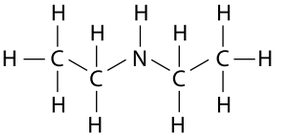
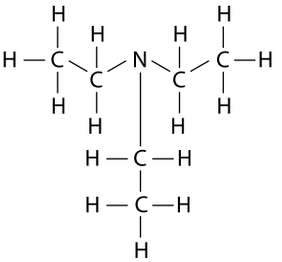
الشّكل 15.19
ثنائي إيثيل الإيثر هو الاسم العلمي "للإيثر". وقد استخدم تاريخيًّا مخدرًا .

5.19 الأمينات وأشباه القلويات



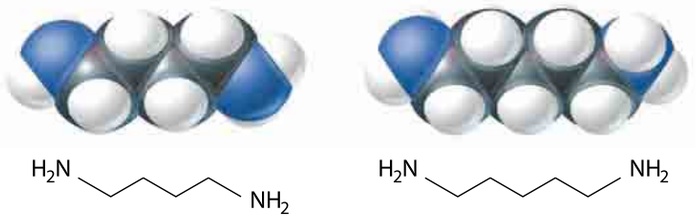
الأمينات مركبات عضوية تحتوي على مجموعة الأمين: ذرة نيتروجين مرتبطة بواحدة، أو اثنتين، أو ثلاثة كربونات مشبعة. تكون الأمينات عادة أقلّ ذائبية في الماء من الكحول؛ لأنّ رابطة النيتروجين – الهيدروجين لا تكون قطبية بمقدار رابطة الأكسجين – الهيدروجين. إنّ انخفاض قطبية الأمينات يعني أيضًا أنّ درجات غليانها عادة تكون أقلّ قليلًا من الكحول التي لها صيغة الكتلة نفسها. يدرج الجدول 3.19 ثلاثة أمينات بسيطة.

الجدول 3.19 ثلاثة أمينات بسيطة

التركيب	الاسم	درجة الانصهار (°س)	درجة الغليان (°س)
	إيثيل أمين	18-	17
	ثنائي إيثيل أمين	50-	55
	ثلاثي إيثيل أمين	7-	89

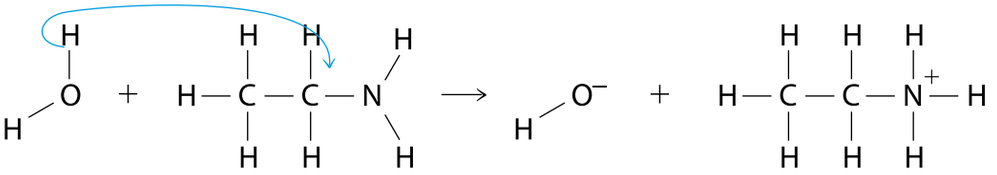
إنّ أحد أكثر الخصائص الفيزيائية المميزة للعديد من الأمينات ذات الصيغة - الكتلية القليلة هي رائحتها الكريهة. يبين الشّكل 16.19 اثنين من الأمينات التي لها أسماء ملائمة، هما: البوترسين، والكادافرين، التي يعزى إليهما رائحة اللحوم المتحللة بشكل جزئيّ.

إنّ الأمينات قاعدية لأنّ لدى ذرة النيتروجين استعدادًا لأخذ أيون الهيدروجين من الماء. كما يوضح الشّكل 17.19.



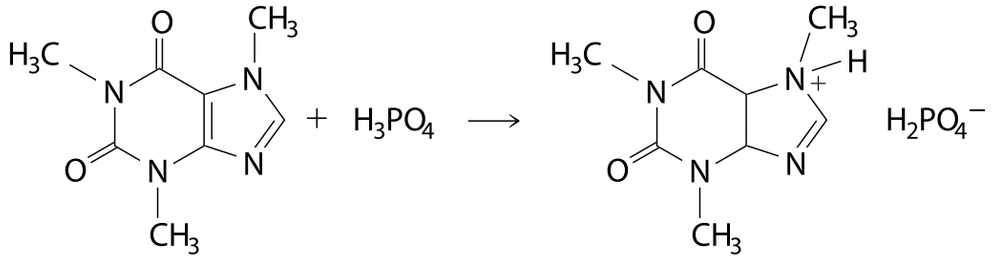
بيوترسين (1،4 - ثنائي أمينوبيوثان) كادفرين (5.1- ثنائي أمينوبنتان)

الشّكل 16.19
الأمينات ذات صيغة الكتلة المنخفضة مثل هذه تميل إلى أن تكون ذات رائحة منفرة.



الشّكل 17.19
يتصرف الإيثيل أمين كقاعدة، تأخذ أيون الهيدروجين من الماء ليصبح أيون الإيثيل أمونيوم. هذا التفاعل ينتج أيون الهيدروكسيل - HO والذي يزيد pH للمحلول.

تسمّى مجموعة من الجزيئات المعقدة التي توجد طبيعيًّا - وهي قاعدية لأنها تحتوي على ذرات نيتروجين- *أشباه القلويات*. ولأنّ للعديد من أشباه القلويات قيمة طبّية، فإنّ هناك اهتمامًا كبيرًا في استخلاص هذه المركبات من النباتات والأحياء البحرية التي تحتوي عليها. تتفاعل أشباه القلويات مع الحمض لتكوين ملح يذوب عادة في الماء بشكل جيد، كما هو مبين في الشّكل 18.19. وهذا مغاير لأشباه القلويات غير الأيونية، المعروفة *بالقاعدة الحرة*، والتي عادة لا تذوب في الماء.



الشّكل 18.19
أشباه القلويات هي قواعد تتفاعل مع الأحماض لتكوين الأملاح، ومثال عليها الكافيين المبين هنا، وهي تتفاعل مع حمض الفوسفوريك.

تحتوي معظم المستحضرات الصيدلانية التي تؤخذ عن طريق الفم على ذرات نيتروجين مغايرة بشكل ملح يذوب في الماء.

توجد معظم أشباه القلويات في الطبيعة ليس بالشّكل الحر من القاعدة، ولكن على شكل أملاح للأحماض الموجودة طبيعيًّا والمعروفة بأحماض التنيك. وهو حمض عضوي من مجموعة ذات الأساس – فينول، وله تركيب معقد. إنّ أملاح أشباه القلويات لهذه الأحماض عادة ما تذوب في الماء الساخن بشكل أفضل من ذوبانها في الماء البارد. يوجد الكافيين في القهوة والشاي على شكل ملح حمض التنيك. ولهذا، تكون القهوة والشاي أكثر فاعلية عند نقعها بالماء الساخن. كما يعرض الشّكل 19.19، حمض التنيك هو المسؤول عن الصبغة التي تتكوّن بسبب هذه المشروبات.

■ **نقطة فحص**

لماذا تحتوي معظم العصائر المحتوية على الكافيين على حمض الفوسفوريك أيضًا ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يتفاعل حمض الفوسفوريك، كما يبين الشّكل 18.19 مع الكافيين لتكوين ملح حمض الكافيين – فوسفور، والذي تكون ذائبيته عالية في الماء البارد أكثر من حمض التنيك المتوافر في الطبيعة.

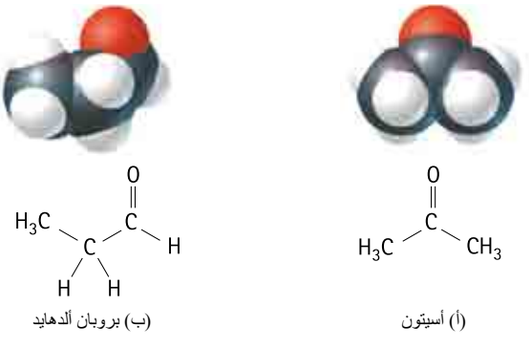
الشّكل 19.19
التنيك هو المسؤول عن الصبغة البنية في أكواب القهوة أو على أسنان شاربها. والتنيك حمض، يمكن إزالته بسرعة بمنظفات قاعدية. استخدم قليلًا من مبيض الغسل في الكوب، واغسل فمك بصودا الخبز.

■ 6.19 المركبات الكربونية (مركبات الكربونيل)

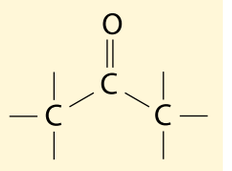
تتكون **مجموعة الكربونيل** من ذرة كربون مرتبطة برابطة ثنائية مع ذرة أكسجين. توجد في المركبات العضوية مثل الكيتونات، والألدهايدات، والأميدات، والأحماض الكربوكسيلية، والإيسترات.

الشّكل 20.19

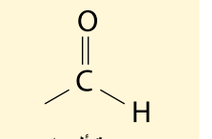
(أ) عندما يرتبط كربون مجموعة الكربونيل بذرتي كربون، ينتج الكيتون. مثل الأسيتون. (ب) عندما يرتبط كربون مجموعة الكربونيل في الأقل لذرة هيدروجين، تكون النتيجة ألدهايد، مثل بروبان ألدهايد.



(أ) أسيتون (ب) بروبان ألدهايد



مجموعة الكيتون



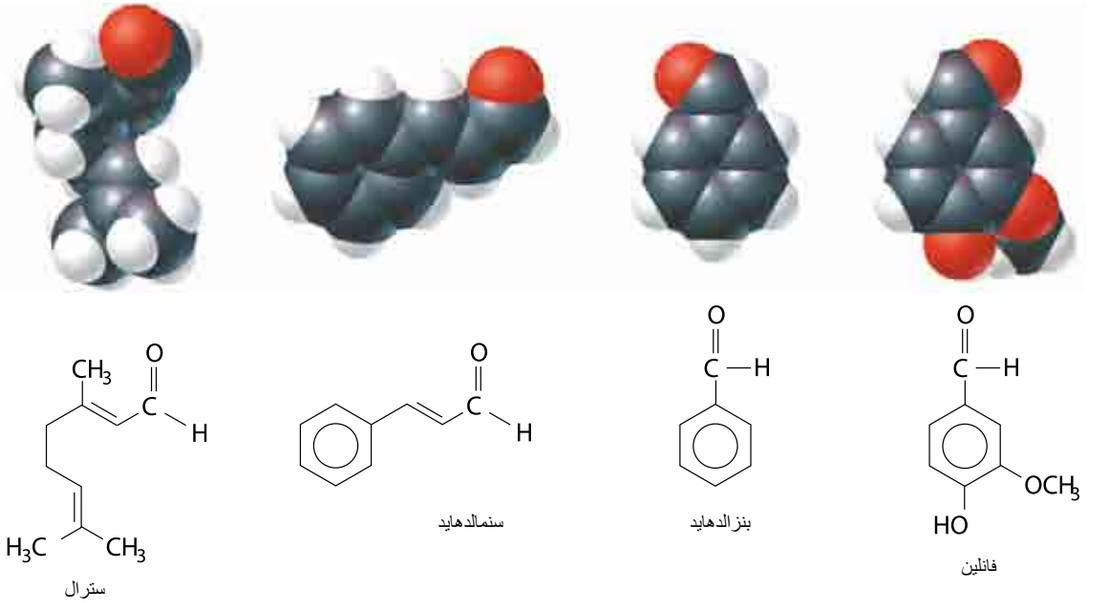
مجموعة ألدهايد

الكيتون *(Ketone)* هو جزيء عضويّ يحتوي على الكربونيل، والذي يكون فيه كربون الكربونيل مرتبطًا مع ذرتي كربون. ويعدّ الأسيتون مثالًا شائعًا للكيتون الذي يستخدم عادة في إزالة طلاء الأظافر. وهو مبين في الشّكل 20.19أ. في **الألدهايد *(Aldehydel)***، يرتبط كربون الكربونيل بذرة كربون واحدة وذرة هيدروجين واحدة، كما في الشّكل 20.19ب، أو بذرتي هيدورجين في حالات خاصة من الفورمالدهايد.

إنّ العديد من الألدهايدات عطرية، ومثال ذلك أن عددًا من الأزهار ذات رائحة سائغة لطيفة وسارة بسبب وجود ألدهايدات بسيطة. في حين تعود رائحة الليمون، والقرفة، واللوز إلى سترال الألدهايد، وسنما ألدهايد، وبنزين ألدهايد، على الترتيب. إنّ تركيب هذه الألدهايدات الثلاثة، مبينة في الشّكل 21.19. وهناك ألدهايد آخر هو الفانلين الذي ذكر في مقدمة هذا الفصل؛ فهو جزيء مفتاح النكهة، مشتق من بذور القرفة، ولكن استخلاصه مكلف جدًّا. إنّ تقليد نكهة الفانيلا أقلّ تكلفة لأنّه محلول لمركب الفانلين، والذي يصنع اقتصاديًّا من الثُّفايات الكيميائية من لبّ الخشب. لا يكون طعم الفانيلا الصناعية مماثلًا لطعم الفانيلا المستخلصة طبيعيًّا، ولكن، بالإضافة إلى الفانلين، فإنّ العديد من جزيئات النكهة تسهم في الطعم المعقد للفانيلا الطبيعية.

الشّكل 21.19

إنّ الألدهايد السبب في العديد من العطريات المألوفة.



سترال سنمالدهايد بنزالدهايد فانلين

إنّ العديد من الكتب التي طبعت قبل اكتشاف الورق الخالي من الحمض لها رائحة الفانيلا؛ لأنّ الفانيلا تتشكل وتنبعث مع الزمن. وتتسارع هذه العملية بالأحماض التي يحتوي عليها الورق.

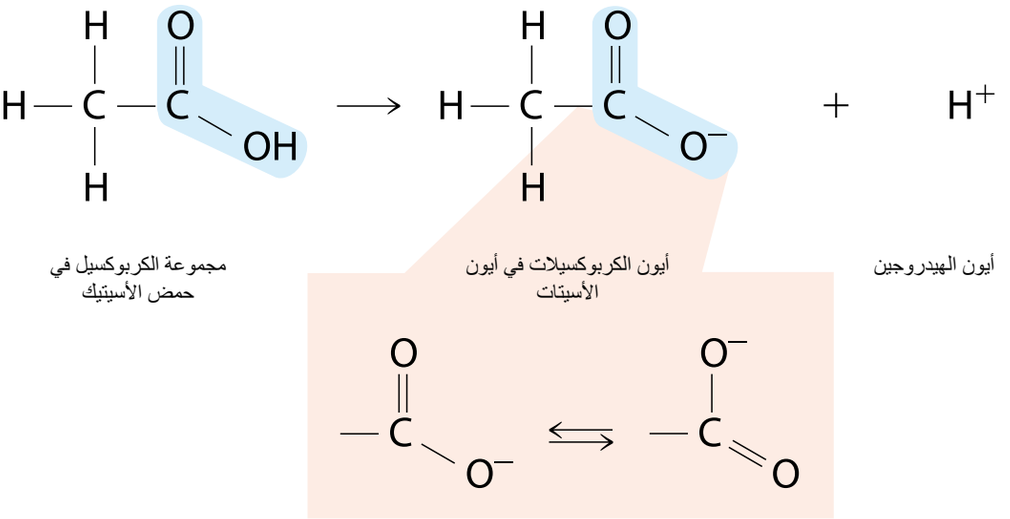
الأميد(Amide) جزيء عضوي يحتوي على الكربونيل، بحيث يرتبط كربون الكربونيل بذرة نيتروجين. والمكون النشط لمعظم المواد الطاردة للبعوض أميد اسمه الكيميائي هو *ن،ن* – ثنائي ميثيل – *ميتا*- تولويأميد. وهو المعروف تجاريًّا بـ DEET والمبين في الشّكل 22.19. هذا المركب حقيقة ليس مبيدًا للحشرات. ولكن. يسبب لبعض الحشرات -وخصوصًا الناموس- فقدان حاسة الاتجاه. وهو عمليًّا. يحمي من يضع DEET من لدغ الناموس.

حمض الكربوكسيلي(Carboxylic acid) جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الكربونيل، والذي ترتبط ذرة كربون الكربونيل فيه بمجموعة الهيدروكسيل. كما يوحي اسمه. فيمكن لهذه المجموعة أن تعطي أيون هيدروجين. لذا يكون الجزيء الذي يحتويه حمضيًّا. مثل حمض الأسيتيك، $C_2H_4O_2$، والذي يعدّ أهم مكونات الخلّ بعد الماء. يمكنك التّذكّر أنّ هذا المركب استخدم مثالًا على الحمض الضعيف في الفصل 18.

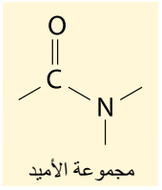
وكما هو الحال مع الفينولات، تنتج حمضية حمض الكربوكسيل في جزء منها عن قدرة المجموعة الوظيفية للتعامل مع شحنة الأيون السالبة التي تتشكل بعد التبرع بأيون الهيدروجين. وكما هو مبين في الشّكل 23.19، يتحول حمض الكربوكسيل إلى أيون الكربوكسيلات عندما يفقد أيون الهيدروجين. تنتقل الشحنة السالبة لأيون الكربوكسيلات جيئة وذهابًا بين ذرتي الأكسجين، ويساعد هذا الانتشار على إيواء الشحنة السالبة.

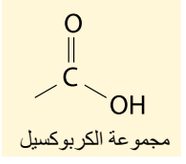
وهناك مثال مثير للاهتمام على المركب العضوي الذي يحتوي على كل من حمض الكربوكسيل والفينول، وهو حمض السلسليك. وهذا الحمض موجود في لحاء شجر الصفصاف. وموضح في الشّكل 24.19أ. ولقد استخدم في زمن ما مخفضًّا لآثار الحمى (خافض للحرارة). وهو مسكن. ولكنه يسبب الغثيان واضطراب المعدة بسبب حموضته العالية نسبيًّا، بسبب وجود مجموعتين وظيفيتين حمضيتين. وفي عام 1899م، أنتجت مؤسسة فريدريك باير Friedrich Bayer الشركة الألمانية نسخة معدلة من المادة الكيميائية لهذا المركب. بحيث تحولت مجموعة حمض الفينول إلى المجموعة الوظيفية الإيسترية. وكانت النتيجة أقلّ حمضية وأكثر احتمالًا وهو حمض أستيل السلسليك، وهو الاسم الكيميائي للأسبرين، المبين في الشّكل 24.19ب.

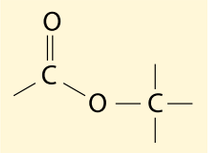
الإيستر(Ester) جزيء عضويّ يشبه حمض الكربوكسيليك إلا أنّه في الإيستر يستبدل هيدروكسيل الهيدروجين بالكربون. وعلى النقيض من حمض الكربوكسيليك، لا يكون الإيستر حمضيًّا بسبب نقص الهيدروجين من مجموعة الهيدروكسيل. ومثل الألدهايدات، للعديد من الإيسترات البسيطة روائح عطرية مميزة، وغالبا ما تستخدم منكهات. بعض الإيسترات المألوفة مدرجة في الجدول 4.19.

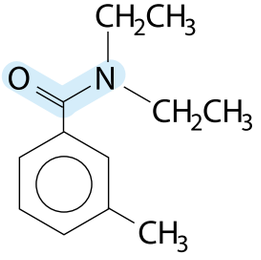


الشّكل 23.19
تتنقل الشحنة السالبة لأيون الكربوكسيل ذهابًا وإيابًا بين ذرتي الأكسجين في مجموعة الكربوكسيل.





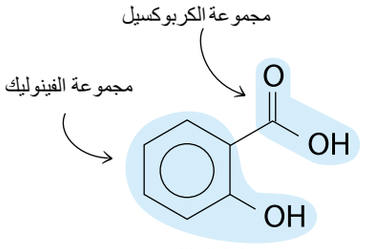




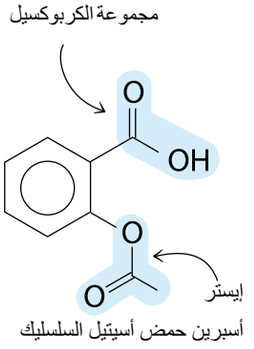
الشّكل 22.19
ن،ن – ثنائي ميثيل – ميتا- تولويأميد مثال على الأميد. تحتوي الأميدات على مجموعة الأميد مبين ومسلط الضوء بالأزرق عليه.

الشكل 24.19

(أ) حمض السلسليك الذي يوجد في لحاء شجر الصفصاف مثال على الجزيء الذي يحتوي على مجموعتي كُلّ من الكربوكسيل والفينوليك. (ب) الأسبرين، حمض أسيتيل السلسيلك أقلّ حموضة من حمض سلسليك؛ لأنه لم يعد يحتوي على مجموعة الفينوليك الحمضية، والتي تم تحويلها إلى إيستر.



(أ)

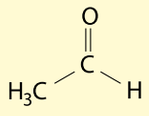


(ب)

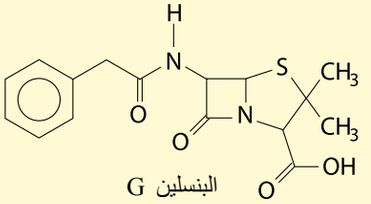
نحن نأكل المواد الكيميائية العضوية يوميًا وفي الحقيقة فإنّ المواد الكيميائية العضوية هي *الوحيدة* التي نأكلها، ما عدا بعض المعادن مثل أيونات الصوديوم والكالسيوم.

■ نقطة فحص

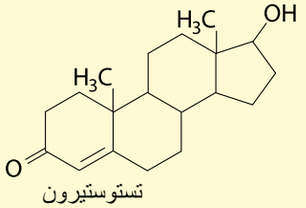
حدّد المجموعات الوظيفية في الجزيئات الأربعة الآتية: (تجاهل مجموعة الكبريت في البنسلين)



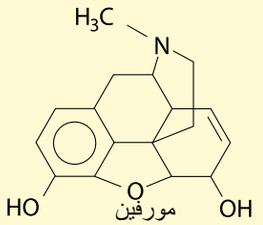
اسيتالدهايد



البنسلين G



تستوستيرون

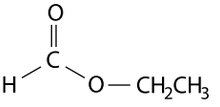
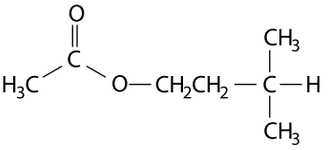
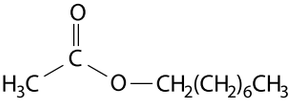
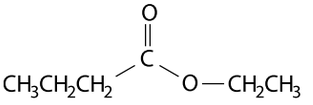
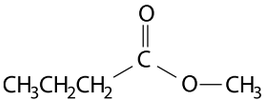
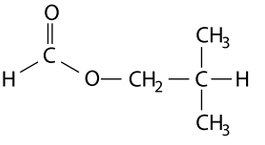
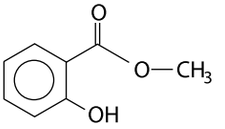


مورفين

هل كانت هذه إجابتك؟

أسيتيل ألدهايد: ألدهايد. البنسلين: أميد (مجموعتا أميد)، حمض الكربوكسيل. تستوستيرون: الكحول والكيتون. المورفين: الكحول، الفينول، الإيثر والأمين.

الجدول 4.19 بعض الإيسترات ونكهاتها وروائحها

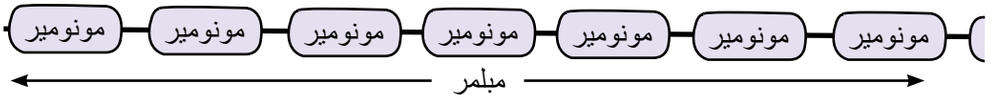
التركيب	الاسم	النكهة/الرائحة
	فورمات الإيثيل	شراب مسكر
	أسيتات الآيزوبنتل	موز
	أسيتات الأوكتل	برتقال
	بيوتانوات الإيثيل	أناناس
	بيوتانوات ألميثل	تفاح
	فورمات الآيزوبيوتيل	توت العليق
	سلسلات الميثيل	شاي كندا

لمعلوماتك

■ في عام 1800 أنتج معظم حمض السلسليك المستهلك من الناس من قطران الفحم وليس من لحاء الصفصاف. يكون للقطران المتبقي في حمض السلسليك طعم كريه. وباختاد هذا الطعم مع تهيّج المعدة الذي يسببه حمض السلسليك، فإنّ العديد من المرضى يرون أنّ التداوي بحمض السلسليك أسوأ من المرض. أضاف الكيميائي فيلكس هوفمان Hoffman الذي كان يعمل في باير مجموعة الأسيتيل إلى مجموعة الفينول في حمض السلسليك عام 1897م. ووفقا لباير Bayer فقد تأثر هوفمان بحالة والده الذي كان يشكو من الآلام الجانبية لحمض السلسليك. ولتسويق الدواء الجديد: استخدم هوفمان اسم *الأسبرين*: حيث يدلّ المقطع الأول على الأسيتيل والمقطع الأوسط (سبر) على الأكليكية الأسبيرية (نوع من الورد)، لمصدر آخر على حمض السلسليك. ويستخدم المقطع الأخير ''ين'' ملحقًا للمادة الدوائية. بعد الحرب العالمية الأولى، فقدت الشركة الألمانية باير الحق في استخدام اسم الأسبرين. ولم تستطع استرداد هذا الحق حتى عام 1994م بثمن باهظ جدًّا، بليون دولار.

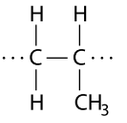
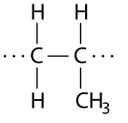
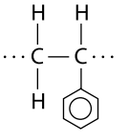
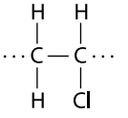
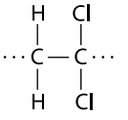
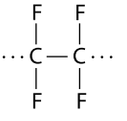
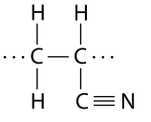
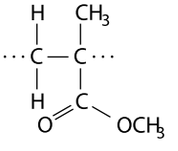
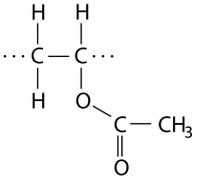
■ 7.19 المبلمرات

المبلمرات جزيئات طويلة جدًّا، وتتكون من وحدات جزيئية متكررة تسمى **مونومرات**. كما يوضح الشّكل 25.19. يكون للمونومرات تركيب بسيط نسبيًّا يتكوّن من4- 100 ذرة لكلّ جزيء. عند تسلسل المونومرات معًا، فإنها تكوّن مبلمرات تتشكّل من مئات الآلاف من الذرات لكلّ جزيء. هذه الجزيئات الكبيرة تبقى أصغر من أن ترى بالعين المجردة. ولكنها مع ذلك عملاقة في العالم دون المجهري – لو كان سمك جزيء المبلمر العادي سمك خيط طائرة الورق، فسيكون طولها 1كم.



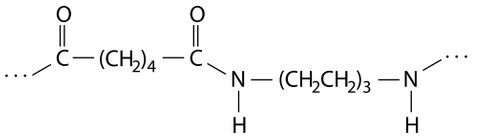
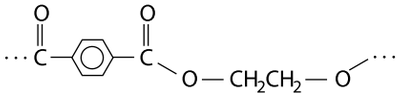
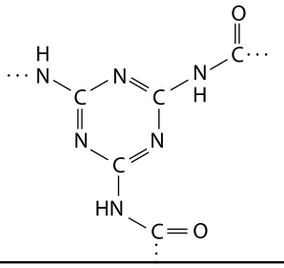
الشّكل 25.19
المبلمر هو جزيء طويل يتكون من العديد من جزيئات المونومرات الصغيرة المترابطة.

الجدول 5.19 المبلمرات المضافة والمكثفة

المبلمرات المضافة	الوحدة المتكررة	الاستخدامات المألوفة	رمز إعادة التدوير
متعددة الإثيلين (PE)		العلب،الأكياس البلاستيكية	
متعددة البرولين (PP)		السجاد الداخلي - والخارجي	
متعددة ستايرين (PS)		الأدوات البلاستيكية، العزل	
متعددة كلوريد (PVC)		الأنابيب، ستائر الحمامات	
متعددة كلوريد الفينيلين (ساران)		الغلاف البلاستيكي	—
متعددة رباعي فلوريد البروبلين (التفلون)		غطاء غير لاصق	—
متعددة الأكريلونيترايل (أورلون)		الدهانات، اللدائن	—
متعددة ميثيل الأكريلات الميثيل		كرات البولنج، النوافذ	—
متعددة أسيتات الفينيل (PVA)		العلكة، الغراء	—

(يتبع)

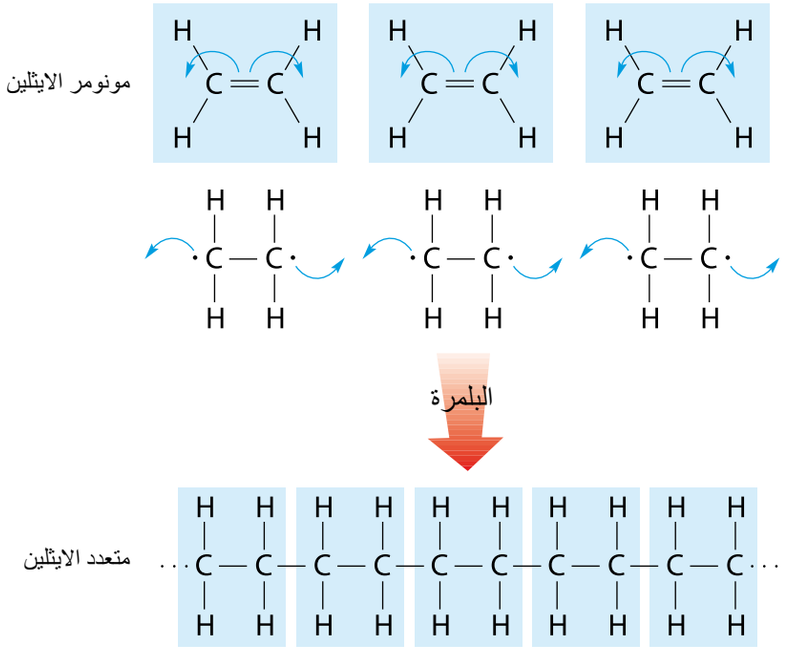
الجدول 5.19 تابع

المبلمرات المضافة	الوحدة المتكررة	الاستخدامات المألوفة	رمز إعادة التدوير
النيلون		السجاد، الملابس	—
متعدد الإيثلين تيرفثالات		العلب البلاستيكية، الملابس	PET
حبيبات ميلامين-فورمالدهايد (ميلماك، فورمايكا)		الصحون، غلف الطاولات	—

إنّ العديد من الجزيئات التي تشكّل الكائن الحيّ هي مبلمرات، بما فيها الـ (د.ن.ا) (DNA)، والبروتينات، والسليلوز في النباتات، والكربوهيدرات المعقدة في الغذاء النشوي. أمّا الآن، فسنركز على المبلمرات التي صنعها الإنسان، فيما يُعرف بالمبلمرات الصناعية، والتي تشكّل صنفًا من المواد والمعروفة بالبلاستيك.

سنبدأ دراستنا لنوعين رئيسين من المبلمرات الصناعية التي تستخدم اليوم وهما: 1- *المبلمرات المضافة*. 2- *المبلمرات المكثفة*.

كما هو مبين في الجدول 5.19، فإن للمبلمرات المضافة والمكثفة استخدامات واسعة مختلفة. تعم المبلمرات والتي هي من تصميم الإنسان فقط أشكال الحياة العصرية. في الولايات المتحدة مثلًا، تخطّت المبلمرات الصناعية الفولاذ بوصفها مادة ذات استخدامات واسعة.



الشّكل 26.19

يتكوّن متعدد البولي إيثلين المضاف عندما تتوزع إلكترونات الرابطة المزدوجة في جزيئات مونومر الإيثلين، وتصبح غير مزدوجة، ثم ترتبط مع إلكترونات مفردة في ذرة الكربون المجاورة لتشكّل رابطة تساهمية جديدة تربط المونومرين معًا.

(أ) سلاسل المركب HDPE (ب) سلاسل المركب LDPE

الشّكل 27.19
(أ) سلاسل متعدد الإيثلين HDPE تستطيع أن تترتب بشكل متقارب معًا مثل سلاسل المعكرونة غير المطبوخة. (ب) سلاسل متعددة الإيثلين LDPE المتفرعة تمنع السلاسل من الترتيب الجيد.

المبلمرات المضافة (Addition Polymers)

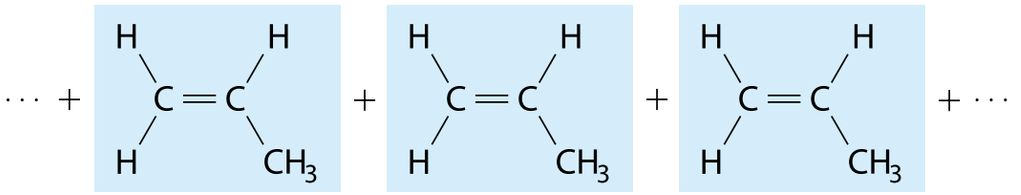
تتشكّل **المبلمرات المضافة**، ببساطة، بتوصيل وحدات المونومرات. ولحدوث ذلك، يجب أن يحوي كلّ مونمر رابطة ثنائية على الأقلّ. كما يبين الشّكل 26.19، تحدث البلمرة عندما تنفصل إلكترونات من كلّ رابطة ثنائية بعضها عن بعضه لتشكيل روابط تساهمية جديدة مع جزيئات المونومر المجاور. خلال هذه العملية، لا تفقد أيّ من الذرات. لذا فإنّ الكتلة الإجمالية للمبلمر تساوي مجموع كتل المونومرات كلّها.

ينتج نحو 12 مليون طن من متعدد الإيثيلين سنويًّا في الولايات المتحدة، وهذا يعني 90 رطلًا تقريبًا لكلّ مواطن هناك. إنّ المونومر الذي يصنع منه الإيثلين، هو هيدروكربون غير مشبع ينتج بكميات كبيرة من البترول.

ينتج الشّكل الرئيس لمتعدد الإيثلين باستخدام محفّزات وشروط تفاعل مختلفة. يبين الشّكل 27.19أ رسمًا تخطيطيًّا لمتعدد الإيثلين العالي الكثافة (HDPE)، يتكون من جدائل طويلة من سلسلة مستقيمة من الجزيئات مرصوصة جيدًا معًا. يجعل الصّفّ المتراصّ الجدائل في HDPE صلبة نسبيًّا، بحيث يصبح البلاستيك متينًا، ويكون مفيدًا في صنع أشياء كالزجاجات وأباريق الحليب. إنّ متعدد الإيثلين قليل الكثافة (LDPE)، المبين في الشّكل 27.19ب، يصنع من جدائل من سلاسل كثيرة التفرع. وهذا البناء يمنع الجدائل من التّراصّ بعضها فوق بعض. يجعل LDPE أكثر انحناءً من HDPE ويعطيها درجة انصهار أقلّ. تحتفظ HDPE بشكلها في الماء المغلي، في حين تتشوه الـ LDPE. وتكون LDPE أكثر فائدة للأصناف مثل الأكياس الزجاجية، وأغشية التصوير، وعزل الأسلاك الكهربائية.

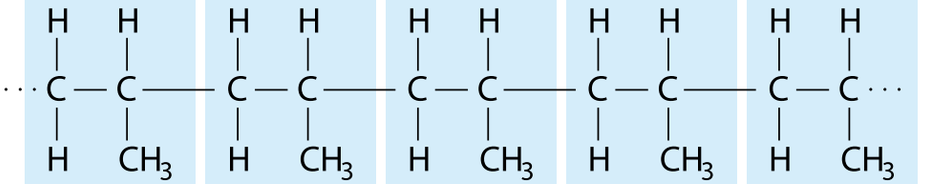
تصنع المبلمرات المضافة الأخرى باستخدام مونومرات مختلفة. المتطلب الوحيد هو وجوب احتواء المونومر على رابطة ثنائية. مثلًا، مونومر البروبلين ينتج متعدد البروبلين، كما هو مبين في الشّكل 28.19. متعدد البروبلين هو مادة بلاستيكية متينة مفيدة في صنع الأنابيب، والحقائب ذات الأغلفة الصّلبة، وقطع الطائرات. إنّ ألياف متعدد البروبلين مفيدة كمواد تنجيد، وللسجاد داخل البيوت وخارجها، وحتى الملابس الداخلية الحرارية.

مونومر بروبلين

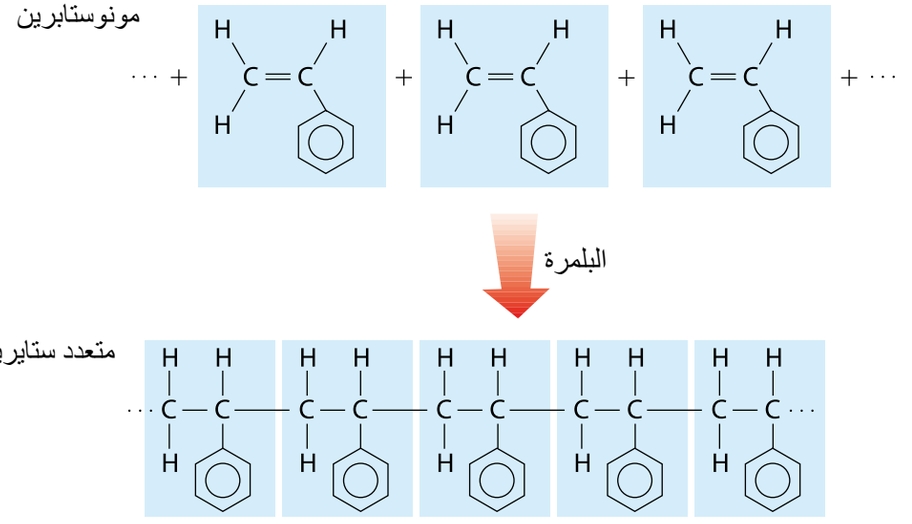


البلمرة

متعدد البروبلين



الشّكل 28.19
يتبلمر مونومر بروبلين ليكون متعدد البروبلين.

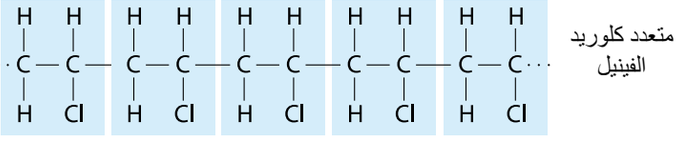


الشّكل 29.19
يتبلمر مونومر الستايرين لتكوين البولسترين.

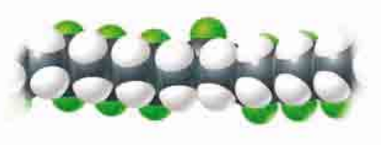
يبين الشّكل 29.19 أنه باستخدام ستايرين كمونومر ينتج متعدد الستايرين (البولسترين). تصنع الأكواب البلاستيكية الشفافة من البولسترين. كما هو الحال من الآلاف الأخرى من أصناف الأواني المنزلية. يولد نفخ الغاز في سائل البولسترين الستايروفوم. والذي يستخدم بكثرة في صناعة أكواب القهوة. ومواد الشحن. والعزل.

إنّ المبلمر المضاف كلوريد البوليفينلين (الاسم التجاري ساران) المبين في الشّكل 31.29. يستخدم في صناعة البلاستيك لتغليف الغذاء. يساعد كبر حجم ذرات الكلور في هذا المبلمر في الالتصاق بالسطوح مثل الزجاج من خلال جذب الثناقطبي – الثناقطبي المستحث. كما نوقش في الجزء 8.15.

المبلمر المضاف متعدد رباعي فلورو الإيثلين المبين في الشّكل 32.19. والمعروف بالتيفلون. في بالمقابل مع الساران المحتوي على الكلور. فإن التيفلون المحتوي على الفلور له سطح غير لاصق؛ لأنّ ذرات الفلور لا تميل إلى التعرض إلى أيّ جذب جزيئي. إضافة إلى ذلك. وبسبب أنّ روابط الكربون – فلور قوية بشكل غير عادي. يمكن أن يسخن التيفلون إلى درجات حرارة عالية قبل أن يتحلل. إن هذه الخصائص تجعل التيفلون مثاليًّا لطلاء سطوح أواني الطهو. كما أنه خامل نسبيًّا. ولهذا. تشحن العديد من المواد الكيميائية الحاتة أو تخزّن في حاويات من التيفلون.

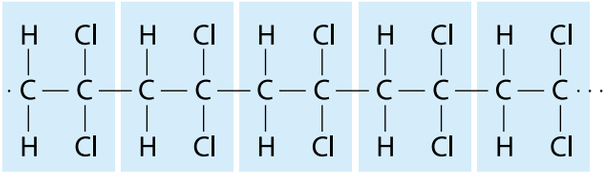


الشّكل 30.19
الـ PVC صلب وسهل التقولب، ولهذا يستخدم في صناعة العديد من الأواني المنزلية.



الشّكل 31.19
ذرة الكلور كبيرة الحجم في متعدد كلوريد البوليفينلين تجعله لاصقًا.

متعدد كلوريد الفينليدن (ساران)



لمعلوماتك

■ إذن، إذا كان لا يلتصق شيء بالتيفلون، فكيف يصنع التيفلون ليلتصق بالوعاء كغلاف؟ هذا هو سرّ الصنعة، ولكن الإشاعة توضح أنّ هناك ندبًا في الوعاء المعدني تساعد التيفلون على الالتصاق فيزيائيًا. بالطبع، نحن نعلم أنه من السهل كشط الوعاء، ولهذا يوصي المصنعون بتحريك الطعام بملعقة خشبية.

■ **نقطة فحص**

ما الشيء المشترك بين المونومرات جميعها التي تستخدم لتصنيع المبلمرات المضافة؟

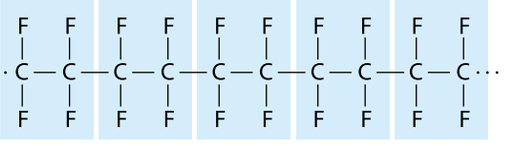
هل كانت هذه إجابتك؟

رابطة تساهمية ثنائية بين ذرتي كربون.

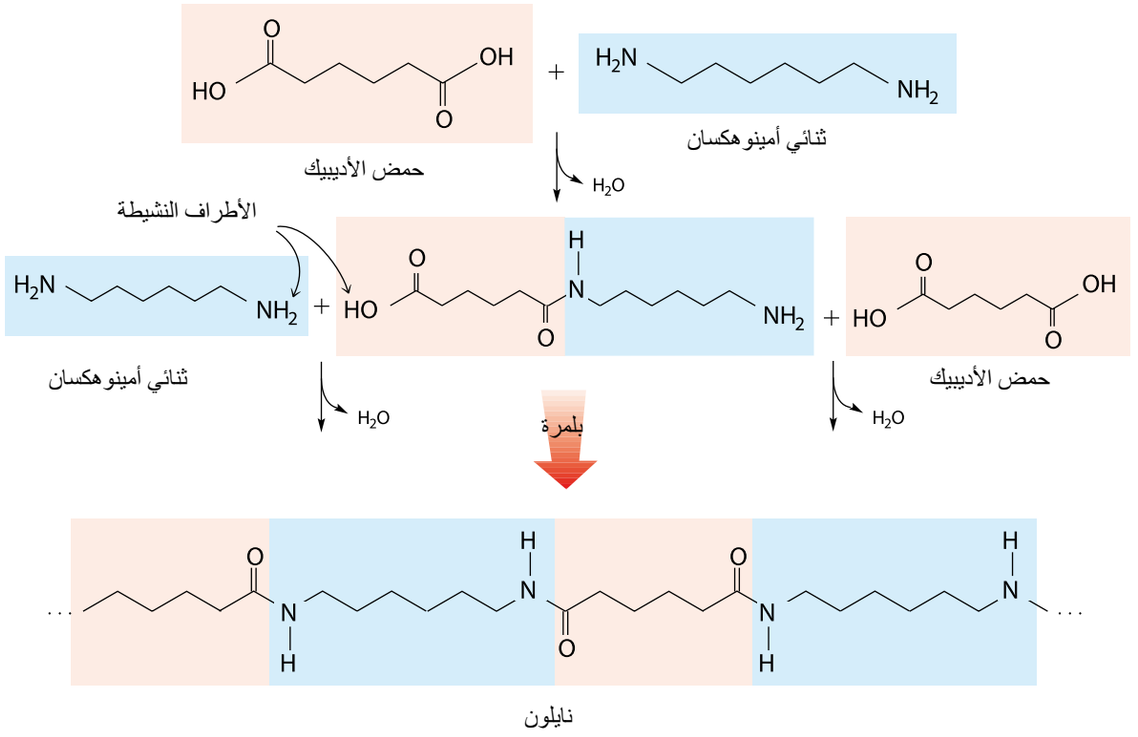
المبلمرات المكثفة (Condensation Polymers)

تتكوّن **المبلمرات المكثفة** عندما يتبع توصيل وحدات المونومر بفقدان جزيء صغير، مثل الماء أو حمض الكلوريك. يجب أن تكون مجموعة وظيفية عند نهاية أيّ مونومر قادر على أن يصبح مبلمرًا مضافًا. عندما يلتقي مونومران من هذا النوع معًا لتشكيل مبلمر مضاف، ترتبط المجموعة الوظيفية من المونومر الأول مع المجموعة الوظيفية للمونومر الآخر، وتكون النتيجة وحدتي مونومر في نهايتيهما مجموعتان وظيفيتان، واحدة من كلّ من المونومرَين الأصليين. لكلّ مجموعة وظيفية من وحدة ثنائي- المونومر حرية الارتباط مع مجموعة وظيفية لمونومر ثالث، وبعدها مع رابع وهكذا. وبهذه الطريقة تبنى سلسلة المبلمر.

الشّكل 32.19
ذرة الفلور في متعدد رباعي فلوروالإيثلين تميل إلى عدم امتلاك تجاذب جزيئيّ مما يجعل هذا المبلمر المضاف يستخدم كمادة طلاء غير لاصقة وشحمة.



متعدد رباعي فلوروإيثلين



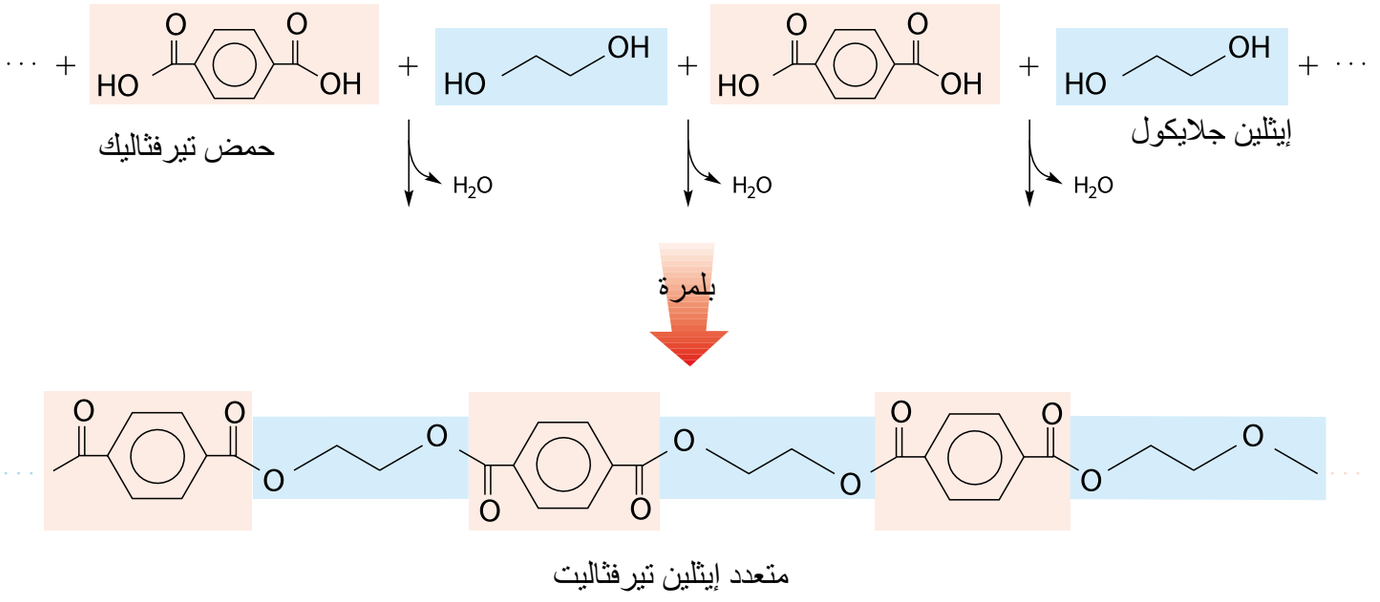
الشّكل 33.19

يتبلمر حمض الأديبيك مع ثنائي أمينو هكسان ليشكل النايلون كمبلمر مكثف.

يبيّن الشّكل 33.19 عملية تكثيف المبلمر المسمى النيلون، والذي صنع عام 1937م على يد الكيميائي ولاس كاروثيرس (1896-1937) Wallace Carothers في شركة DuPont. يتكوّن هذا المبلمر من مونومرين مختلفين، والذي يصنفه *كمبلمر مشترك*. ويعدّ حمض الأديبيك واحدًا من هذه المونومرات، وهو يحتوي في طرفيه على مجموعتين وظيفيتين، كلتاهما من مجموعات الكربوكسيل. والمونومر الثاني هو سداسي ميثلين ثنائي الأمين، والذي تكون فيه مجموعتا الأمين متفاعلتين. ويتفاعل أحد أطراف جزيء حمض الأديبيك وطرف جزيء سداسي ميثيل الأمين معًا، متخلصة من جزيء الماء في هذه العملية. وبعد وصل المونومرين معًا تبقى الأطراف جاهزة لتفاعلات أخرى تؤدي إلى نمو سلسلة المبلمر. وإضافة إلى الاستخدامات في الملابس المحبوكة، فإنّ للنايلون استخدامات مفيدة في صناعة الحبال، والمظلات، والملابس والسجاد.

وهناك مبلمر كثيف آخر له استخدامات عديدة هو متعدد تيرفثالات الإيثيلين (PET)، والذي يتكون من اتحاد مبلمرات إيثلين جلايكول وحمض التيرفايثلك، كما هو مبين في الشّكل 34.19. إنّ علب الصودا البلاستيكية تتكون من هذا المبلمر. وتستخدم ألياف الـ PET والتي تسمى مايلار، والتي يمكن تغليفها بجسيمات معدنية لصناعة أشرطة التسجيل المغناطيسية، والبالونات التي تبدو كمعدنية، والتي تراها في معظم المخازن التجارية.

تستطيع المونومرات التي تحتوي على ثلاث مجموعات وظيفية متفاعلة أن تكون سلاسل مبلمرة. ويمكن أن تكون هذه السلاسل مغلقة، ومكونة شبكة صلبة في ثلاثة أبعاد تعطي قوة كبيرة ومرونة عالية للمبلمر. وعندما تتشكّل هذه المبلمرات الكثيفة، عندئذٍ لا يمكن إعادة إذابتها أو تشكيلها، والذي يجعلها مجموعة قاسية، أو مبلمرة، صلدة. تصنع الأواني البلاستيكية الصلبة (ملماك)، والفورمايكا من هذه المواد. كما أنّ هناك مبلمرًا مشابهًا هو البكالايت، المصنوع من الفورمالدهايد والفينولات التي تحتوي على ذرات أكسجين متعددة. وهو يستخدم لإلصاق الخشب الرقائقي والخشب الرقيق. وقد صنعت الباللايت في أوائل عام 1900م، وهو أول مبلمر يستخدم بشكل واسع.



الشّكل 34.19

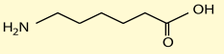
يتبلمر حمض تيرفثاليك وإيثلين جلايكول ليشكلا مبلمرًا مكثفًا هو متعدد إيثلين تيرفثاليت.

لمعلوماتك

■ يمكن جعل المبلمرات الصلبة مثل الـ PVC لينة، وذلك بدمج جسيمات صغيرة تسمى اللدائن. مثلًا، الـ PVC النقي مادة صلبة ممتازة لصنع الأنابيب. وإذا مُزجت باللدائن فإنّ الـ PVC تصبح لينة ومرنة ومفيدة في صناعة ستائر الحمامات، والألعاب، والعديد من المنتجات الموجودة في الأدوات المنزلية. إحدى اللدائن كثيرة الاستخدام هي المسماة اللافثالات، والتي تبين أنّ بعضها يمنع تطور الأعضاء التناسلية، وخصوصًا عند الجنين والطفل النامي. تعمل الحكومات والصناعيون على وقف هذه اللدائن. ولكن تبيّن أنّ بعض هذه اللافثالات مثل DINP أنها آمنة. ويبقى سؤال رهن الإجابة وهو: هل يجب وقف اللافثالات جميعها لأسباب سياسية واجتماعية، أم فقط تلك التي تسبب الأذى؟

■ **نقطة فحص**

إنّ تركيب حمض 6 - أمينو حمض الهكسانويك هو:

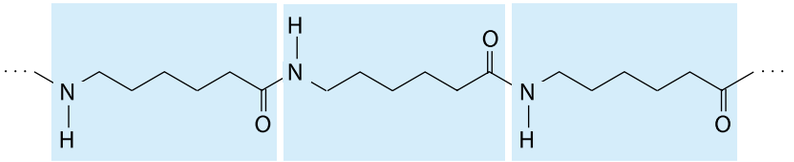


هل هذا المركب مناسب لتشكيل مبلمر كثيف؟

إذا كان كذلك فما تركيب المبلمر الناتج؟ وما الجزيء الصغير الذي ينفصل خلال هذه العملية؟

هل كانت هذه إجابتك؟

نعم؛ لأنّ لهذا المركب نهايتين متفاعلتين. وأنت تعلم أنّ النهايتين متفاعلتان لأنهما النهايتان المبينتان في الشّكل 33.19. الفرق الوحيد هنا هو أنّ كلتا النهايتين المتفاعلتين للجزيء نفسه. يتحد المونومر بفضل جزيء الماء لتكوين المبلمر المعروف بالنايلون - 6.



لقد نمت صناعة المبلمرات الصناعية بشكل كبير جدًّا خلال نصف القرن الماضي. وازداد إنتاجها في الولايات المتحدة وحدها من 3 بلايين رطل عام 1925م إلى أكثر من 100 بليون رطل عام 2003. إنّ وجود صنف مستهلك لا يحتوي على بلاستيك بطريقة أو أخرى اليوم يعدّ حَدَثًا. جرب أن تجد صنفًا ما.

في المستقبل، كن على استعداد لأنواع جديدة من المبلمرات ذات المجال الواسع من الخصائص الرائعة. إنّ أحد هذه التطبيقات المثيرة هو ما تشاهده في الشّكل 35.19. لدينا الآن مبلمرات موصلة للكهرباء، وأخرى تبثّ الضّوء، وأخرى تستبدل بأجزاء الجسم، وأخرى أكثر قوة وأخف من الفولاذ كثيرًا.

الشّكل 35.19
يمكن الآن صناعة شاشات عرض فيديو مسطحة وأخرى مرنة من المبلمرات

تخيل مبلمرًا صناعيًّا يحاكي التمثيل الضّوئيّ بتحويل الطّاقة الشّمسيّة إلى طاقة كيميائيّة، أو تلك التي لها كفاءة لفصل الماء العذب عن ماء البحر. هذه ليست أحلامًا، بل هي حقائق برهنها الكيميائيون في المختبر: المبلمرات تحمل الخير للمستقبل.

ملخّص المصطلحات

الكيمياء العضوية *Organic chemistry*: دراسة المركبات التي تحتوي على الكربون.

الهيدروكربون *Hydrocarbon*: مركب كيميائي يحتوي على الكربون والهيدروجين فقط.

الهيئات *Configurations*: مصطلح يستخدم لوصف كيفية اتصال الذرات ضمن الجزيء. مثلًا، يتكون التركيب الأيزوميري من العدد نفسه والنوع نفسه من الذرات، ولكن لهما هيئات مختلفة.

التركيب الأيزوميري *Structural isomers*: جزيئات لها الصيغة الجزيئية نفسها، ولكنها تختلف في الهيئة.

الامتثال *Conformation*: واحد من مجال واسع من الاتجاهات الفضائية المحتملة لهيئة معينة.

الهيدروكربون المشبع *Saturated hydrocarbon*: الهيدروكربون الذي لا يتضمن روابط تساهمية متعددة، وتكون ذرة كربون مرتبطة بأربع ذرات أخرى.

الهيدروكربون غير المشبع *Unsaturated hydrocarbon*: الهيدروكربون الذي يتضمن رابطة تساهمية متعددة واحدة على الأقل.

المركب العطريّ *Aromatic compound*: أيّ جزيء عضوي يحتوي على حلقة بنزين.

الذّرّة المغايرة *Heteroatom*: أيّ ذرة غير الكربون والهيدروجين في الجزيء العضوي.

المجموعة الوظيفيّة *Functional group*: اتحاد معين من الذرات التي تسلك سلوك وحدة في الجزيء العضوي.

الكحول *Alcohol*: جزيء عضويّ يحتوي على مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بذرة كربون مشبعة.

الفينول *Phenol*: جزيء عضويّ يحتوي على مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بحلقة بنزين.

الإيثر *Ether*: جزيء عضويّ يحتوي على ذرة أكسجين مرتبطة بذرتي كربون.

الأمين *Amine*: جزيء عضويّ يحتوي على ذرة نيتروجين مرتبطة بواحدة أو أكثر من ذرات الكربون المشبعة.

مجموعة الكربونيل *Carbonyl group*: ذرة كربون مرتبطة ثنائيًّا مع ذرة أكسجين، موجودة في الكيتونات، والألدهايدات، والأميدات، وحوامض الكربوكسيليك، والإيسترات.

الكيتون *Ketone*: جزيء عضويّ يحتوي على مجموعة الكربونيل، الكربون فيها مرتبط مع ذرتي كربون.

الألدهايد *Aldehyde*: جزيء عضويّ يحتوي على مجموعة الكربونيل، وترتبط ذرة الكربون فيه إما بذرة كربون واحدة وذرة هيدروجين واحدة أو بذرتي هيدروجين.

الأميد *Amide*: جزيء عضويّ يحتوي على مجموعة الكربونيل، ويرتبط الكربون فيه بذرة نيتروجين.

حمض الكربوكسيليك *Carboxylic acid*: جزيء عضويّ يحتوي على مجموعة الكربونيل، ويحتوي الكربون فيه على مجموعة الهيدروكسيل.

الإيستر *Ester*: جزيء عضويّ يحتوي على مجموعة الكربونيل، وترتبط ذرة الكربون فيه بذرة كربون واحدة وذرة أكسجين واحدة مرتبطة بذرة كربون أخرى.

المبلمر *Polymer*: جزيء عضويّ طويل مصنوع من العديد من الوحدات المتكررة.

المونومرات *Monomers*: وحدات جزيئية صغيرة، تتكون المبلمرات منها.

المبلمر المضاف *Addition polymer*: المبلمر المكون من وصل وحدات المونومر، بحيث لا تفقد ذرات عند تشكيل المبلمر.

مبلمر التكثيف *Condensation polymer*: المبلمر المكوّن من وصل وحدات المونومر مصحوبًا بفقدان جزيئات صغيرة، مثل الماء.

أسئلة مراجعة

1.19 مركبات كربون الهيدروجين (الهيدروكربونات)

1. اذكر بعض الأمثلة على الكربوهيدرات.
2. ما بعض استعمالات الكربوهيدرات؟
3. كيف تختلف الآيزومرات التركيبية بعضها عن بعض؟
4. فيم يتشابه تركيبا امتثالين؟
5. ما الخاصية الفيزيائية للهيدروكربونات المستخدمة في التقطير الجزيئيّ؟
6. ما نوع الهيدروكربون الأكثر وفرة في الجازولين ذي الأوكتان العالي؟
7. ما عدد الذرات المرتبطة بذرة الكربون المشبع؟

2.19 الهيدروكربونات غير المشبعة

8. ما الفرق بين الهيدروكربون المشبع وغير المشبع؟
9. كم يجب أن يكون عدد الروابط المتعددة في الهيدروكربون حتى يصنّف على أنه غير مشبع؟
10. ما نوع الحلقة التي تحتويها المركبات العطرية؟

3.19 المجموعات الوظيفية

11. ما الذرة المغايرة؟
12. لماذا تصنع الذرة المغايرة كلّ هذه الفروق في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للجزيء العضوي؟

4.19 الكحولات، الفينولات والإيثرات

13. أيّ هذه المركبات له درجة غليان أعلى، ولماذا؟

$CH_3CH_2CH_2CH_3$

$CH_3CH_2CH_2CH_2 - OH$

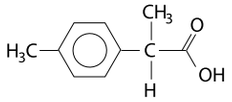
14. لماذا يذوب الكحول ذو الصيغة الكتلية المنخفضة في الماء؟
15. ما الذي يميز الكحول عن الفينول؟
16. ما الذي يميز الكحول عن الإيثر؟

5.19 الأمينات وأشباه القلويات

17. ما الذرة المغايرة المميزة للأمين؟
18. هل يميل الأمين إلى أن يكون حمضيّا، أم متعادلًا، أم قاعديّا؟
19. هل توجد أشباه قلويات في الطبيعة؟
20. هاتِ بعض الأمثلة على أشباه القلويات.

6.19 مركبات الكربونيل

21. ما العناصر التي تصنع منها مجموعة الكربونيل؟
22. فيم تتشابه الكينونات والألدهايدات، وفيم تختلف؟
23. ما الخاصية المفيدة جارِيًّا للألدهايدات؟
24. فيم تتشابه الحموض الكربوكسيلية والأميدات، وفيم تختلف؟
25. من أيّ مركب موجود في الطبيعة يحضر الأسبرين؟
26. صنّف المركبات الآتية إلى هيدروكربون، أو كحول، أو حمض الكربوكسيليك:



$CH_3CH_2CH_2CH_3$

$CH_3CH_2CH_2CH_2 - OH$

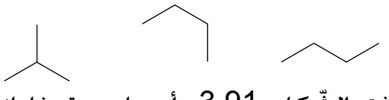
7.19 المبلمرات

27. ماذا يحدث للرابطة الثنائية للمونومر المشترك في تكوين مبلمر إضافيّ؟
28. ماذا يطلق في تشكيل مبلمر مكثف؟
29. لماذا تكون الأغلفة البلاستيكية للغذاء من البلاستيك اللاصق بدلًا من الإيثلين المتعدد؟
30. ما المبلمر المشترك؟

تمارين

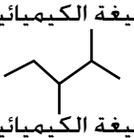
● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● ما خاصية الكربون التي تسمح بتكوين العديد من الجزيئات العضوية المختلفة؟
2. ■ ارسم التراكيب جميعها لامتثالات الهيدوكربونات التي صيغتها الجزيئية C_6H_{14}.
3. ■ ما عدد التراكيب الامتثالية المبينة هنا؟

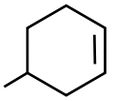


4. ● وفق الشّكل 3.91، أيهما درجة غليانه أعلى: الجازولين أم الكيروسين؟
5. ■ تكون درجات الحرارة في برج التقطير الجزيئي لمصفاة الزيت مهمة. كذلك الضغط. في أيّ مكان يكون الضغط في برج التقطير الجزيئي أعظم: في أسفل البرج أم في قمته؟ علّل إجابتك.
6. ● هناك خمس ذرات في جزيء الميثان CH_4. واحدة منها هي ذرة كربون، والتي تشكّل $\frac{1}{5} \times 100\% = 20\%$. ما نسبة الكربون في كلّ من الإيثان C_6H_6، والبروبان C_3H_8، والبيوتان C_4H_{10}؟
7. ● أيّهما يميل إلى إنتاج ثاني أكسيد الكربون عند الاحتراق: الهيدروكربونات الثقيلة أم الخفيفة؟ ولماذا؟

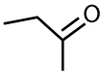
8. ● ما الصيغة الكيميائية للتركيب الآتي؟



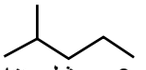
9. ● ما الصيغة الكيميائية للتركيب الآتي؟



10. ● ما الصيغة الكيميائية للتركيب الآتي؟

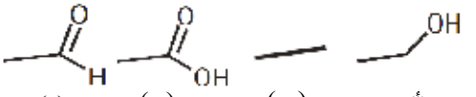


11. ■ ترى أسفل تركيب 2 - ميثل بنتان. ما تركيب 3 - ميثيل بنتان؟



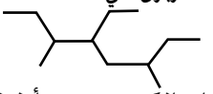
2- ميثيل بنتان

12. ■ رتّب المركبات الآتية من الأقل أكسدة إلى الأكثر أكسدة؟



(د) (ج) (ب) (أ)

13. ● ضع دائرة حول أطول سلسلة من ذرات كربون في التركيب الآتي. ما عدد ذرات الكربون في هذه السلسلة؟



14. ● عد ذرات الكربون ضمن أطول سلسلة ذرات كربون في التركيب المبين في التمرين 13. ما عدد التفرعات التي يمكن مدّها من هذه السلسلة؟

15. ■ يعرف فرع الكربون المفرد ضمن الهيدروكربون كمجموعة *الميثيل*. ويعرف نوع ثنائي-التفرع على أنه مجموعة *الايثيل*. إذن، ما هو الاسم الرسمي للتركيب المبين في التمرين 13؟

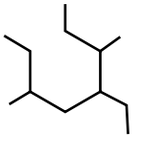
أ- 3 – ميثيل – 4 – إيثيل – 6 - ميثيل الأوكتان.

ب- 6،3 ثنائي – ميثيل – 4 – إيثيل – أوكتان.

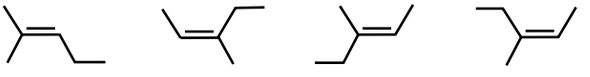
جـ- 2 – إيثيل – 4 – إيثيل – 5 – ميثيل – هيبتان.

د- 4،2 – ثنائي إيثيل – 5 – ميثيل – هيبتان.

16. ■ ما اسم التركيب الآتي؟



17. ♦ يمكن أن تدور روابط الكربون-الكربون المفردة. ولكن روابط الكربون-الكربون الثنائية. لا يمكن أن تدور. انظر النشاط المعنون "حلوى الفاصوليا لي" في نهاية هذا الفصل. ما عدد التراكيب المبينة أدناه؟



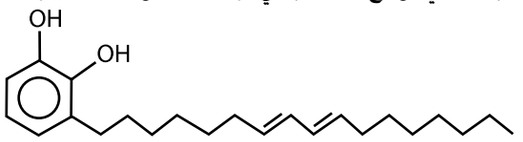
18. ■ أيّ التراكيب المبينة في التمرين 17 هي 3 - ميثيل 2 - بنتين. حيث يشير العدد "2" إلى مكان الرابطة الثنائية؟ ضع دائرة حولها.

19. ♦ ما عدد الأيزومرات الموجودة في 3 – ميثيل – 2 - بنتين؟

20. ● لماذا تكون درجة غليان الإيثرات أقلّ من درجة غليان الكحولات عادة ؟

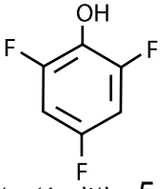
21. ■ ما النسبة المئوية لحجم الماء في شهادة 80- فودكا؟

22. ■ إنّ سلسلة الهيدروكربون الطويلة القطبية إحدى مكونات سمّ البلوط الذي يهيج الجلد. وهي تربط نفسها بالجلد المزيت:



يحتوي الذيل الطويل الهيدروكربوني غير القطبي نفسه في زيت جلد الشخص. حيث ينشيء الجزئي استجابة حساسة وينشر الحك جزيئات tetrahydrouroshiol على مساحة سطح أكبر. مما يوسع منطقة التهيج ويجعلها تنمو. هل هذا المركب كحول أم فينول؟ علّل إجابتك.

23. ♦ لماذا 2، 4، 5 - ثلاثي فلوروالفينول أكثر حمضية من الفينول كثيرًا؟



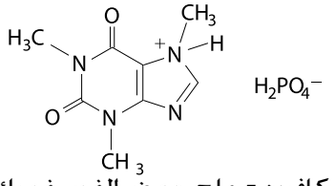
2، 4، 5 - ثلاثي فلوروالفينول

24. ■ كحول السيتيل $C_{16}H_{33}OH$. مكون مشترك للصابون والشامبو. كان يستخلص عادة من زيت الحوت. ومن هنا حصل على اسمه (اشتق *السيتيل* من *الحيتان*). ارسم التركيب الكيميائي لهذا المركب.

25. ■ أحد المكونات المشتركة لواقي الشمس والشامبو هو ثلاثي إيثيل الأمين. والذي يعرف بـ TEA أيضًا. ما التركيب الكيميائيّ لهذا المركب؟

26. ■ مركب مشترك آخر في مكونات المنتجات مثل واقي الشمس والشامبو هو ثلاثي إيثانول الأمين. ما التركيب الكيميائي لهذا المركب؟

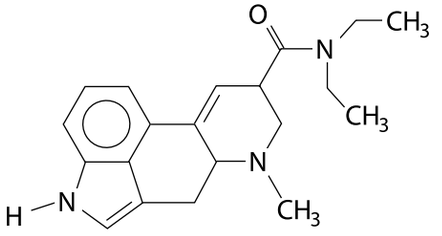
27. ■ التركيب الكيميائي التالي لكافيين ملح حمض الفوسفوريك: يسلك هذا الجزيء سلوك حمض. إي أنه يعطي أيون الهيدروجين. ومصدره من ذرة الهيدروجين المرتبطة مع ذرة النيتروجين الموجبة الشحنة. ما جميع المركبات الناتجة عن تفاعلات مول واحد من هذه الأملاح مع مول واحد من هيدروكسيد الصوديوم، NaOH. القاعدة القوية؟



كافيين - ملح حمض الفوسفوريك

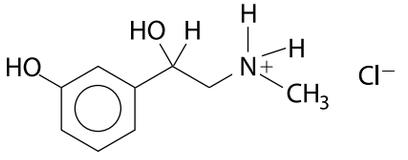
28. ♦ ارسم الأيزوميرات جميعها للأمينات التي صيغتها الجزيئية C_3H_9N.

29. ♦ هل يسلك الجزيء التالي في الماء سلوك حمض أم قاعدة، أم أنّه ليس حمضًا ولا قاعدة، أم أنّه كلاهما؟



ثنائي إيثيل أميد حمض اللايسرجك

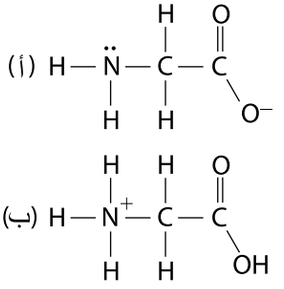
30. ♦ إذا رأيت رقعة HCl على مزيل الاحتقان فينيل فرين، فهل تقلق من أنّ ابتلاعه سوف يعرضك إلى حمض الكلوريك القوي ؟ فسّر.



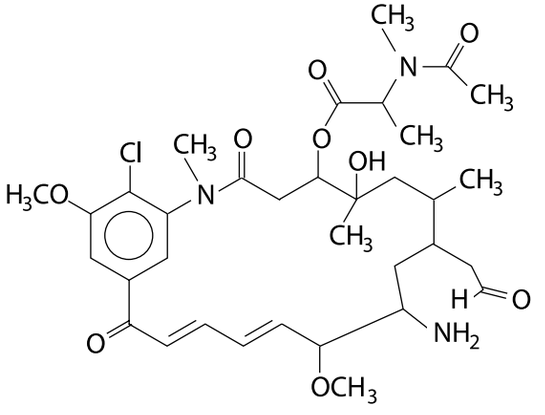
مزيل الاحتقان، ملح فينيل - حمض الكلوريك

31. ■ فسّر سبب حموضة طعم الأسبرين.

32. ■ الحمض الأميني هو جزيء عضويّ يحتوي على مجموعتي الأمين والكربوكسيل. عند pH حمضية، أيّ التراكيب التالية احتماليته أكبر؟ علّل اجابتك.



33. ■ حدّد المجموعات الوظيفية الآتية في الجزيء العضوي: الأميد، الإيستر، الكيتون، الإيثر، الكحول، ألدهايد، الأمين:

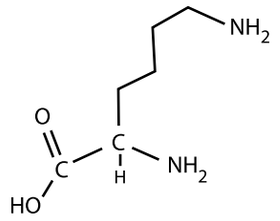


34. ● البنزالدهايد هو زيت عطري، إذا حُفظ في زجاجة دون غطاء فإنّ هذا المركب يتحوّل ببطء إلى حمض البنزويك حول السطح. ماذا تسمّى هذه العملية: أكسدة أم اختزالًا؟

البنزويك البنزالدهايد

35. ● أيّ المركبات تتكوّن عند تفاعل حمض البنزويك مع هيدوكسيد الصوديوم، NaOH؟ أحد هذه المركبات هو حمض الطعام المألوف. هل تستطيع ذكر اسمه؟

36. ● في الحمض الأميني الليسين المبين أدناه. ما المجموعة الوظيفية التي يجب إزالتها حتى ينتج كادافرين، المبين في الشّكل 16.19؟



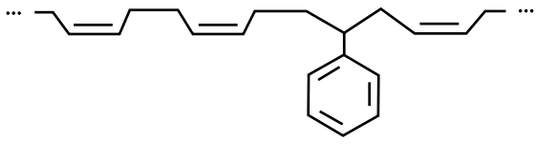
الليسين

37. ♦ هل تتوقع أن يكون متعدد البروبلين أكثر كثافة من متعدد الإيثيلين أم أقلّ؟ لماذا؟

38. ■ تطلق العديد من المبلمرات أبخرة سامة عند احتراقها، أيّ مبلمر في الجدول 5.19 ينتج سيانيد الهيدروجين HCN؟ أيّ اثنين ينتجان غاز حمض الكلوريك السّامّ؟

39. ■ من أين تأتي الطاقة الكبيرة التي تطلقها الهيدروكربونات عندما تشتعل؟

40. ■ يستخدم المبلمر المتحد المطاط ستايرين- بيوتادين (SBR) المبين أدناه لصنع الإطارات، والعلكة الفقاعية. هل هذا المبلمر مضاف أم مكثف؟



ستايرين- بيوتادين

أنشطة استكشافية

حلوى الفاصوليا لي

يمكن لذرات الكربون المتصلة معًا برابطة مفردة أن تدور بعضها بالنسبة إلى بعض. كما ناقشنا في الجزء 1.19، تؤدي هذه المقدرة على الدوران إلى امتثالات عديدة (اتجاهات فضائية) للجزيء العضويّ. ومن المحتمل أيضًا أن تدور ذرتا كربون متصلتان برابطة ثنائية إحداهما بالنسبة إلى الأخرى. قم بهذا النشاط السريع لتتأكد بنفسك.

إلام تحتاج؟

حبتي فاصوليا، عود أسنان.

طريقة العمل

1. صل حبة فاصوليا مع أخرى بعود أسنان. ثبت حبة فاصوليا بيد وأدر الحبة الثانية باليد الأخرى. لاحظ عدم وجود قيود على الاتجاهات المختلفة لحبتي الفاصوليا إحداهما بالنسبة إلى الأخرى.
2. أمسك عودي أسنان جنبًا إلى جنب، وضع حبة فاصوليا عند كلّ طرف، بحيث تكون كل حبة فاصوليا ملتصقة بعودين. كما في الخطوة السابقة، ثبت حبة فاصوليا بيد، وأدر الحبة الثانية.

ما الدوران المسموح به الآن؟ اربط ما تلاحظه مع الرابطة الثنائية للكربون – الكربون، أي تركيب من الشّكل 7.19 له امتثالات أكثر: ن-بيوتين؟ ترى، ما الصحيح حول مقدرة ذرات الكربون – الكربون المتصلة برابطة ثلاثية للانحناء بعضها بالنسبة إلى بعض؟

صقل البيض

إنّ الكحول أيزوبروبول الذي يعرف أيضًا بكحول الصقل سام إذا ابتلع؛ لأنه يدمر بروتينات الهضم وغيرها من الجزيئات الحيوية المهمة في معدتك. اعمل هذا النشاط لتتأكد بنفسك من الأثر التدميريّ لكحول الأيزوبروبول على البروتينات. اكسر بيضة وضع الصفار في وعاء والبياض في وعاء آخر. اسكب ملعقة كاملة من كحول الأيزوبروبول على البياض، ولاحظ ما يحدث. أخفق الصفار بشوكة في الوعاء الثاني، ثمّ أضف كمية كحول الأيزوبروبول نفسها للوعاء المخفوق، ولاحظ ما يحدث. النوع نفسه من التدمير يحدث للبروتينات في معدتك، بالإضافة إلى الأنسجة الأخرى عند ابتلاع كحول الأيزوبروبول. هذا ليس جيدًا! ولكن جلدنا، مقاوم للأثر التدميري لكحول الأيزوبروبول، والذي يستخدم مطهرًا موضعيًّا جيدًا.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة. وإن لم تستطع ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤال مما يلي:

1. تزداد درجة الغليان للهيدروكربون بزيادة عدد ذرات الكربون لكلّ جزيء لأنّ:
أ. زيادة عدد ذرات الكربون لكلّ جزيء يعني أيضًا زيادة كثافة الهيدروكربون.
ب. العديد من الجذب الجزيئي للثناقطبي المستحث- ثناقطبي مستحث يمسك الجزيئات معًا.
ج. سلاسل هيدروكربونات الكربون الكبيرة تميل إلى التفرع.
د. الكتلة الجزيئية تزداد أيضًا.
2. عدد الأيزوميرات التركيبية الموجودة في الهيدروكربونات التي لها الصيغة الجزيئية C_4H_{10} هي:
أ. 0 ب. 1 ج. 2 د. 3
3. أيهما يتضمن ذرات هيدروجين أكثر: جزيء هيدروكربون مشبع له خمس ذرات كربون، أم جزيء هيدروكربوني غير مشبع له خمس ذرات كربون.
أ. يحتوي الهيدروكربون غير المشبع على ذرات هيدروجين أكثر.
ب. يحتوي الهيدروكربون المشبع على ذرات هيدروجين أكثر.
ج. كلاهما يحتويان على عدد الذرات نفسه.
د. يعتمد على ما إذا كان غير المشبع هو رابطة ثنائية أم ثلاثية.
4. تصنع الذرات المغايرة فرقًا في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للجزيء العضوي لأنّها:
أ. تضيف كتلة إضافية لتركيب الهيدروكربون.
ب. لكل ذرة مغايرة خصائصها الكيميائية.
ج. تعزز قطبية الجزيء العضوي.
د. جميع ما ذكر.
5. يمكن أن يكون الكحول ذو الصيغة الكتلية العالية غير ذائب في الماء لأنّه:
أ. أكثر جذبًا لنفسه بحيث لا يذوب في الماء.
ب. يتكون من هيدروكربونات غير قطبية غالبًا.
ج. يمكن أن يكون في طور الصلابة.
د. يجب أن تكون كتلتا المادتين متقاربتين حتى تذوب إحداها في الأخرى.
6. لا تذوب أملاح أشباه القلويات في المذيب العضوي ثنائي إيثيل الإيثر. إنّ ما يحدث للكافيين ذي الشّكل الخالي - من القاعدة (شبه قلوي) الذائب ثنائي إيثيل الإيثر إذا ضخّ فقاقيع غاز كلوريد الهيدروجين، HCl، في المحلول هو:
أ. تكوّن طبقة ثنائية من الماء.
ب. لا يحدث شيء؛ تخرج فقاقيع غاز HCl، من المحلول.
ج. يكوّن ملح الكافيين غير الذائب في ثنائي إيثيل الإيثر مادة رسوبية بيضاء.
د. يطلق تفاعل الحمض - قاعدة حرارة، وهذا يسبب بدء تبخير ثنائي إيثيل الإيثر.

7.إنّ تفسير سبب ذوبان حمض الكابرليك $CH_3(CH_2)_6COOH$ في محلول مائي 5% هيدروكسيد الصوديوم، وعدم ذوبان كابري ألدهايد، $CH_3(CH_2)_6CHO$ هو:
أ. بوجود ذرتي أكسجين تكون قطبية حمض الكابرليك ضعف قطبية الكابري ألدهايد.
ب. يكون الكابري ألدهايد غازا عند درجة حرارة الغرفة.
ج. يسلك الكابري ألدهايد سلوك عامل اختزال يعادل هيدروكسيد الصوديوم.
د. يتفاعل حمض الكابرليك لتشكيل ملح ذائب في الماء.
8.عدد ذرات الأكسجين التي ترتبط مع كربون الكربونيل في المجموعة الوظيفية الإيستر هي:
أ. 0 ب. 1 ج. 2 د. 3

9.أحد الحلول لمشكلة اتساع أراضي المكاب هو حرق الأجسام البلاستيكية بدلًا من دفنها. من فوائد هذه العملية ومساوئها:
أ. مساوئ: ملوثات هوائية سامة. فوائد: تقليل حجم المكاب.
ب. مساوئ: فقدان مصدر أساسي للبترول. فوائد: توليد الكهرباء.
ج. مساوئ: عدم تشجيع التدوير. فوائد: الحصول على وظائف جديدة.
د. جميع ما ذكر.
10.أيهما تتوقع أن يكون أكثر لزوجة: مبلمر مصنوع من جدائل جزيئية طويلة أم مبلمر مصنوع من جدائل جزيئية قصيرة؟ ولماذا؟
أ. الجدائل الجزيئية الطويلة؛ لأنها تنثني على نفسها.
ب. الجدائل الجزيئية القصيرة؛ بسبب الكثافة العالية.
ج. الجدائل الجزيئية الطويلة؛ بسبب كبر الكتلة الجزيئية.
د. الجدائل الجزيئية القصيرة؛ لأنّ نهايتها تكون قطبية عادة.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

١ج، ٢ج، ٣ج، ٤ب، ٥ج، ٦د، ٧ج، ٨ج، ٩د، ١٠أ

اكتشف المزيد

http://www.icco.org
تستطيع من خلال الصفحة الرئيسة لمنظمة الكاكاو العالمية أن تجد إجابات للعديد من الأسئلة المتعلقة بكيمياء الشكولاتة، ورحلتها من شجرة الكاكاو وحتى تصل الى فمك.

http://en.wikipedia.org/wiki/Oil_refinery
يوجد في ويكيبيديا صفحة رئيسة موضحة بصورة جيدة تصف جميع المكونات الاساسية والعمليات في مصاف الزيت. كما ستجد رابط تشعبي مع المصطلحات المرتبطة بمواضيع هذا الفصل.

http://www.CO2captureproject.org
يعتبر مشروع التخلص من غاز CO_2 جهد عالمي يتعامل مع قضية تقليل انبعاثاته بطريقة ستساهم في بقاء موارد للطاقة صديقة للبيئة وأسعارها مناسبة للجميع حول العالم.

http://www.bayeraspirin.com
قم بزيارة الصفحة الرئيسة لأسبرين بابر لتعلم كل شيء ترغب في تعلمه موافقته حول الاسبرين ومعجزاته.

http://www.dinp-facts.com
تعلم المزيد حول مخاطر ومنافع البلاستيك المصنع (DINP) من على هذا الموقع التي تقوم برعايته الشركات المصنعة للمواد البلاستيكية في دول مجلس الاتحاد الأوربي.

الفصل 19 مصادر على الشبكة

دروس تعليمية
- مقدمة للجزيئات العضوية
- الجزيئات العضوية والمتشلات
- المجموعات الوظيفية
- البلمرات
- البلمرات والمنيمرات

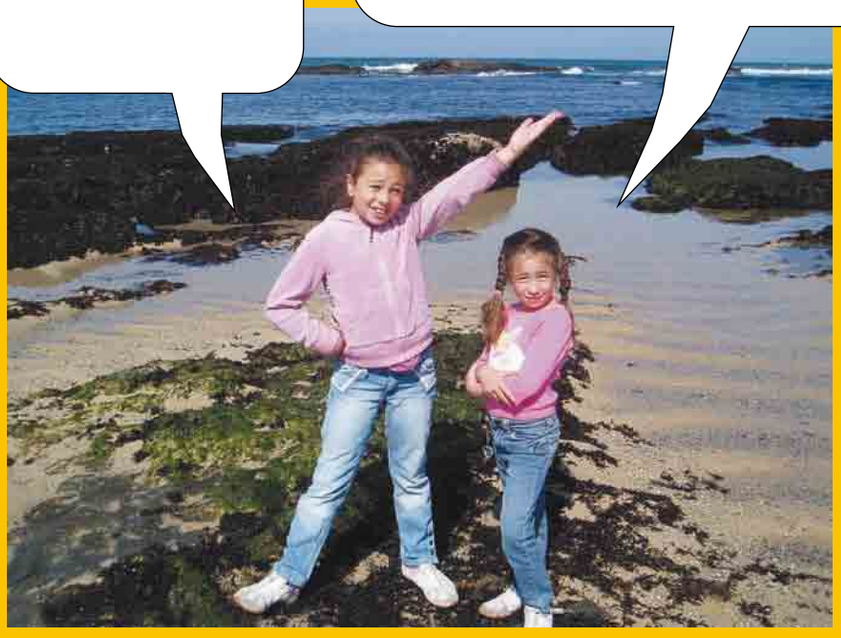
اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط

الجزء الثالث

علم الأرض

أنت على حقّ يا ميجان، إنه المكان الأفضل. نحن نقف على الغلاف الأرضيّ الصّلب، ولكن في كلّ لحظة، فإنّ الغلافين المائيّ والجوّيّ يعملان على تجوية الصّخور التي نقف عليها؛ فالغلاف المائيّ هو المكان الذي بدأت فيه الحياة على الأرض، في حين يوفر الغلاف الجوّيّ الأكسجين الذي تحتاج إليه النباتات، كما أنه يحمينا من الأشعة فوق البنفسجية الضارة. إنّ كوكبنا الأرض فريد في نظامنا الشّمسيّ، فهو بيتنا، ونحن نحتاج إلى تعلّم المزيد عنه لكي نستطيع الحفاظ عليه.

يا إيملي، شاطئ البحر هو أفضل مكان لرؤية تفاعل الغلاف الأرضيّ مع الغلافين الجوّيّ والمائيّ



الصّخور والمعادن

20

1.20 الغلاف الأرضيّ مكون من صخور ومعادن

2.20 المعادن

3.20 خصائص المعادن

4.20 تصنيف المعادن المكونة للصخور

5.20 تكوّن المعادن والصّخور

6.20 أنواع الصّخور

7.20 الصّخور النّاريّة

8.20 الصّخور الرّسوبيّة

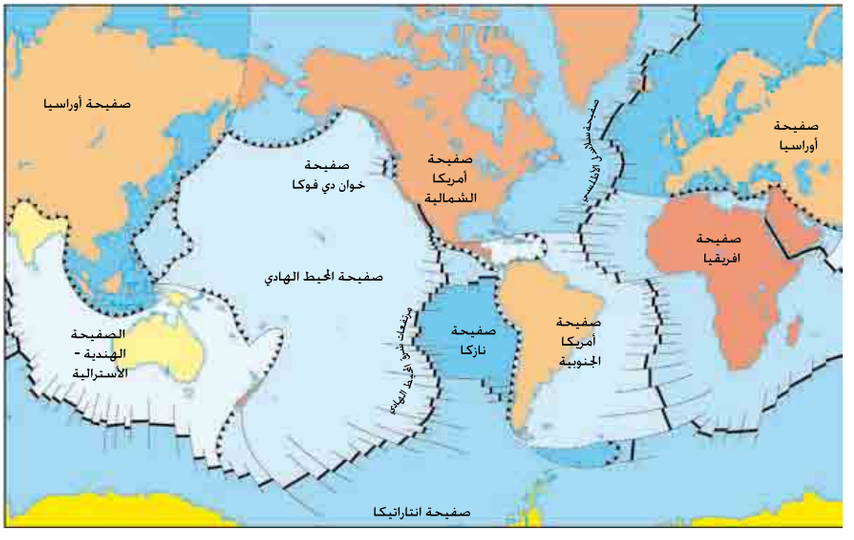
9.20 الصّخور المتحوّلة

10.20 دورة الصّخر

■ الأرض نظـام عظيـم ومتداخل. وبوصفـه نظامًا، فإنّ موضوعاته يمكن أن تقسم إلى أغلفة هي: الغلاف الأرضيّ، والغلاف المائـيّ، والغلاف الجـوِّيّ. وكلّ غلاف من هذه الأغلفـة منفصـل لكنه يلامـس الأغلفة الأخـرى ويتفاعل معها. ولا تحدث العمليات الأرضيّة بعضها في معزل عن بعض؛ فالأحداث في أيّ غلاف تؤثر في واحد من الغلافين الآخريـن أو فيهمـا معًا. وسـندرس أولًا الغلاف الأرضيّ الـذي يتضمّن الأرض تحت أقدامنا – الصّخور والمعادن، وتكتونيّـة الصّفائح، والـزلازل، والبراكيـن. وكيف تؤثر عمليات التّعرية والترسيب في الأراضي. ثم نحول اهتمامنا إلـى الغلاف المائيّ الذي يتضمّن المـاء العذب؛ والأنهار، والجـداول والجليديـات، والمياه الجوفيـة، والمياه المالحة ومحيطـات الأرض. ثم ننهي دراسـتنا لـلأرض بالتركيز على *الغلاف الجوِّيّ*؛ المُناخ والطّقس. توجد العناصر التي تشـكّل الأرض في صخورها ومعادنها؛ فهي التي تشـكّل قشرة الأرض وستارها ولبّها.

تقع قشـرة الأرض فوق اثنتي عشرة أو أكثر من **الصّفائح التّكتونيّـة (Tectonic Plates)** التي تتحرك اسـتجابة للتّدفّق الحراريّ وتيـارات الحمـل في باطـن الأرض

(الشكل 1.20) . حيث يمكن لهذه الصّفائح أن تنقسم، أو تتصادم، أو ينزلق بعضها بجانب بعض. ومع حركة الصفيحة، فإنّ سطح الأرض يتغير. ويمكن رؤية الحرارة الهاربة من باطن الأرض على شكل ثورانات بركانيّة في بعض الأحيان تؤدي إلى نشوء صخور جديدة. أمّا الحركة الداخلية (الباطنية) فتنعكس إلى حركة خارجية سطحية (*زلازل*) تؤدي إلى تكسير الأرض وتشويهها. وعندما تلامس الصّخور المكونة لقشرة الأرض الغلاف المائيّ (الماء) والغلاف الجوّيّ (الهواء)، تبدأ عمليات التّجوية والتّعرية، فتتكسر الصّخور إلى قطع صخرية صغيرة. وتستمر العملية مع استمرار تفاعل الأغلفة الثلاثة معًا، مما يؤدّي إلى التأثير في الأراضي على سطح الأرض.



الشّكل 1.20
تتكون قشرة الأرض من مجموعة صفائح تكتونية تتحرك استجابة للتدفق الحراري وتيارات الحمل في باطن الأرض. ومع حركة الصّفائح يتغير سطح الأرض.

1.20 الغلاف الأرضيّ مكوّن من صخور ومعادن

نبدأ دراستنا لعلم الأرض بفحص الأرض أسفل أقدامنا؛ أي الغلاف الأرضيّ. يتكوّن هذا الغلاف من صخور. وتتكوّن الصّخور من معادن. تساعدنا معرفة الصّخور والمعادن على فهم تركيب غلافنا الأرضيّ ومكوناته. تمامًا مثل معرفتنا للأسمنت والحديد والزجاج التي تساعدنا على معرفة تركيب المباني. فمثلًا، يوفر نوع المعادن الموجودة في الصّخور البركانيّة دليلًا على أنّ صخورًا مصهورة تُقذف من باطن الأرض إلى سطحه. كما أنّ حجم حبات المعادن ونوعها في الصّخور المتحوّلة تدل على معدل التّبلور وظروف التكون (ضغط وحرارة) التي توافرت أسفل قشرة الأرض.

إنّ المعادن هي المكونات الأساسية للصخور، أمّا العناصر فهي المكونات الأساسية للمعادن. ومن مراجعتنا لجدول العناصر في فصل 12، يتضح أنه يحوي 112 عنصرًا معروفًا معظمها نادر الوجود. وقد تندهش إذا علمت أنّ 8 عناصر فقط، من بين هذا العدد الكبير، تشكّل 98% من كتلة الأرض (الشكل 20-2)! في حين تشكّل العناصر الأخرى مجتمعة 2% الباقية.

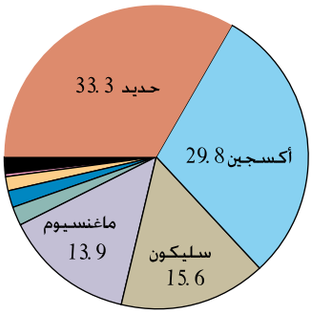
عناصر الأرض ليست موزعة بالتساوي. فمثلًا، يتركز معظم الحديد في باطن الأرض حيث يشكل اللب المركزي لها. أما العناصر الأخف مثل السليكون والأكسجين فهي موزعة بين الجزأين الأوسط والخارجي من الأرض. ولشرح هذا التوزيع؛ يجب أن ندرس أولًا بداية نشأة الأرض.

تكوّن نظامنا الشمسي قبل 4.5 بليون (مليار) سنة تقريبًا، عندما اندمج فتات الغبار والغازات والصّخور والفلزات في أثناء دورانها حول الشمس. فكوّنت الكواكب والكويكبات والمذنبات التي نعرفها اليوم. إحدى هذه الكتل الصخرية الناتجة أصبحت الأرض التي تكوّنت من تراكم قطع ذات أحجام مختلفة. وعندما تشكلت العناصر بداية، كانت موزعة بالتساوي لأنها الطريقة التي تجمعت بها. ولكن ذلك كلّه تغير.

ومع كلّ تصادم، تحررت حرارة بسبب تحول الطاقة الحركية إلى طاقة حرارية؛ أي حرارة الارتطام. ومع تغيّر الأرض، فإنّ قوة الجذب نحو مركز الكوكب جذبت قطعًا فتاتية أخرى، ثم ازداد الجذب بحيث أصبح كافيا لأن تنكمش الأرض البدائية نفسها إلى حجم أصغر، مما أنتج مزيدًا من الحرارة. أمَّا المصدر الثالث للحرارة فقد كان ناجمًا عن تحلل العناصر المشعة الموجودة طبيعيًّا والمنتشرة بشكل واسع. وعلى الرّغم من أنّ الحرارة المولّدة في أيّ متر مكعب من الصخر قليلة، إلا أنه عند التفكير في تريليونات الأمتار المكعبة من الصخر في الأرض، فإنّ كمية الحرارة المولدة ستكون كبيرة. هذه المصادر الثلاثة للحرارة: حرارة الارتطام، وحرارة الانكماش، وحرارة التحلل الإشعاعي – عملت مجتمعة على إيصال الأرض البدائية إلى درجة انصهارها.

ومن ثمّ، فإنه في حالة من الانصهار أو شبهه، وتحت تأثير الجاذبية، غاصت المواد الكثيفة والثقيلة الغنية بالحديد إلى مركز الأرض، أما المواد الأقلّ كثافة الغنية بالسليكون والأكسجين فصعدت نحو سطح الأرض (انظر فصل 5). ويمكن رؤية هذا النوع من الفصل على أساس الكثافة في خليط من الزيت والماء؛ فالماء الأثقل يغوص ليكوّن طبقة في القاع، أما الزيت الأقلّ كثافة فيصعد نحو الأعلى ليكوّن طبقة على السطح. وفي حالة الأرض، فقد أدّى الفصل بالكثافة إلى تكوّن *لبّ* غنيّ بالحديد عالي الكثافة، وستار صخريّ أقلّ كثافة، و*قشرة* صخرية أقلّ في الكثافة (الشكل 3.20).

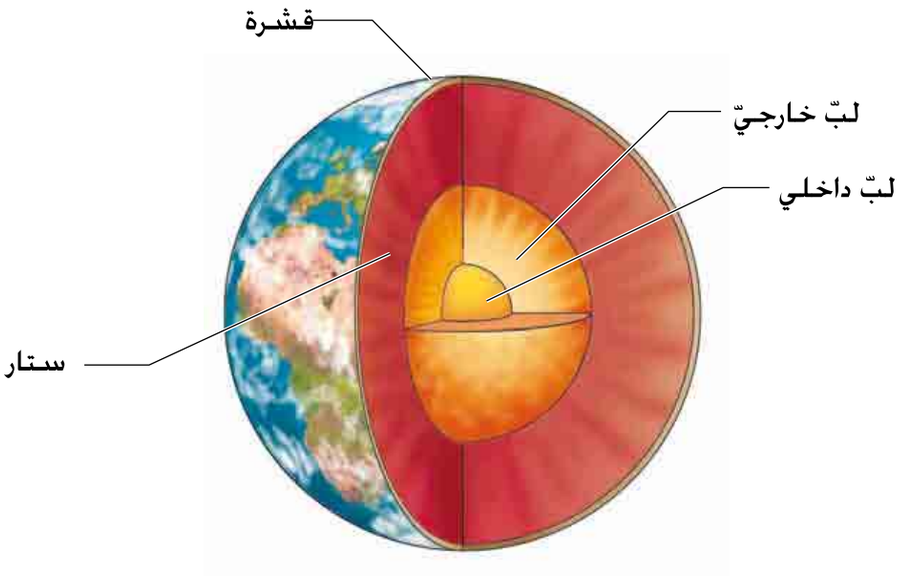
يبين الشكل 4.20 التكوين الحالي لقشرة الأرض. قارن تركيب قشرة الأرض مع تركيب الأرض كاملة للملاحظة أنّ العناصر نفسها تظهر في كليهما، ولكن بنسب مختلفة. وكما هو متوقع، فإنّ القشرة مكوّنة في معظمها من عناصر خفيفة؛ تقريبًا نصف كتلة قشرة الأرض أكسجين (O) وربعها سليكون (Si).



الأرض جميعها

الشّكل 2.20

هناك 8 من العناصر الكيميائية فقط متوافرة بكثرة على الأرض.

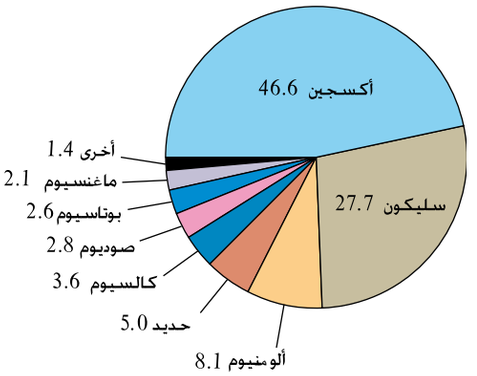


الشّكل 3.20

تتكون الأرض في تركيب طبقي. تختلف الطبقات، وهي القشرة والستار واللب في التركيب والكثافة. متوسط كثافة الأرض 5.5 جم / سم^3. ولأنّ متوسط كثافة عينات من قشرة الأرض تساوي 2.7 جم/ سم^3 ، فإنّ المادة السفلى يجب أن تكون ذات كثافة عالية. ومع أنها لم تقس مباشرة فإنّ كثافة الستار 4.5 جم /سم^3 واللبّ (الداخلي الصلب والخارجي السائل) متوسط كثافته 13.5 جم / سم^3.

الشّكل 4.20

النسبة المئوية للعناصر في قشرة الأرض بحسب كتلتها. يشكل الأكسجين والسليكون أكثر من 75% من القشرة الأرضيّة.



قشرة الأرض

لمعلوماتك

■ تصبح وفرة الأكسجين في قشرة الأرض أكثر بروزًا عندما نفكر في وجوده على شكل ذرات وليس على شكل كتلة: فمن بين كلّ 100 ذرة في قشرة الأرض، فإنّ 63 منها هي أكسجين. الأكسجين ليس فقط مهمًّا كمكون للهواء، ولكنه يشكل معظم قشرة الأرض أيضًا.

■ **نقطة فحص**

1. ينقسم باطن الأرض إلى طبقات كانفصال الزيت عن الخلّ إلى طبقات. ما الذي سبب حدوث ذلك؟
2. كيف يختلف تركيب كامل الأرض عن تركيب قشرتها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. الجاذبية، وحرارة الارتطام، والانكماش الجذبي، والتحلل الإشعاعي جعلت كوكبنا طريًّا إلى درجة إمكانية تحرك مكوناته بسهولة. وتبعًا لذلك غاصت العناصر الكثيفة نحو مركز الأرض في حين صعدت الخفيفة نحو السطح.
2. يشكل الحديد ثلث كتلة الأرض ككل، إلا أنّ معظم هذا الحديد موجود في باطن الأرض. يسود الأكسجين والسليكون معظم الطبقة الخارجية للأرض. وكما سنرى، فهذا هو سبب وجود المجموعات الشائعة من المعادن المكونة للصخور – مجموعة السليكات – التي تحتوي على هذين العنصرين.

■ 2.20 المعادن

لمعلوماتك

توجد المعادن في الصّخور والمواد الغذائية وهي متشابهة ومختلفة. المعادن في الصّخور تشكّلت طبيعيًّا وهي غير عضوية، وصلبة متبلورة ولها تركيب كيميائيّ محدّد. ولكن المعادن في المواد الغذائية هي من صنع الإنسان، وغير عضوية تحوي عناصر مهمة للنشاطات الحيوية. وعلى أيّ حال، فالمعادن التي تستعمل في الإضافات الغذائية تأتي من المعادن الموجودة طبيعيًّا في قشرة الأرض.

المعادن جزء من غذائنا اليومي (فيتامينات، ومعادن)، وهي تزود الصناعة بالمواد الخام (ألومنيوم للعلب، الحديد للفولاذ، إلخ). ومن هذين المثالين البسيطين، يسهل رؤية أهمية المعادن في الغلاف الأرضيّ وفي حياتنا. ولكن، ما المعدن؟ **المعدن** مادة تشكلت طبيعيًّا، غير عضوية، صلبة متبلورة، مكونة من ذرات مرتبة، ويمكن معرفتها، ولها تركيب كيميائيّ محدّد.

إنّ هذا التعريف مباشر وواضح؛ فأن يكون المعدن طبيعيًّا يعني أنه لم يصنّع في مختبر. وعليه، فإنّ الزركونيا المكعبة والأحجار الكريمة المصنّعة ليست معادن. وأمّا أن يكون المعدن صلبًا متبلورًا فهذا يعني أنّ الذرات المكونة للمعادن دائمًا مرتبة بنسق هندسي. فالزّجاج مثلًا صلب، ولكنه لا يحوي تركيبًا بلّوريًّا، أي أنه *غير مبلور* لذا فهو ليس معدنًا. أنواع المعادن نفسها دائمًا لها الترتيب الهندسي للذرات نفسه. أمّا التركيب الكيميائي المحدد فيعني أنّ للمعادن مدى من التركيب الكيميائي ولكن بحدود ثابتة.

أما أنّ المعدن (*غير عضوي*) فيحتاج إلى تفسير؛ فغير عضوي يعني أنّ المادة المعدنية غير مكونة من جزيئات عضوية. وكلمة (*عضوي*) *لا* تعني شيئًا بالنسبة للعالِم، ولكنها تعني شيئًا آخر للإنسان العادي. فهي تعني للعالِم أنّ التركيب الكيميائيّ يحوي الكربون والأكسجين والهيدروجين.

تنشأ المواد العضوية غالبًا بواسطة الكائنات الحية. أما المواد غير العضوية فتنشأ عادة في خطوات لا تتطلب كائنات حية رغم أنها قد تكون عُمِلت من قبل كائنات حية. فصَدَف البحر واللؤلؤ كوّنتها حيوانات، ولكنها غير عضوية؛ لأنها مكونة من كربونات الكالسيوم التي تحوي كربون وأكسجين ولا تحتوي على هيدروجين.

■ **نقطة فحص**

1. هل يعدّ الماس الصّناعيّ معدنًا؟
2. الأوبسيدين نوع من الزجاج المتكون في البراكين، هل هو معدن؟
3. ما البلورة؟

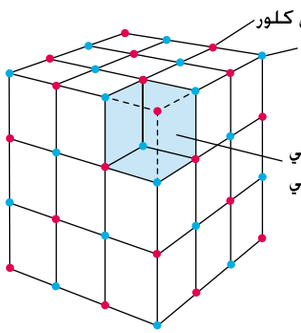
هل كانت هذه إجابتك؟

1. لا. حتى يعدّ معدنًا يجب أن يتكون طبيعيًّا.
2. لا. فعلى الرّغم من أن الأوبسيدين يتكوّن طبيعيًّا، وله تركيب كيميائيّ محدد، إلا أنه نوع من الزجاج – غير متبلور. إنه لا يحوي خصائص المعدن جميعها.
3. البلورة هي مادة صلبة لها بناء بلوري؛ أي أنّ الذرات والأيونات أو الجزيئات مرتبة في نسق متكرر.

■ 3.20 خصائص المعادن

تصنف المعادن وفقًا للتركيبين الكيميائي (أي العناصر الموجودة) والبلوريّ (كيفية ترتيب العناصر). للمعدن خصائص فيزيائية تعتمد على خصائصها الداخلية الدقيقة. إنّ الخصائص الداخلية الدقيقة مثل التركيب، والبناء البلوريّ، وقوة الروابط الكيميائية تحدد الشّكل البلوريّ. وتحدد أيضًا الصلابة (مقاومة الخدش)، والمكسر والانفصام (كيفية تكسّر المعدن)، واللون، والكثافة. ويمكن تعرف معظم المعادن عن طريق هذه الخصائص الفيزيائية المشاهدة.

وهناك خصائص فيزيائية أخرى يمكن أن تساعد على تعرف المعادن مثل اللمعان (طريقة عكس المعدن للضوء) والحكاكة (لون مسحوق المعدن). وسنناقش في هذا القسم الخصائص الفيزيائية للمعادن اعتمادًا على بنائها الداخلي.



(أ) الشّكل البنائي البلوريّ للهاليت

تختلف المعادن بعضها عن بعض في أنواع العناصر المكونة لها أو/و في الترتيب الداخلي للذرات المكونة له

الشّكل البلوريّ

هل رأيت ملح طعام (هاليت) تحت عدسة تكبير؟ إذا كان الجواب نعم، فلا بدّ أنك شاهدت شكلها الهندسي الرائع (الشكل 5.20). تُعرف هذه البلورات بهذه الأشكال الهندسية الرائعة التي تظهرها. **فالشّكل البلوريّ *(Crystal Form)*** هو التعبير الخارجي للترتيب المنتظم لذراتها. وعندما تنظر إلى بلورة كاملة التشكل فإنّ ما تراه هو الترتيب الأصلي للذرات في البناء. ولكلّ معدن توافق فريد بين التركيب الكيميائي والشّكل البلوريّ (الشكل 5.20)

(ب) حبيبات من معدن الهاليت (ملح الطعام)

الشّكل 5.20

الشّكل البنائي الأساسي لمعدن الهاليت (ملح الطعام) هو مكعب. يتكرر هذا الشّكل في الأبعاد الثلاثة. ينعكس الترتيب الداخلي لبلورات الهاليت على حبات المعدن الكبيرة.

لمعلوماتك

■ المصطلح (عضوي) مشتق من كلمة (كائنات) بالإنجليزية. بعض الكائنات تكون معادن. فمثلًا، الكثير من الكائنات البحرية تصنع كربونات الكالسيوم (غالبًا أراغونيت) لصَدَفِها، كما أنّ المحار قد يكوّن اللؤلؤ الذي يتكوّن من الأرغونيت غالبًا. يمكن أن تترسب معادن الأوبال والفلوريت وبعض الفوسفات عن طريق الكائنات. فمثلًا، تحتوي الأسنان والعظام على معدن الأباتيت. وهذه المعادن يمكن أن تتكون من كائنات، ولكنها غير عضوية. وكقاعدة، فالمركبات العضوية التي تحوي الأكسجين، والكربون، والهيدروجين كلها مجتمعة ليست من المعادن. ومع أنّ المواد الهيدروكربونية للبترول والفحم تسمى معادن طاقة، فهي ليست معادن. ومع أنّ سكر الطعام($C_{12}H_{22}O_{11}$)متشكل طبيعيًّا وصلب ومتبلور، وله ترتيب داخلي منتظم من الذرات، إلا أنه لا يعدّ من المعادن.

(أ) (ب) (جـ) (د) (هـ) (و)

الشّكل 6.20

يمكن تمييز العديد من المعادن من شكلها البلوريّ.
(أ) أميثيت، وهو النوع الأرجواني من الكوارتز له شكل سداسي مع نهايات زاوية. (ب) بايريت، أو "ذهب المجانين" له شكل مكعب عليه علامات متوازية تسمى حزوزًا. (ج) روزاسيت، له بلورات شعاعية خضراء مزرقة تتجمع على شكل كرات. (د) رودوكروسيت، اسمه يعني "لون وردي" له شكل بلوري معينيّ. ولبعض المعادن أشكال نمو مميزة.
(هـ) معدن الهيماتيت، ينمو عادة في تجمعات مثل العنب.
(و) الأسبست، معادن لها شكل ليفي.

ولسوء الحظ، يندر وجود أشكال بلورية مكتملة في الطبيعة بسبب الحيز المتاح؛ لأنّ معظم البلورات تنمو في حيز صغير.

وكما أنّ الأبنية مكونة من مواد مختلفة كبعض الصّخور، والحجارة والأخشاب، فإنّ المعادن كذلك مكونة من عناصر مختلفة. فبعض المعادن تتكون من العناصر نفسها، لكن الترتيب الذري الداخلي مختلف، مما يجعلهما معدنين مختلفين. لذا، نذكرك بالتشابه مع الأبنية، فالتصاميم المختلفة، باستخدام المواد نفسها تؤدي إلى معادن مختلفة. وأحيانًا يكون هناك معدنان أو أكثر يحتويان على العناصر نفسها، والنسب المئوية نفسها، ولكن ذراتها مرتبة بشكل مختلف بعضها عن بعض، وعليه، فإنّ بناءها البلوريّ وخصائصها تكون مختلفة. مثل هذه المعادن تسمى متعددة الأشكال ***polymorphs.*** **(*poly* متعدد و *morph* شكل). فالجرافيت والماس من المعادن المتعددة الأشكال، لأنهما يتكونان من العنصر نفسه وهو الكربون، إلا أنّ ذرات الكربون مرتبة بشكل مختلف فيهما. لذا، فإنّ للجرافيت والألماس خصائص مختلفة تمامًا (الشكل 7.20). ولأنّ تكوّن هذين المعدنين المتشابهين — المختلفين - يعتمد على درجة الحرارة والضغط، فإنّ المعدن متعدد الشّكل يعدّ مؤشرًا جيدًا على الظروف الجيولوجية السائدة في زمن التكوين وأماكنه.**

■ **نقطة فحص**

يمكن تعرف العديد من المعادن من خلال خصائصها الفيزيائية.
- الشّكل البلوريّ، والصلابة، والمكسر، والانفصام، واللمعان، واللون، والحكاكة، والكثافة. لماذا يصعب تعرف المعدن عن طريق الشّكل البلوريّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إن وجود بلورات مكتملة الشّكل نادر في الطبيعة؛ لأنّ المعادن تنمو في حيّز ضيق عادة.

القساوة

لا تشير القساوة إلى سهولة كسر المعدن، ولكن إلى مقاومته للخدش. فمثلًا بلورة الكوارتز تخدش بلورة الفلسبار؛ لأنّ الكوارتز أقسى من الفلسبار. قابلية المعدن لخدش معدن آخر ومقاومة المعدن للخدش من قبل معدن آخر هما مقياسا القساوة.

(أ) ألماس (ب) جرافيت

الشّكل 7.20

كلّ من الجرافيت والماس كربون نقي.
(أ) الماس أقسى مادة معروفة، وله بناء متماثل متراص بإحكام. (ب) لمعدن الجرافيت بناء مفتوح متطبق، وهو معدن طري جدًّا. عند دلك الجرافيت بين الأصابع، تنزلق جزيئاته بعضها فوق بعض مثل أوراق اللعب لتعطي إحساسًا بالانزلاق. هذا التأثير الزلق هو الذي يجعله جيدًا كمشحّم جاف. كما ينزلق الجرافيت بسهولة عند ضغطه على ورقة- تاركا أثرًا - مما يجعله يستعمل في أقلام الرصاص. (وهو أفضل من الرصاص في صناعة الأقلام لأنه أقلّ سمّيّة.

الجدول 1.20 مقياس موهو للقساوة

المعدن	القساوة	جسم له قساوة مماثلة
تلك	1	
جبس	2	ظفر الإصبع (2.5)
كالسيت	3	قطعة نقد نحاسية أو سلك نحاسي (3.5)
فلوريت	4	سكين فولاذ أو زجاج (5.5)
أباتيت	5	قطعة بورسلين (6.5)
فلسبار	6	
كوارتز	7	
ثوباز	8	
ماس	10	

نستخدم **مقياس موهو للقساوة *(Mohs Scale of hardness)*** (الجدول 1.20) لمقارنة قساوة معادن مختلفة.

لماذا تكون بعض المعادن أقسى من غيرها؟ تعتمد القساوة على قوة الروابط الكيميائية؛ فكلما زادت قوة الروابط، زادت قساوة المعدن. أما العوامل التي تؤثر في قوة الروابط فهي شحنة الأيونات، وحجم الأيون أو الذرة، والتّراصّ (فصل 15). توجد الروابط القوية عادة بين الأيونات العالية الشحنة؛ فكلما زاد الجذب، زادت قوة الرابطة. ويؤثر الحجم في قوة الرابطة لأنّ الذرات والأيونات الصغيرة يتراصّ بعضها قريبًا من بعض مقارنة بالكبيرة. إنّ المسافات التي تفصل الذرات والأيونات المتراصة بعضها قرب بعض قصيرة، لذا تكوّن روابط قوية؛ بعضها يجذب بعض بقوة أكبر؛ فالذهب ذو الذرات الكبيرة طري؛ لأنّ ذراته غير متراصة وروابطها ضعيفة. أما الماس ذو ذرات الكربون الصغيرة فله تركيب متراصّ. لذا، فهو صلب؛ إنه أقسى المعادن المعروفة (الشكل 7.20أ).

كلما زادت قوة الرابطة زادت القساوة.

الانفصام (Cleavage) والمكسر (Fracture)

إذا طرقت عينة من الكالسيت بالمطرقة فإنها تنكسر على طول *سطوحها الضعيفة* – وهي سطوح تكون الروابط على طولها ضعيفة أو قليلة العدد. **الانفصام** إذن، هو قابلية المعدن للكسر على طول سطوح الضعف في بنيته. ويتم تعرف هذه السطوح من خلال كلّ من التركيب البلوريّ وقوة الروابط الكيميائية.

لدى بعض المعادن قابلية أكبر على الانفصام مقارنة بمعادن أخرى. وبشكل عام، فإنّ المعادن التي تحتوي على روابط قوية بين سطوحها البلورية يكون انفصامها ضعيفًا. أما المعادن ذات الروابط الضعيفة على طول السطوح المستوية فيكون انفصامها واضحًا. فمعدن المسكوفيت (مايكا) والكالسيت لهما انفصام مميز. يتكون التركيب البلوريّ للمايكا من ذرات مرتبة على شكل صفائح. ترتبط الذرات داخل الصّفائح بروابط قوية، ولكن الروابط بين الصّفائح ضعيفة. لذا، فإنّ المسكوفيت ينفصم حيث الروابط ضعيفة بين صفائحها (الشكل 8.20). كما يمكنك فصل المسكوفيت إلى رقائق. وتستخدم رقائق المسكوفيت اللامعة لزيادة لمعان الدهان على الأجسام.

المعادن التي ليس لها ترتيب معين للروابط مثل الكوارتز لا تري انفصامًا وإنما مكسرًا. المكسر الناعم المنحني الذي يشبه الزجاج المكسور يسمى محاريًّا. فمعدن الكوارتز والأولفين له مكسر محاريّ (الشكل 9.20). ولكن معظم المعادن لها مكسر غير منتظم. إنّ درجة الانفصام أو المكسر ونوعهما دلائل مفيدة لتعرُّف المعادن.

(أ)

(ب)

الشّكل 8.20

إنّ انفصام المعادن مفيد جدًّا في تعرفها.

(أ) مسكوفيت معدن من مجموعة المايكا وله انفصام واضح في اتجاه واحد. وينكسر إلى صفائح. (ب) الكالسيت (كربونات الكالسيوم) له انفصام واضح بثلاثة اتجاهات (*ليس* بزوايا قائمة مثل المكعب). ينكسر إلى قطع معينية صغيرة.

الشّكل 9.20
توضح عينة الكوارتز هذه شكلها البلوريّ ومكسرها المحاريّ. عندما ينكسر الكوارتز، فإنه يكوّن سطحًا أملس منحنيًا يشبه الزجاج المكسور. مكسر محاريّ.

■ **نقطة فحص**

1 . عند حكّ قطعة من الكاليست مع قطعة من الفلوريت، أيهما يخدش الآخر؟
2 . لمعدن المسكوفيت انفصام مميز، أما الكوارتز فله مكسر. كيف يرتبط ذلك بالبناء البلوريّ للمعدن؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1 . بالنظر إلى الجدول 1.20، نرى أنّ الفلورايت أقسى من الكالسيت. لذا، فإنه يخدشه.
2 . يتكون المسكوفيت على شكل بناء صفائحيّ. لذا، فالروابط بين الصّفائح أضعف من الروابط داخلها. تنفصم معادن المايكا بين الصّفائح. للكوارتز بناء أكثر تعقيدًا ولا يحوي تصفحًا أو سطوح ضعف. لذا، فإنه ينكسر.

اللون

على الرغم من أنّ اللون خاصية ملحوظة في المعدن، إلا أنه ليس مهمًّا في تعرُّفه. بعض المعادن كالنحاس والتركواز لهما لون مميز. ولكن معظم المعادن، إما أن توجد لها مجموعة من الألوان، أو أنها بلا لون. إنّ الشوائب الكيميائية في المعدن تؤثر في لونه. فمثلًا، المعدن الشائع الكوارتز SiO_2 يمكن وجوده بعدة ألوان اعتمادًا على الشوائب. لذا، قد يكون شفافًا أو دون لون إن لم يحتو على شوائب، وقد يكون أبيض حليبيًّا بسبب محتويات مائية صغيرة. والكوارتز ذو اللون الوردي ينتج من كميات قليلة من التيتانيوم. أما الكوارتز الأرجواني (أمثيست) فينتج عن كميات قليلة من الحديد. معدن الكورندوم Al_2O_3 أبيض اللون أو رمادي على الأغلب. ولكن الشوائب فيه تعطينا الياقوت الأحمر والأزرق (الشكل 10.20).

تعتمد كثافة المعدن على عدة عوامل مثل كتل ذراته، ودرجة التّراصّ لهذه الذرات والذي يعتمد بدوره على حجم الذرة.

الكثافة (Density)

الكثافة خاصية للمواد جميعها بما فيها المعادن. وبشكل عملي، فإنّ كثافة معدن تدلنا على مدى ثقله بالنسبة إلى حجمه. وبشكل أدق، فإنّ كثافة المعدن هي نسبة كتلته إلى حجمه. كثافة بعض المعادن مدرجة في الجدول 2.20. إنّ الكثافة المرتفعة للذهب 19.3 جم/سم^3 تؤخذ كإيجابية من قبل المنقبين عنه ؛ لأنّ قطع الذهب الصغيرة المختفية داخل خليط من الطين والرمل تستقر في قاع الوعاء عند تدوير الخليط بالماء. يخرج الماء والمواد الأقلّ كثافة عند تحريك الخليط. وبعد عدة مرات من التحريك والترسيب، يبقى في قاع الوعاء المواد ذات الكثافة العالية فقط ؛ إنّه الذهب.

ياقوت أحمر (روبي)

ياقوت أزرق (سافير)

الشّكل 9.20
معدن الكورندوم Al_2O_3 يوجد في عدة ألوان نتيجة الشوائب الكيميائية. إنّ إضافة كميات قليلة من الكروم محلّ الألومنيوم يكوّن الحجر الكريم المعروف باسم ياقوت *(روبي)*. ومع إضافة كميات قليلة من الحديد والتيتانيوم ينتج الحجر الكريم الياقوت الأزرق *(سافير)*.

الجدول 2.20 كثافة معادن مختلفة جم/سم^3

بوراكس	1.7	بايري	5.0
كوارتز	2.65	هيماتيت	5.26
تلك	2.8	نحاس	8.9
مايكا	3.0	فضة	10.5
كرومايت	4.6	ذهب	19.3

4.20 تصنيف المعادن المكونة للصخور

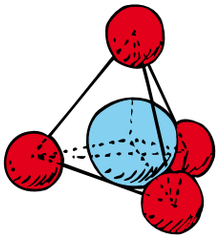
الخصائص الفيزيائية للمعدن تعود إلى كيميائية المعدن.

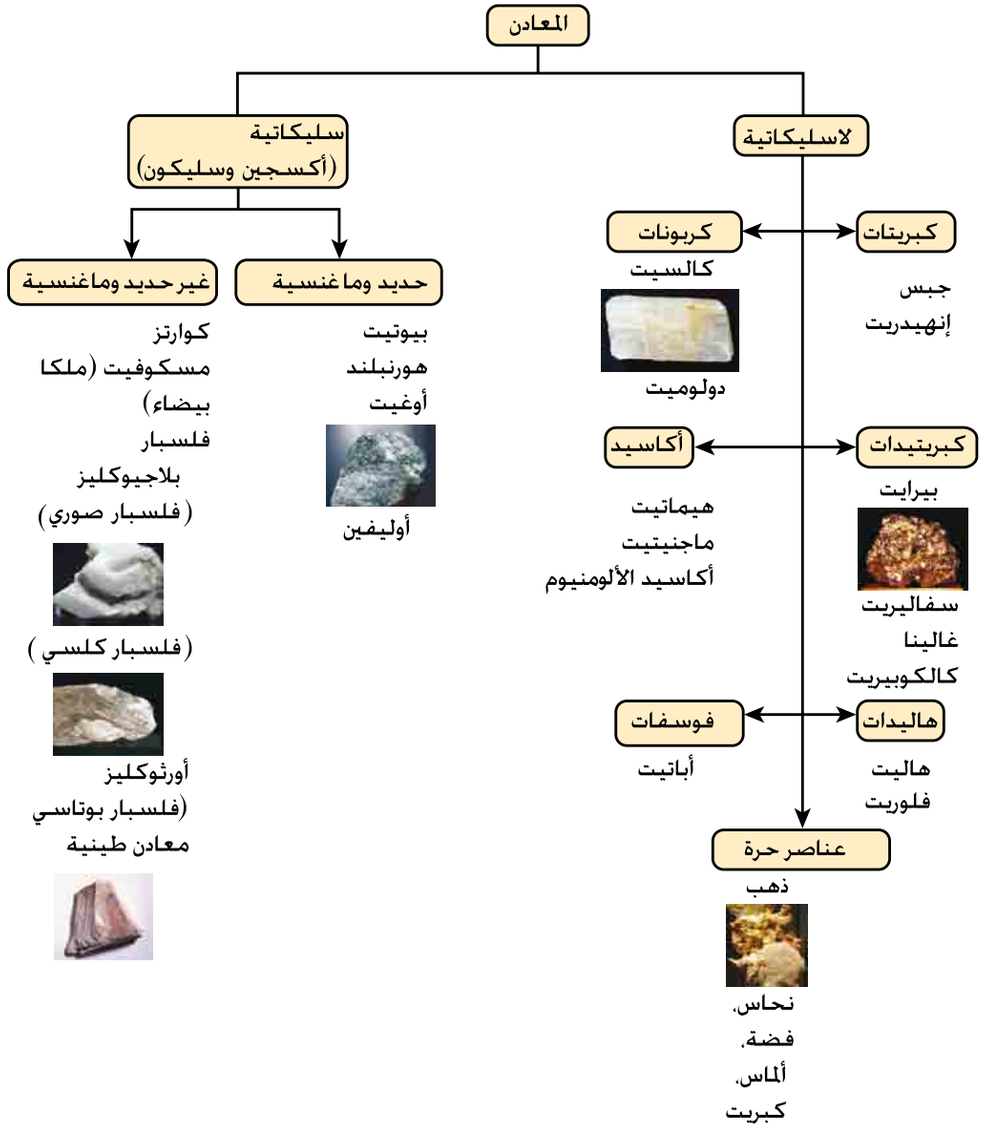
يوجد في الأرض أكثر من 4000 معدن معروف. ويتم اكتشاف معادن جديدة كلّ سنة. مع وجود العديد من المعادن، كيف يمكن تصنيفها بطريقة بسيطة ومنظمة؟ بداية، فإنّ معظم المعادن نادرة. وفي الواقع، هناك بضع عشرات من المعادن فقط تكوّن معظم الصّخور المنكشفة على سطح الأرض. وهذه هي *المعادن المكونة للصخور*.

تُصنّف المعادن اعتمادًا على التركيب الكيميائي. ينتج عن النوعين الرئيسين للمعادن: مجموعة معادن **السليكات (*Silicates*)**، ومجموعة معادن **اللاسليكات (*nonsilicates*)** (الشكل 11.20). انظر الشكل 4.20. وستفهم كيف توصل علماء الأرض إلى هذا التقسيم البسيط. فالأكسجين هو العنصر الأكثر وفرة في قشرة الأرض، في حين يأتي عنصر السليكون في الترتيب الثاني. المعادن التي تحوي عنصري السليكون Si والأكسجين O كجزء من تركيبها الكيميائي تسمى السليكات. أما المعادن التي لا تحوي هذين العنصرين فتسمى لاسليكاتية. للسليكون قابلية الجذاب كبيرة نحو الأكسجين. وفي الحقيقة،

لمعلوماتك

المعادن السليكاتية جميعها لها البناء التركيبي الأساسي للذرات نفسه، وهو رباعي الأوجه المكون من أكسجين وسليكون. ترتبط أربع ذرات أكسجين مع ذرة سليكون. $(SiO_4)^{4-}$ الرابطة القوية التي تربط الأكسجين بالسليكون مشابهة للمادة اللاحمة التي تربط القشرة الأرضيّة بعضها ببعض.





الشّكل 11.20
تصنيف المعادن الشائعة المكونة للصخور .

فإنّ للسليكون ميلًا شديدًا إلى الترابط مع الأكسجين بحيث إنه لا يوجد في الطبيعة كعنصر نقي، ولكنه مرتبط مع الأكسجين *دائمًا*. لذا، فإنّ مجموعة السليكات هي الأكثر شيوعًا، وتشكل أكثر من 90%من قشرة الأرض. كما أنّ معظم السليكات تحوي باقي العناصر الثمانية الشائعة التي تتضمن Mg ، Fe ، Al ، Ca ، غير أنّ وحدتي البناء الأساسية للسليكات *جميعها* هما Si، و O.

تقسم السليكات إلى مجموعتين هما: *سليكات حديدوماغنسية*، و*سليكات لاحديدوماغنسية*. وكما يشير الاسم، فإنّ السليكات الحديدوماغنسية تحوي الحديد (Fe)، والماغنسيوم (Mg) أو كليهما، إضافة إلى ذرات الأكسجين والسليكون الأساسية. الأوليفين معدن سليكاتي حديدو ماغنيسي ($(Mg,Fe)2SiO_4$). وبسبب وجود الحديد والماغنسيوم، فإنّ معادن الحديدوماغنسية السليكاتية تكون ذات كثافة عالية، ولونها قاتم. أما معادن السليكات اللاحديدوماغنسية، فلا تحوي كميات مهمة من الحديد والماغنسيوم. لذا، فهي قليلة الكثافة عمومًا، وذات لون فاتح. إنّ المعدن الأكثر شيوعًا في القشرة الأرضيّة هو الفلسبار، وهو معدن سليكاتي لاحديدوماغنيسي يحوي كلًا من الألومنيوم والصوديوم والبوتاسيوم و/ أو الكالسيوم، إضافة إلى السليكون والأكسجين. ويشكل الفلسبار أكثر من 50% من قشرة الأرض. أما الكوارتز (SiO_2) ثاني المعادن شيوعًا في القشرة، فيتكون من أكسجين وسليكون فقط. فإذا قمت بعملية جمع للصخور والمعادن، فلا بد أن يوجد في مجموعتك فلسبار وكوارتز.

تشكل مجموعة المعادن اللاسليكاتية 8% من كتلة القشرة الأرضية، وتتضمن الكربونات والأكاسيد، والكبريتيدات، والعناصر الحرة مثل الذهب والفضة وغيرها. الكربونات هي المعادن اللاسليكاتية الأكثر شيوعًا. والمعدنان الشائعان من الكربونات هما الكالسيت والدولوميت. يتكون الكالسيت من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$. أما الدولوميت فهو خليط من كربونات الكالسيوم وكربونات الماغنسيوم $CaMg(CO_3)_2$. الكالسيت والدولوميت هما المعدنان الرئيسان الموجودان في مجوعة صخور تسمى *الحجر الجيري*.

أما في معادن الأكاسيد، فإنّ الأكسجين يكون مرتبطًا مع فلز أو أكثر كالحديد، والكروم، والمنجنيز، والقصدير، أو اليورانيوم. إنّ مجموعة معادن الأكاسيد مهمة اقتصاديًّا لأنها تحوي *خامات* مفيدة عديدة. والخام ترسب معدنيّ غنيّ بالفلزات الثمينة التي يمكن استخراجها، وتحقيق أرباح منها. معادن الكبريتيدات مهمة كخامات راسبة أيضًا. والمعدن الكبريتيدي الأكثر شيوعًا هو البايريت (ذهب المجانين) FeS_2.

لمعلوماتك

هناك العديد من التعريفات في هذا الفصل، فلا تجهد نفسك في حفظ مصطلحات كثيرة. اجعل المصطلحات تساعدك على الفهم. فالمصطلحان *حديدوماغنسية* و *لاحديدوماغنسية* طويلا اللفظ؛ لذا فعليك استخدامهما بسهولة. حديدو تعني الحديد. *لاحديدو* تعني لا حديد.

مثال شائع للتبلور هو بلورات الثلج التي تتشكل في الماء عندما تقل الحرارة عن صفر °س. فكما يوجد ماء وثلج هناك ماجما وصخر.

لمعلوماتك

■ تؤثر سرعة التبريد في حجم البلورة. فالتبريد السريع يكوّن عددًا كبيرًا من البلورات الصغيرة. أما التبريد البطيء فيسمح للعناصر بالهجرة لمسافات كبيرة والاندماج لتكون بلورات كبيرة. عندما تبرد المادة المصهورة بسرعة كبيرة بحيث لا تملك الذرات وقتًا لتترتب بنسق بلوري يتشكل الزجاج حيث ذراته غير منتظمة مثل زجاج النوافذ العادي.

■ 5.20 تكون المعادن والصّخور

حتى الآن، استكشفنا تعريف المعدن وخصائصه المختلفة وتصنيف المعادن. ونحول اهتمامنا الآن إلى كيفية تشكل المعادن. وبعد فهم كيفية تكوّنها، نتقدم خطوة نحو معرفة كيفية تكون الصّخور. فالصّخور في النهاية مكوّنة من معادن.

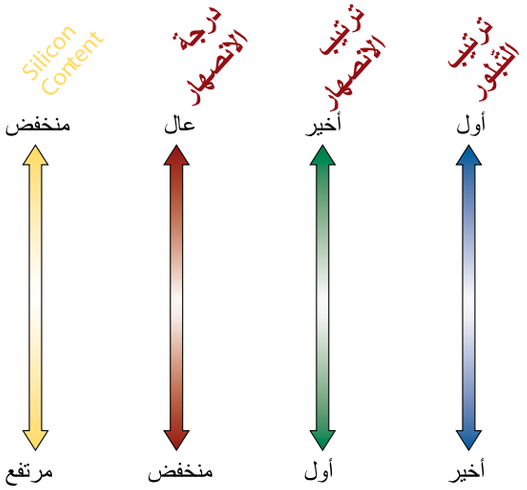
تتشكل المعادن عن طريق **التّبلور (*crystalization*)**: أي نمو مادة صلبة متبلورة من سائل أو غاز . يبدأ التّبلور عندما تبدأ الذرات في الترابط بعضها مع بعض بنسق هندسي. ومع زيادة عدد الذرات والروابط تتشكل بلورة بحواف تعكس شكل النسق الهندسي. ومع زيادة عدد الذرات المرتبطة في البلورة المكررة النسق الموجودة تنمو البلورة.

تتبلور المعادن من مصدرين مختلفين عادة هما **الماجما (*Magma*)** – صخر مصهور – والمحاليل المائيّة. وكما سنرى، فالصّخور *النّاريّة* تتشكل من الماجما، ولكن بعض الصّخور *الرّسوبيّة* تتشكل من المحاليل المائيّة.

التّبلور في الماجما

تتكون الماجما بشكل رئيس من العناصر الموجودة في مجموعة معادن السليكات – سليكون وأكسجين، إضافة إلى كلّ من: الألومنيوم، والبوتاسيوم، والصوديوم، والكالسيوم، والحديد والماغنسيوم. عندما تبدأ الماجما تبريد، تفقد الذرات في السائل الساخن طاقتها الكامنة. ثم تعمل قوة الجذب على سحب الذرات إلى بنية متبلور منتظمة. تتبلور المعادن من الماجما المتبردة بطريقة منظمة اعتمادًا على ترتيب درجة انصهارها.

تعتمد درجة تبلور المعادن السليكاتية على كمية السليكات في المعدن. ومع تبريد الماجما، فإنّ أول معدن يتبلور تكون له أعلى درجة انصهار وأقلّ كمية *سليكا* (Si مرتبط مع O)، بعكس آخر المعادن تبلورًا حيث له أقلّ درجة انصهار، وأكبر محتوى من السليكا (الشكل 12.20). لذا فالمعادن الغنية بالسليكا تنصهر على درجات حرارة أقلّ من المعادن القليلة السليكا. خذ في الحسبان معدني الكوارتز والفلسبار. عندما ينصهر صخر يحوي الكوارتز والفلسبار معًا، فإنّ الكوارتز ينصهر قبل الفلسبار؛ لأنّ الكوراتز يحوي كمية أكبر من السليكا (في الواقع الكوارتز هو سليكا نقية). وفي ماجما تبرد، يتبلور الكوارتز بعد الفلسبار عند درجات حرارة أقلّ.



الشّكل 12.20

المعادن الغنية بالسليكا ذات درجة انصهار قليلة. تكون أول المعادن انصهارًا، أما آخر المعادن فتكون تبلورًا. المعادن الفقيرة بالسليكا لها درجة انصهار مرتفعة هي آخر المعادن انصهارًا وأولها تبلورًا.

تتكون الماجما من سائل – النسبة المنصهرة – وبلورات مكونة حديثًا. وعمومًا عندما تتبلور المعادن في ماجما متبردة، تترسب العديد منها من السائل المنصهر. كما أنّ بعض السائل المتبقي قد يهاجر من المنطقة التي بدأت فيها عملية التّبلور. والنتيجة هي أنّ السائل المنصهر يصبح منفصلًا عن البلورات المكونة حديثًا مما يسمح بتغير تركيب السائل المتبقي مع استمرار عملية التّبلور.

يتغير تركيب السائل بسبب إزالة بعض مكوناته، وانضمامها إلى المعادن المتشكلة بداية. أما المكونات التي لم تصبح جزءًا من المعادن الجديدة، فتبقى في السائل وتنضم إلى المعادن المتكونة أخيرًا. يحدث ذلك لأنّ معظم المعادن ذات التراكيب المختلفة لا تتبلور بعشوائية، ولكن بترتيب يعتمد على درجة الحرارة كما شُرح سابقًا. تحوي المعادن المتكونة في النهاية سليكا أكثر وتجمعًا مختلفًا من العناصر – بنسب مختلفة- مقارنة مع المعادن المتكونة في البداية. ثم يصبح السائل المتبقي فقيرًا بالمكونات المعدنية التي تبلورت، وغنيًّا بالمكونات التي ستتبلور.

ولتسهيل فهم عملية التّبلور في ماجما تبرد، انظر في المثال التالي: افترض أنّ لديك قطع لعبة الكروت، 12 قطعة حمراء و 12 قطعة سوداء. اخلط القطع الـ 24 معًا لتكون مجموعة واحدة تمثل الماجما قبل تكون أيّ معدن. إذن، يتكون السائل من 50% قطع حمراء و 50% قطع سوداء. افترض أنّ 3 قطع حمراء وقطعتين سوداوين تم إزالتها لتكوين معدن، يبقى 9 قطع حمراء و10 سوداء في السائل المتكون حاليًّا من 19 بطاقة، يتكون السائل الآن من 47% حمراء و53% سوداء. لذا أصبح السائل يحوي نسبة أقلّ حمراء، ولكنه غني بالسوداء؛ أي أنّ تركيبها تغير. إذا كانت القطع السوداء تمثل جزيئات السليكا، فهل ترى الآن أنّ عملية التّبلور جعلت الماجما غنية بالسليكا؟ تسمح عملية التّبلور هذه لماجما واحدة أن تكوّن مجموعة من المعادن والصّخور النّاريّة.

كما أنّ الثلج ينصهر على درجة الحرارة نفسها التي تجمد عندها الماء، فإنّ درجة انصهار المعدن هي درجة بدء التّبلور نفسها من الماجما الساخنة.

الشّكل 13.20
تترسب كربونات الكالسيوم من الماء الذي يقطر في الكهف مكونًا هوابط بشكل القمع تتدلى نحو الأسفل في سقف الكهف، وصواعد تمتد نحو الأعلى من الأرض.

■ **نقطة فحص**

1. الأوليفين والبيروكسين من المعادن الحديدوماغنسية السليكاتية التي تتبلور من الماجما المتبردة. في سلسلة التّبلور، يتبلور الأوليفين أولًا، ثُمَّ البيروكسين. أي المعدنين يحوي سليكا أكثر؟

2. يتطلب وجود درجة انصهار عالية وجود درجة حرارة عالية للانصهار. إنّ درجة انصهار منخفضة تعني حرارة قليلة لتنصهر المعادن. كيف تفسر أنّ درجة الانصهار العالية تعني التّبلور أو لا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1 . يحتوي معدن البيروكسين على كمية سليكا أكثر من الأوليفين. ومع تبرد الماجما، فإنّ معادن تحوي سليكا أقلّ تتبلور قبل المعادن التي تحتوي على سليكا أكثر.

2 . عندما تكون الحرارة مرتفعة، فإنّ مكونات المعادن المحتملة تكون في الحالة السائلة. تذكر أنّ الماء يتجمد على الحرارة نفسها التي ينصهر عليها الثلج. لذا، فكّر في نقطة الانصهار على أنها مساوية لنقطة التجمد؛ أي التّبلور. يتكون الثلج عندما تنخفض حرارة الماء أقلّ من نقطة التجمد/ الانصهار. عندما تبدأ الماجما بالتبرد، فإنّ المعادن ذات درجة الانصهار المرتفعة تتبلور أولًا؛ لأنّ درجة حرارة الماجما انخفضت عن درجة تجمدها / انصهارها. المعادن ذات درجة الانصهار المنخفضة لا تتكون بعد؛ أي أنها تبقى في الحالة السائلة. لا يمكن أن تبدأ التّبلور حتى تصل إلى درجات حرارة منخفضة. لذا، فإنّ المعادن ذات درجات الانصهار المنخفضة تتبلور أخيرًا. عندما يتم ذلك كله، فإنّ الماجما تتحول إلى صخر.

التّبلور في المحاليل المائيّة

تتبلور المعادن في المحاليل المائيّة بطريقتين: الأولى، مرتبطة مع المراحل الأخيرة من تبلور الماجما – تحوي الماجما عادة 1% - 6% ماء. عندما يتصلب جسم من الماجما، فإنّ هذا الماء الساخن جدًّا يتحرك خلال الشقوق في الصخر الجديد، وعادة في الصّخور المجاورة – *نشاط حرمائي**. تحوي هذه المحاليل المائيّة العديد من المكونات المعدنية الذائبة. وتصبح هذه المحاليل مشبعة كيميائيًّا مع انخفاض الحرارة، مما يسبب ترسب العديد من المعادن. وعادة ما تترسب هذه المعادن في الشقوق وأحيانًا داخل الصخر نفسه. هناك العديد من ترسبات الخامات المهمة في هذه الأيام نجدها بهذه الطريقة.

وبالطريقة نفسها التي تكوّن المعادن الحرمائية، فإنّ **الرّسوبيّات الكيميائية (Chemical sediments)** تتكون بترسب المكونات المعدنية من المحاليل المائيّة. أما في الطريقة الثانية، فتتكون الرّسوبيّات الكيميائية عند درجات حرارة أقلّ كثيرًا من حرارة باطن الأرض، كما هو الحال في حرارة جسم مائي على سطح الأرض. تقسم الرّسوبيّات الكيميائية إلى نوعين، هما الكربونات والمتبخرات.

الكربونات معادن وصخور تتكون من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ التي تحوي معدن *الكالسيت*. كما أنّ معدن الدولوميت $CaMg(CO_3)_2$ أيضًا هو معدن كربونات شائع. ويمكن للكربونات أن تتكون بطريقتين هما: 1- ترسيب غير عضوي (لاحيوي). 2- ترسيب حيوي (عضوي). كما سنرى لاحقًا في هذا الفصل، يتكون العديد من صدف البحر من كربونات الكالسيوم التي يأخذها الكائن من مياه البحر. إنّ صخور الكهوف مثل الصواعد والهوابط مثال على كربونات الكالسيوم المترسبة بشكل غير حيوي من الماء الذي يقطر من أعلى الكهف (الشكل 13.20). وتتشكل الصواعد والهوابط لأنّ المياه الجوفية (الفصل 23) تلتقط الكربونات والكالسيوم في أثناء حركتها خلال صخور الحجر الجيري في الكهف. يكون الماء الذي يقطر مشبعًا بالكالسيت الذائب. لذا، تتشكل الصّخور من نقط المياه عندما يزيل التبخر كميات قليلة من الماء في أثناء تقطر الماء.

أما *المتبخرات* فهي معادن وصخور تترسب عندما يتبخر جسم محجوز من ماء البحر أو ماء بحيرة مالحة. ومن الأمثلة على هذا: الجبس، والانهيدرايت، والهاليت. وتستعمل هذه الأسماء لكلّ من المعادن والصّخور المكونة من نوع واحد من المتبخرات. تترسب المتبخرات في المحاليل المائيّة بطريقة مشابهة لتبلور المعادن من نوع واحد من المتبخرات. تترسب المتبخرات في المحاليل المائيّة بطريقة مشابهة لتبلور المعادن من

* النشاط الحرمائي غني بالفلزات النادرة. تبقى هذه العناصر في وضع كيميائي مريح (مختبئة) في المحلول المائي حتى إذا أصبح تركيزها في المحلول غالبًا فإن ذلك يسمح لها بأن تكون معادنها الخاصة بها - كخام الذهب مثلا.

الماجما. ولكن يكمن الفرق في أنّ الذوبانية وليست نقطة الانصهار هي التي تحدد المعادن التي تتبلور أولا. ومع استمرار التبخر، فإنّ المعادن ذات الذوبانية الأقل؛ أي الأصعب في الذوبان كالجبس، يتبخر أولًا، تتبعه المعادن التي تذوب بسهولة (المعادن ذات الذوبانية الأعلى) مثل الانهيدريت ثم الهاليت. وعلى الرغم من أنّ الكربونات تشكل معظم الرّسوبيّات الكيميائية، فإنّ المتبخرات قليلة، لكنها مهمة.

■ **نقطة فحص**

1 . ما نوع المعدن المتشكل، عندما يتبخر الماء من جسم مائي؟
2 . المعدن ذو الذوبانية القليلة لا يذوب بسهولة. أما المعدن ذو الذوبانية العالية فيذوب. كيف يرتبط هذا العامل (الذوبانية) مع التّبلور؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1 . تترسب معادن المتبخرات من المحاليل مع تبخر الماء.
2 . المعادن التي تذوب بسهولة تبقى ذائبة فترة أطول من المعادن التي لا تذوب بسهولة. لذا، مع جفاف جسم مائي محصور، فإنّ أول المعادن تبلورًا هي المعادن التي لا تذوب بسهولة – أي ذات الذوبانية القليلة. في حين تبقى المعادن التي تذوب بسهولة (ذوبانية عالية) في المحلول لفترة أطول، أي أنها آخر المعادن تبلورًا.

رأينا الآن الطرائق المختلفة لتشكل المعادن، ويمكننا الآن تعرف إلى كيفية تشكيل الصخر من تجمع مجموعة من المعادن. نعلم أنّ المعادن التي تشكلت من تبلور الماجما تكون الصّخور النّاريّة، والمعادن التي تشكلت بالترسيب من الماء أو من تبخره تشكل بعض أنواع الصّخور الرّسوبيّة. وسنرى الآن أيضًا أن الصّخور النّاريّة تتفتت لتكون صخورًا رسوبية، وأنّ نوعًا ثالثًا من الصّخور؛ الصّخور المتحوّلة، ينشأ عن الصّخور الموجود سابقًا. فالمعادن بأشكالها المتعددة هي حجارة البناء للصخور المختلفة على الأرض.

■ 6.20 أنواع الصّخور

يعرف **الصّخر** بأنه تجمع معادن. بعض الصّخور عبارة عن تجمع قطع من صَدَف أحافير، أو مادة عضوية صلبة، أو تجمع اثنين أو ثلاثة من هذه المكونات. وكما أنّ المعادن مزيج أو مركبات كيميائية، يمكن التفكير كذلك في أنّ الصّخور مزيج فيزيائي. ففي بعض الصّخور، تلتحم الحبيبات معًا، وفي بعضها الآخر تكون الحبيبات ملتحمة بقوة. ويمكن أن نرى بلورات المعادن في العديد من الصّخور. يحوي الجرانيت، وهو أحد أكثر الصّخور شيوعًا في قشرة الأرض، بلوراتٍ مرئية من معادن الفلسبار، والكوارتز، والهورنبلند وغيرها (الشكل 14.20). وبالمقابل، فإنّ صخورًا كالبازلت مثلًا، أو الغَضار، أو الأردواز يصعب تمييز الحبيبات فيها؛ لأنها صغيرة جدًّا بحيث لاترى بالعين المجردة.

تقسم الصّخور إلى ثلاثة أنواع (الشكل 15.20) اعتمادًا على طريقة تشكلها.

فالصخور النّاريّة (*Igneous Rocks*) تتشكل بالتبريد والتّبلور من صخر ساخن مصهور. وتعني كلمة *ناريّ* أنّ هذه الصّخور تشكلت من النار. وقد تشكلت الصّخور النّاريّة *الجوفية* عندما برد مصهور صخري – ماجما – تحت سطح الأرض. أما الصّخور النّاريّة *البركانيّة* فتتشكل عندما يبرد مصهور صخري على سطح الأرض؛ لابة. والبازلت صخر بركاني شائع. أمّا **الصّخور الرّسوبيّة (*Sedimentary Rocks*)** فتتشكل على سطح الأرض، أو بالقرب منه من تلاحم *الرّسوبيّات* وتراصها – صخر، أو معدن، أو صدفة، أو مادة عضوية صلبة حُملت مع الماء أو الرياح أو الجليد، وترسبت في مناطق منخفضة. تتشكل الصّخور الرّسوبيّة أيضًا عندما تترسب المعادن من المحاليل المائيّة على سطح الأرض أو بالقرب منه. الحجر الرملي، والغضار، والحجر الجيري صخور رسوبية شائعة.

الشّكل 14.20
الصخر تجمع معدن أو أكثر، وأحيانًا قطع صدف و/أو مادة عضوية صلبة. هذا الجرانيت هو تجمع معادن الفلسبار، والكوارتز والهورنبلند.

في حين تتشكل الصّخور المتحوّلة (*Metamorphic*) من صخور قديمة، صخور موجودة أصلا (نارية أو رسوبية أو متحولة) تحولت في باطن الأرض بفعل الحرارة العالية أوالضغط العالي أو كليهما – دون كلمة انصهار، فإنّ الكلمة متحولة تعني التغير في الشّكل. فمثلًا، الرخام صخر متحول عن الحجر الجيري، والأردواز متحول عن الغضار.

7.20 الصّخور النّاريّة

تتكون قشرة الأرض- بشكل رئيس- من صخور عديدة ذات أصل ناري. على القارات، الصّخور النّاريّة الشائعة هي الجرانيت والإنديزيت. أما على قاع المحيط، فالبازلت هو الصخر الشائع. والصّخور النّاريّة كلّها بدأت أصلًا من ماجما.

نشأة الماجما

تعلمنا أنّ العديد من المعادن تتشكل من تبريد الماجما. ولكن، أين تتشكل؟ هل توجد الماجما لأنّ باطن الأرض مصهور؟ الجواب لا؛ فباطن الأرض صلب تقريبًا وليس مصهورًا. والطبقة الوحيدة السائلة من الأرض مكونة من حديد مصهور وليس ماجما، ولا نجدها إلا على عمق 3000 كم تقريبًا.

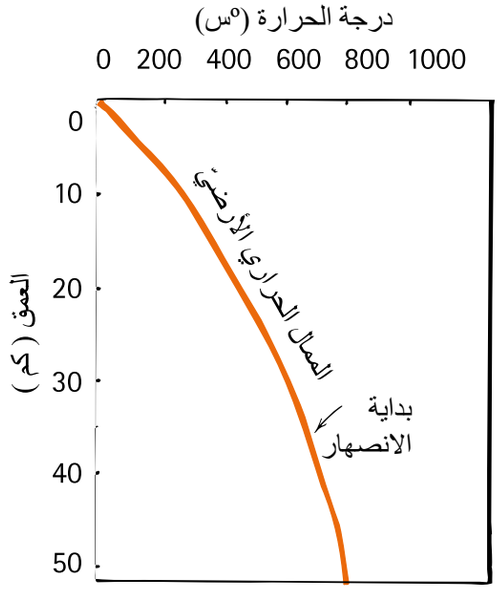
الشّكل 15.20
أنواع الصّخور الرئيسة الثلاثة:
(أ) البازلت والجرانيت صخور نارية.
(ب) الحجر الرملي والحجر الجيري صخور رسوبية.
(ج) الرخام والأردواز صخور متحولة.

ببساطة، تنشأ الماجما عن صخور انصهرت. وكما يبرد الماء لتكوين ثلج، تبرد الماجما وتتصلب لتكون المعادن التي تصبح صخرًا في النهاية. ولكن كيف ينصهر الصخر ليصبح ماجما؟ تشير درجات الحرارة التي تم تسجيلها في المناجم والآبار إلى أنّ درجة حرارة الأرض تزداد خلال معظم القشرة الأرضيّة بمعدل 30° س لكلّ كيلومتر من العمق (الشكل 16.20). إلا أنّ الزيادة في الحرارة غير كافية لتسبب صهر الصّخور. كما أنّ الحرارة في بعض الأعماق أكبر من حرارة الماجما.

إذا كانت الحرارة على عمق معين أسخن من الماجما، فَلِمَ تكون الصّخور صلبة؟ يمكن الوصول إلى الإجابة باستخدام الماء كمثال مشابه. راجع (الدرس 7.7). يحدث تغير في حالة الماء عند تسخينه إلى درجة الغليان. ونعلم أنّ الماء يغلي عند درجة 100°س على مستوى سطح البحر. وإذا زدنا الضغط، فإنّ الحرارة يجب أن تكون أعلى للوصول إلى الغليان. لذا، فإنّ تغير الحالة يحتاج إلى ضغط وحرارة. وفي حالة الصّخور الساخنة في الأعماق، تكون تحت ضغط كبير بسبب وزن الصّخور فوقها – عندها يكون الضغط كافيًا لمنع الانصهار، حتى على درجات حرارة أعلى من انصهار الماجما.

ولكن الصّخور تنصهر أحيانًا لتكون الماجما. وهناك ثلاثة أسباب لتفسير هذا: السبب الرئيس متعلق بكمية الماجما المتكونة. حيث ترتفع الصّخور الحارة إلى الأعلى، من الأعماق إلى مستويات ينخفض فيها الضغط لبدء الانصهار*.

آلية أخرى لتكون الماجما هي إضافة ماء إلى الصخر مما يؤدي إلى تقليل درجة الانصهار. ولفهم الانصهار الناتج عن حث السوائل يمكن استخدام الماء كمثال.



الشّكل 16.20
تزداد درجة الحرارة داخل الأرض بمعدل 30°س لكلّ كيلو متر من العمق من السطح إلى عمق القشرة الأرضيّة القارية (يكون الممال الحراري أقلّ كثيرًا في القشرة العميقة وفي الستار). تسمى هذه الزيادة في الحرارة مع العمق *الممالَ الحراريَّ الأرضيَّ*.

* تسلك الطبقة الواقعة تحت القشرة- الستار- سلوك مادة صلبة لدنة. ومع أنّ الحركة بطيئة جدًّا، إلا أنّ الصّخور تنساب بتيارات الحمل التي تجعل المادة الساخنة ترتفع والباردة تهبط.

إذا وجدت مادة غريبة في الماء، فإنها تقلل من درجة تجمدها (يجب أن تكون أبرد حتى تتجمد). وبالطريقة نفسها فإنّ المادة الغريبة تقلل نقطة انصهار الثلج. فمثلًا، إذا وضع الملح على ثلج بدرجة صفر °س، فإنه يؤدي إلى انصهاره مع أنّ الحرارة لم تتغير. يقلل الملح من درجة تجمد الماء. لذا، فإنّ صفر°س لم تعد منخفضة لدرجة تكفي لإبقاء الماء متجمدًا. وفي حالة الصخر، فإنّ الماء مادة غريبة تقلل درجة انصهار الصخر – مما يكفي لصهره.

ينشأ عن هاتين الطريقتين ماجما تصعد نحو الأعلى خلال الصّخور القديمة. وهذا يوصلنا إلى الطريقة الثالثة – وهي أنّ الصخر ينصهر إذا ارتفعت درجة حرارته، غالبًا، بسبب وجود مواد أسخن صعدت من مناطق أعمق. وسنقوم باستكشاف أول طريقتين بتفاصيل أكبر في الفصل 22 حيث يمكننا ربطهما بنموذج تكتونية الصّفائح. أما الآن فسنحدد نقاشنا في المعلومات العامة عن الماجما من الصّخور المصهورة.

تذكّر دائما أنّ الصخر هو تجمع من المواد الصلبة. لذا، فإنّ صهر الصخر إلى ماجما يحدث على مدى حراري واسع. فمع تسخين الصخر، فإنّ أول المعادن انصهارًا هي المعادن ذات درجة الانصهار المنخفضة. وهو مشابه لعملية التّبلور من الماجما، ولكن تغيّر الحالة يحدث بترتيب معكوس. إذا انصهرت المعادن جميعها في الصخر في آن واحد، فإنّ تركيب الماجما المتكونة سوف يكون مشابهًا لتركيب الصخر الأصلي. إلا أنّ الانصهار لا يحدث هكذا لأن القاعدة هي **الانصهار الجزئي (*Partial melting*)**.

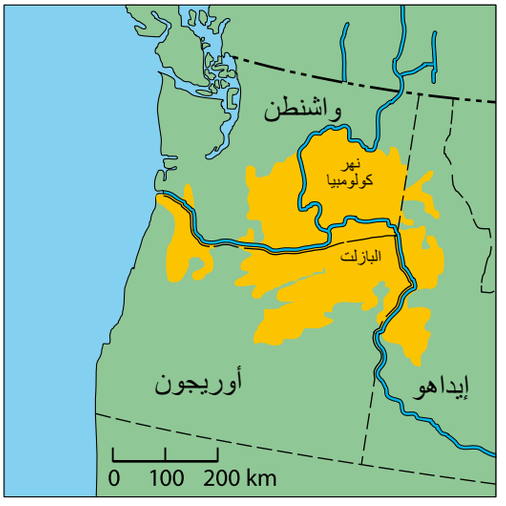
فالماجما الناتجة عن الانصهار الجزئي للصخر تتكون من الأجزاء المعدنية التي انصهرت فقط، أي المعادن ذات درجات الانصهار المنخفضة. وعليه، فإنّ الماجما المتكونة لها تركيب مختلف عن الصخر الذي انصهر جزئيًّا وكونها. وبهذه الطريقة، فإنّ الماجما تتكون بتراكيب مختلفة. ولأنّ الماجما تبرد لتكون صخورًا نارية، فإنه يوجد العديد من هذه الصّخور. ثمّ إنّ هناك أهمية أخرى للانصهار الجزئي، وهي أنّ الماجما المتكونة حديثًا تحوي سليكا أكثر من الصخر الأصلي؛ لأنّ المعادن الغنية بالسليكا تنصهر أولا. فالمعادن الفقيرة بالسليكا تبقى غير مصهورة.

ولتمثيل طريقة الانصهار الجزئي بشكل واضح، نفترض وجود وعاء يحوي كميات متساوية من الماء، وكذلك الزبد والجبن. بداية، نقوم بتجميد الخليط، والخليط المتجمد هو الآن صخر يتركب من 33% ماء. وبداهة، نعلم أنّ درجات انصهار الجليد والزبد والجبن مختلفة. وعند تسخين المزيج المتجمد، فإنّ أول المواد انصهارًا هو الماء. والمواد التي انصهارها أصعب كالزبد والجبن تبقى غير منصهرة في "الصخر". لدينا الآن سائل مكون من 100% من الماء، أي أنّ نسبة الماء في السائل أعلى من نسبة الماء التي كانت في "الصخر".

أنواع ثلاثة من الماجما، أنواع ثلاثة رئيسة من الصّخور النّاريّة

هناك ثلاثة أنواع رئيسة من الماجما هي: *بازلت*، *وأنديزيت*، *وجرانيت*. وعمومًا، فإنّ الأنواع المختلفة من الماجما توجد في أماكن مختلفة جيولوجيًّا. وسنربط هذه الأنواع الثلاثة من الماجما بالصّفائح التّكتونيّة في الفصل 22.

إنّ أكبر المناطق في باطن الأرض هي الستار الصلب، وهو مكوّن من صخور نارية ذات نسبة سليكا قليلة. وعندما تتعرض هذه الصّخور للانصهار الجزئي، تتكون ماجما بازلتية قليلة السليكا نسبيًّا، تحوي 50% سليكا تقريبًا. وإذا تصلّبت على سطح الأرض، كوّنت لابة بازلتية، وهو الصخر الناري القاتم اللون المعروف *بالبازلت*، وهو الصخر الذي تتكون منه جزر هاواي وقشرة المحيط. تحوي الماجما الأنديزيتية 60% سليكا. يتكوّن صخر الأنديزيت من لابة أنديزيتية أخذت اسمها من جبال الأنديز في أمريكا الجنوبية. تحوي الماجما الجرانيتية 70% سليكا، وإذا بردت ببطء يتكون *الجرانيت* وصخور جرانيتية مشابهة. وتتكون الصّخور النّاريّة في القشرتين القارية والمحيطية معا من 80% من البازلت، و 20% من الأنديزيت، و10% من الجرانيت.



الشّكل 17.20
يغطي البازلت المتدفق الذي كوّن هضبة كولومبيا أكثر من 200000 كم^2 من سطح الأرض.

(أ)

(ب)

(جـ)

الشّكل 18.20
الأنواع الثلاثة من البراكين:
(أ) براكين الدروع، مثل مونا لوا الذي لديه منحدرات قليلة الميل 1 - 10° عن الأفق. (ب) مخروط الرماد، كفوهة سنست في أريزونا، له ميل حاد 25 - 40° وشكل الفوهة كالوعاء. (جـ) المخاريط المركبة كجبل بكترسكي في فوجي أيضًا حاد. وبالمعدل، فإنّ ميل البراكين المركبة يبدأ من 30° عند القمة ويقل تدريجيًّا حتى يصل 10° عند القاع.

■ **نقطة فحص**

1 . إذا كان 80% من الصّخور النّاريّة قد نشأ عن ماجما بازلتية، فلماذا نرى كثيرًا من الجرانيت؟
2 . إذا كانت الماجما البازلتية قد نشأت عن الانصهار الجزئي لصخور الستار، فكيف تكونت معظم الماجما الجرانيتية؟

هل كانت هذه إجابتك؟

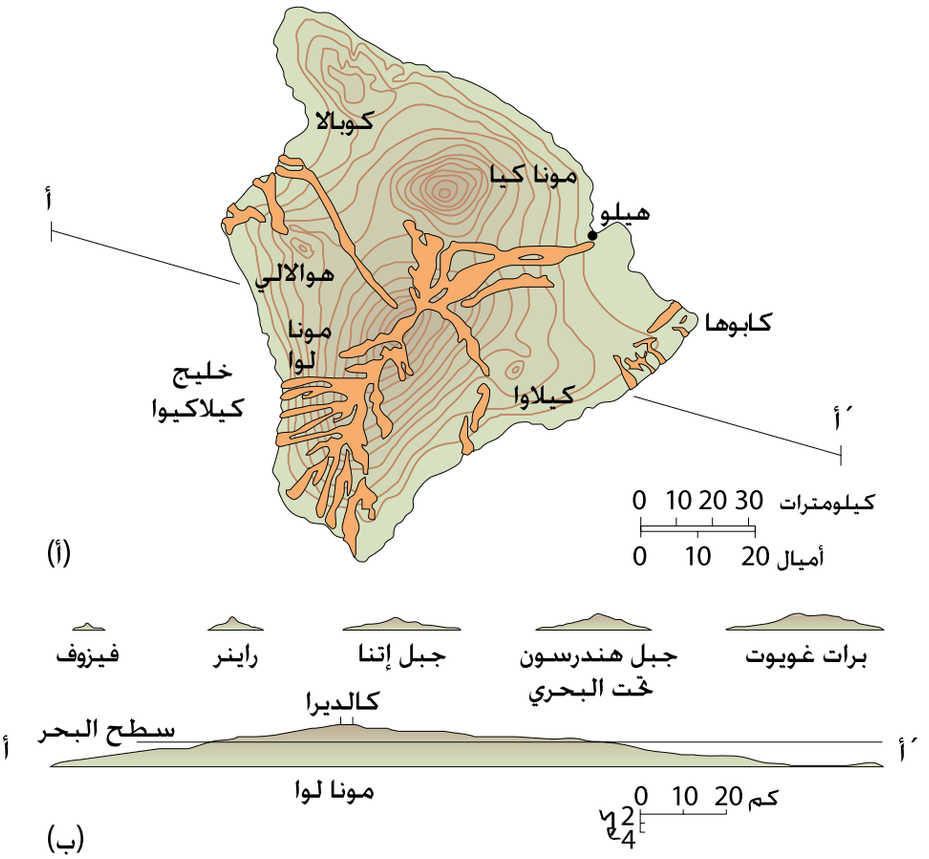
1 . البازلت هو الصخر الناري الشائع على قاع المحيط. انظر إلى مجسم كرة أرضية لترى أنّ المحيطات تغطي 71% من سطح الأرض. ونرى الكثير من الجرانيت لأنه الصخر الأكثر شيوعًا على القارات.
2 . عندما تصعد الماجما نحو سطح الأرض، فإنها تلامس الصّخور المجاورة. تحوي الصّخور القشرة القارية كمية من السليكات أكبر من الستار. ويتم صهر الصّخور الغنية بالسليكا جزئيًّا عن طريق الماجما الصاعدة نحو الأعلى وانضمامها إلى المصهور، مما يزيد محتوى الماجما من السليكا. إضافة إلى أنّ عملية التّبلور تزيد محتوى الماجما من السليكا. ومع بدء تبلور الماجما وانفصال السائل عن البلورات، يصبح السائل أكثر غنى بالسليكا. وفي النهاية يتم تكوين ماجما جرانيتية (70% سليكا) وعندما تبرد ينشأ صخر الجرانيت.

الصّخور النّاريّة على سطح الأرض

تقسم الصّخور النّاريّة إلى نوعين اعتمادًا على مكان تشكلها؛ فالصّخور النّاريّة الناتجة عن ثوران المصهور الصخري على سطح الأرض تسمى **صخورا بركانيّة (*Volcanic Rocks*)** (أو *سطحية*). أما **اللابة (*Lava*)** فهي الماجما المصهورة عندما تندفع من باطن الأرض إلى السطح وتنساب عليه. يطلق مصطلح لابة على الصخر المصهور وعلى الصخر الصلب الذي يتكون منه.

يمكن للابة أن تندفع خلال الشقوق في سطح الأرض، أو خلال فوهة مركزية؛ بركان. وعلى الرغم من أنّ اندفاع الماجما من الشقوق أكثر شيوعًا، إلا أنّ ثورات البركان مألوفة لنا أكثر، لأننا نراها بشكل أخّاذ. يحدث معظم اندفاع الشقوق تحت الماء حيث تندفع اللابة البازلتية في أماكن تباعد قاع المحيط بعضها عن بعض. كما يحدث ثوران الشقوق على اليابسة. وقد تدفقت كميات كبيرة من اللابة التي تسمى *البازلت الفيضي* على فترات عبر تاريخ الأرض وغطت مساحات واسعة مكونة سهول اللابة. وقد نتجت هضبة كولومبيا في المحيط الهادي الشمالي الغربي عن بازلت فيضي كثيف (الشكل 17.20)، وكذلك هضبة الديكان في الهند.

البراكين فوهات يصعد منها الماجما إلى سطح الأرض، وتثور على شكل لابة. وهناك ثلاثة أنواع من البراكين هي: الدروع، ومخروط الرماد، والمركبة (الشكل 18.20)



الشّكل 19.20

(أ) مونا لوا بركان دروع على جزيرة هاواي، وهو أكبر بركان على الأرض. (ب) عند مقارنته بالبراكين الكبيرة الأخرى يظهر حجمه واتساعه المثيران.

تنشأ براكين الدروع عن تدفق منتظم للابة بازلتية سهلة التّدفّق. حيث تتدفق خارجًا في الاتجاهات جميعها لتكوّن مخروطًا ذا جوانب قليلة الانحدار. يعدّ بركان مونا لوا في هاواي أكبر بركان على الأرض. وهو بركان دروع يرتفع 4145م فوق سطح البحر. وأكثر من 9750م فوق قاع المحيط (الشكل 19.20) .

أما *براكين مخروط الرماد* فتكون ذات حواف حادة. ولكنها صغيرة مقارنة ببراكين الدروع. إنّ مخاريط الرماد غير محصورة بنوع واحد من اللابة. بل تتكون من تراكم رماد وفتات. وصخور تفجرت من فوهة واحدة لتكوّن مخروطًا متماثلًا منحدر الجوانب. وهناك مثالان معروفان لمخاريط الرماد هما: فوهة سَنْسِت في أريزونا. وباريكوتن في المكسيك.

في حين ينشأ بركان *المخروط المركب* عن طبقات متتابعة من اللابة والرماد والطين. للمخاريط المركبة قمة ذات حواف حادة وجوانب قليلة الانحدار. ومن الأمثلة على المخاريط المركبة بركان جبل سانت هيلينز في ولاية واشنطن وهو نشط. ثار البركان بقوة عام 1980 . وغيّر حياة آلاف البشر. وحوّل أكثر من 200 ميل مربع إلى أرض محروقة بعد أن كانت غابة.

تثور البراكين المركبة بانفجار؛ لأنّ الماجما واللابة فيها لا تتدفق بسهولة. تقوم الماجما اللزجة بحجز الغازات التي تزيد الضغط داخل البركان. ويمكن مقارنة الغازات في الماجما بالغازات في زجاجة مياه غازية. فإذا قمنا بتغطية الزجاجة وتحريكها بقوة. فإنّ الغازات تنفصل عن السائل مكوّنة فقاعات. وعند إزالة الغطاء. يتحرر الضغط. وتنفجر الغازات والسائل من الزجاجة. تسلك الغازات في الماجما السلوك نفسه. وفي بداية البركان. يزداد كلّ من الضغط والحرارة. وتنفجر الماجما اللزجة والصّخور فوقها إلى غبار وحجارة. وعندما تتحد مع الرماد البركاني. فإنّ هذا الخليط يتمدد ويدمر كلّ شيء في طريقه. ومن أمثلة ذلك النشاط الذي حدث في جبل فيزوف عام 1979م. وجبل بيلي 1902م. وسانت هيلينز 1980م.

وهناك ثلاثة أنواع من الصّخور البركانيّة هي: بازلت. وأنديزيت. وريوليت. يتكون الريوليت عند ثوران لابة غرانيتية على سطح الأرض. ويوجد بأشكال مختلفة (الشكل 20.20). ويمكن أن يكون صخرًا بركانيًّا ناعم الحبيبات. أو أن تبرد اللابة بسرعة لتكون زجاجًا بركانيًّا أو خفافًا إذا وجدت فراغات صغيرة بسبب فقاعات الغاز في الصخر. أو أوبسيدين إنْ لم توجد فراغات. أو رمادًا بركانيًّا إذا ثار منفجرًا.

لمعلوماتك

تتكون الصّخور البركانيّة مثل البازلت على سطح الأرض حيث تبرد بسرعة. ولها بلورات مجهرية. تتكون الصّخور الجوفية مثل الجرانيت تحت سطح الأرض حيث تبرد ببطء. لذا. فإنّ لها بلورات ترى بالعين المجردة.

(أ)

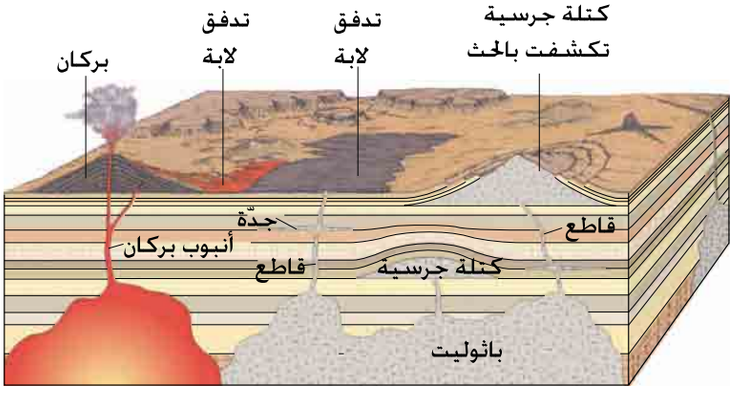
(ب)

(جـ)

الشّكل 20.20
يوجد الصخر الناري ريوليت بعدة أشكال هي:
(أ) ريوليت ناعم الحبيبات (ب) خفاف (جـ) أوبسيدين

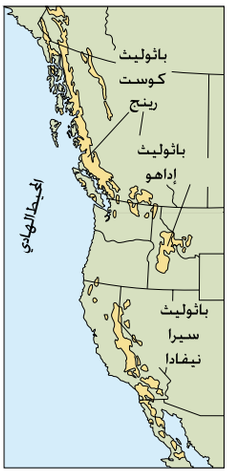
الصّخور النّاريّة تحت سطح الأرض

عندما تبرد الماجما تحت سطح الأرض، يسمّى الصّخر النّاريّ المتشكّل **صخرًا جوفيًّا (*Plutonic Rock*)** (أو محقونًا). وقد اشتقت كلمة *plutonic* من كلمة (بلوتو) التي تعني إله العالم السّفلي. تسمى الصّخور الجوفية جميعها المحقوناتِ (جمع محقون). ولأنها صخور جوفية، فإنه لا يمكن دراستها إلا بعد أن تتكشّف بالرفع والحتّ على سطح الأرض. ويعدّ الجرافيتُ الصّخرَ الجوفيَّ الأكثر شيوعًا.



الشّكل 21.20
مقطع يوضح مظاهر نارية جوفية.

توجد المحقونات بأشكال وأحجام مختلفة، تتراوح بين أشكال أنابيب صغيرة تسمى *قواطع*، إلى أجسام كبيرة تدعى *باثوليثا* (الشكل 21.20). وتعدّ الباثوليث أكبر المحقونات، وقد تغطي مساحة أكبر من 100 كم^2 على سطح الأرض، وتتكوّن من أحداث جوفية في أثناء ملايين السنين – وتكون مركز العديد من الجبال الرئيسة حول العالم. وعمومًا، فهي تمثل حجرات الماجما المتبلورة التي غذّت لمدة طويلة براكين مجوّاة. كما أنّ العديد من الجبال الحالية ما هي إلا لبّ باثوليث متكشف كان يشكّل جبالًا أكبر، وأزيلت بالحتّ منذ مدة طويلة. بعض الباثوليث الكبيرة في أمريكا الشمالية هو باثوليث كوست وينج والسيرانيفادا (الشكل 22.20). ومن المثير حقًّا معرفة أنّ السيرانيفادا ترتفع مع الزمن – بعد أن تبلورت الماجما – لأنّ معدل الرفع أكبر من معدل التّعرية.



الشّكل 22.20
مقطع يوضح مظاهر نارية جوفية.

8.20 الصّخور الرّسوبيّة

تعدّ الصّخور الرّسوبيّة الأكثر شيوعًا في الجزء العلويّ من القشرة؛ فهي تغطي ثلثي سطح الأرض مكونة طبقة رقيقة فوق الصّخور النّاريّة والمتحوّلة القديمة. ولأنّ الصّخور الرّسوبيّة تحوي بقايا كائنات وصخور قديمة، فإنها تعطي معلومات عن الأحداث الجيولوجية التي حدثت على سطح الأرض.

الشّكل 23.20
الصّخور على قمة هذا الجبل في منطقة ويلز تم تفتيتها بالتّجوية الميكانيكيّة. في هذه البيئة الباردة يتجمد الماء في شقوق الصخر، ويتمدد، مما يسبب تكسر الصخر.

لمعلوماتك

عندما يتجمد الماء فإنّ جزيئات الماء ترتّب نفسها في بناء بلوريّ ذي ستة جوانب وتحوي فضاء كبيرًا. لذا فإنّ الماء يتمدد مع التجمد. وفي الطبيعة، تقوم عملية التجمد بتفتيت الصخر ميكانيكيًّا. يحدث وتد الجليد عندما يتسرب الماء إلى الشقوق الصغيرة ثم يتجمد، ويتمدد فيتسع الشق. وفي النهاية، ومع تكرار التجمد فإنّ الشقوق تكسر الصخر.

تكوّن الصّخر الرّسوبيّ

يتكوّن الصّخر الرسوبيّ بعملية طويلة تتكون من أربع مراحل هي: *تجوية*، *وتعرية*، *وترسيب*، *وتصخّر*. **فالتّجوية (*weathering*)** هي تفتّت الصّخر في مكانه على سطح الأرض أو بالقرب منه. تقوم العوامل مثل الماء، والرياح، والجليد، والسوائل الكيميائية بتجوية الصخر، أي تفتيته إلى قطع صغيرة، وتشقق سطحه، وبري حوافّه، وفي بعض الأوقات تغيّر تركيبه الكيميائي. وهناك نوعان من التّجوية هما: *الميكانيكيّة*، *والكيميائية*. وكلاهما يؤدي إلى تكوين رسوبيات. تقوم *التّجوية الميكانيكيّة* بتفتيت الصّخور فيزيائيًّا إلى قطع صغيرة (الشكل 23.20). فمثلًا، تجمد الجليد وانصهاره يمكن أن يوسع الشقوق الموجودة في صخر. أما في *التّجوية الكيميائية*، فنجد أنّ التفاعل مع الماء يحلل الصخر. تمامًا كما تقوم البكتيريا بتحليل المادة العضوية، ولكن بتفاعلات كيميائية مختلفة (الشكل 24.20). وبما أنّ الماء السائل وبخار الماء موجودان في كلّ مكان (عدا الماء السائل في الأقطاب)، فإنّ التّجوية الكيميائية تنتج رسوبيات أكثر من التّجوية الميكانيكيّة.

الشّكل 24.20
صخور الجرانيت في صحراء موجافا في كاليفورنيا تم بريها إلى أشكال دائرية بالتّجوية الكيميائية. يقوم ماء المطر بتحليل الطبقة الخارجية من الصخر مما يجعل الصخر سهل التّعرية. يقوم المطر بتعرية الصخر بإزالة الطبقات الخارجية الضعيفة تاركة كتلًا دائرية الشّكل. يحدث التّدوير لأنّ التّجوية الكيميائية تكون أسرع عندما تزداد المساحة المعرضة للتجوية، تضم الحواف والزوايا أكبر مساحة سطحية.

مع تجوية الصخر فإن يتعرى أيضًا. **التعرية (*Erosion*)** عملية يحدث فيها إزالة ونقل أجزاء الصخر التي تم تجويتها بواسطة الماء، أو الرياح أو الجليد. الفرق الأساسي بين التجوية والتعرية أن التعرية لا تحدث في كل مكان. بل تتطلب الحركة. فالماء الجاري هو العامل السائد في التعرية. تكون القطع الناتجة عن التجوية الميكانيكية للصخر ذات حواف حادة عندما تنشأ في البداية. وفي أثناء عملية النقل، وبخاصة الماء، تقوم القطع المختلفة بالتصادم والتكسر، ما يؤدي إلى تصغير حجمها وبري حوافها الحادة. وعندما تتوقف عملية النقل تبدأ عمليتا الترسيب والتصخر.

التوضع *deposition* هو المرحلة التي تستقر فيها الحبات المعراة. تترسب المواد على شكل طبقات أفقية، وكل طبقة أحدث من التي تحتها. وكلما زاد حجم الرسوبيات كلما كان التيار أقوى ليقدر على حملها. ومع تباطؤ التيار فإن الحبات الكبيرة تترسب أولًا بينما تبقى الحبات الصغيرة محمولة مع التيار. وبهذه الطريقة يتم فرز الرسوبيات بحسب الحجم (الشكل 25.20).

في عملية **الترسيب *sedimentation***، تترسب الرسوبيات أفقيًّا طبقة تلو الأخرى. ومع تراكم الرسوبيات تبدأ في التحول إلى صخر رسوبي. عندها نقول إن الرسوبيات قد **تصخرت *lithified***، يعني ننها بدأت تتحول إلى صخر. يحدث التصخر عن طريقة عمليتي **التراص *compaction*** **والسمنة *-ce mentation***. المرحلة الأولى هي التراص. فمع ضغط وزن الرسوبيات العليا على الطبقات الأعمق ، تتراص حبات الرسوبيات معًا. ويعمل التراص على إخراج الكثير من الماء من الفراغات بين حبات الرسوبيات. عادة ما يحتوي الماء المسامي المتبقي مواد ذائبة مثل السليكا، وكربونات الكالسيوم وأكاسيد الحديد. يمكن لهذه المركبات أن تترسّب من المحاليل وتملأ جزئيًّا المسامات بمادة المعدن.تقوم مادة المعدن بلحم الحبات معًا وتصبح مادة لاحمة. هذه هي عملية السمنتة. تعد مادة السيليكا أكثر المواد اللاحمة ديمومة، وتكون أكثر الصخور الرسوبية صلابة ومقاومة. عندما يكون أكسيد الحديد مادة لاحمة فإنه يؤدي إلى تكون الصبغة الحمراء أو البرتقالية التي تُرى عادة في الصخور الرسوبية. إن لون الصخور في الحديقة العامة برايس كانيون في يوتا تعطي مثالًا جميلًا للتلون بأكسيد الحديد (الشكل 26.20).

(أ) رسوبيات جيدة الفرز

(ب) رسوبيات رديئة الفرز

الشكل 25.20
الرواسب التي تتكون من حبات متشابهة في الحجم والشّكل تسمى *جيدة الفرز*. في حين تحوي الرّسوبيّات رديئة الفرز حبات مختلفة الأشكال والأحجام. وعمومًا فإنّ الرّسوبيّات رديئة الفرز نقلت مسافة قصيرة قبل الترسيب، أما الرّسوبيّات الجيدة الفرز والاستدارة، فقد نُقلت مسافة طويلة قبل الترسيب.

لمعلوماتك

يعطينا حجم الرّسوبيّات وشكلها دلائل على نقل الرّسوبيّات. رسوبيات الجليد الرديئة الفرز زاويّة لأنها حجزت داخل الجليد في أثناء النقل. أمّا رسوبيات الرياح فجيدة الفرز وصغيرة. الرياح تنقل حبات صغيرة.

الشكل 26.20
إنّ سبب وجود الألوان الحمراء والبرتقالية في الصّخور الرّسوبيّة في يوتا هو وجود أكسيد الحديد.

لمعلوماتك

الكائنات الحية وبخاصة المجهرية منها متوافرة في الأنهار، والبحيرات والمحيطات. وهي تأخذ الماء، وتستخدم المعادن الذائبة فيه لبناء صدفها وهياكلها وجدران خلاياها. وقد تكوّن مقدارًا كبيرًا من الكالسيت بهذه الطريقة. وعند موت هذه الكائنات فإنها تترسب على القاع مكوّنة طبقات رسوبيات كيميائية.

(أ)

(ب)

(ج)

الشّكل 27.20

أنواع الصّخور الرّسوبيّة الفتاتية:
(أ) الغَضار أكثر الصّخور الرّسوبيّة شيوعًا، ويتكون من حبات ناعمة بحجم الطين. (ب) الحجر الرملي مكوّن من حبات بحجم الرمل. (جـ) الكونغلوميرات مكوّن من حبات رديئة الفرز دائرية بحجم الحصباء، مع وجود الرمل والطين.

الجدول 3.20 تصنيف الصّخور الرّسوبيّة الفتاتية

رسوبيات	حجم الحبات	الصخر
خشن		
حصاة: جلمود	256 ملم	كونغلوميرات
حصاة: حصاة كبيرة	64 ملم	
حصاة: حصاة		
	2 ملم	
رمل	0.062 ملم	حجر رملي
طين: غرين	0.0039 ملم	حجر غريني
طين: طين		حجر طيني
ناعم		

■ **نقطة فحص**

أي أنواع النّجوية تكوّن معظم الرّسوبيّات: الكيميائية أم الميكانيكة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

انظر إلى عوامل النّجوية لترشدك في تفكيرك. الماء هو العامل الأساسي في النّجوية. يتفاعل الماء السائل وبخار الماء مع الصخر لتكسيره. أما التجمد والانصهار اللذان يؤديان إلى تكسير الصخر فهما أقلّ شيوعًا. وبهذه الطريقة، فإنّ الماء يقوم بعمل مزدوج. ولأنّ الماء السائل وبخار الماء موجودان في كلّ مكان تقريبًا، فإنّ النّجوية الكيميائية هي المكوّن الرئيس للرسوبيات.

تصنيف الصّخور الرّسوبيّة

تقسم الصّخور الرّسوبيّة إلى مجموعتين استنادًا إلى مكوناتها هما: *فتاتية وكيميائية*. تتكون الصّخور الرّسوبيّة الفتاتية من قطع صغيرة من صخر مجوّى، قطع صدف و/أو مادة عضوية صلبة. تصنف الصّخور الرّسوبيّة الفتاتية بحسب حجم الحبات (الجدول 3.20). يعدّ التصنيف منطقيًّا؛ لأنه يساعدنا على معرفة بيئة الترسيب التي تكوّن فيها الصخر. فمثلًا، تترسب الحبات ذات الأحجام الكبيرة في بيئة قوية كالأنهار الهادرة، وتترسب الحبات الصغيرة في الماء في بيئات هادئة، كوسط بحيرة أو وسط محيط. فإذا انتقلنا من الحبات الصغيرة إلى الكبيرة، فإنّ الأنواع الرّسوبيّة الفتاتية الشائعة هي *الغَضار* (يتضمن في هذا الكتاب الحجر الطيني)، *والحجر الرملي*، *والكونغلوميرات* (الشكل 27.20).

يتكون *الغضار* (أو *الحجر الطيني*) من تراكم وتراصّ حبات صغيرة من الغرين والطين، وتكون طبقاته رقيقة، ولها قابلية الانفصام إلى رقائق موازية للطبقات المترسبة. إنّ الحبات الصغيرة جدًّا تدلّ على ترسّب في بيئة هادئة متميزة بماء راكد كأحواض المحيطات العميقة، والسهول الفيضية، والدلتا، والبحيرات، والبحيرات الشّاطئية. يعطي لون الغضار دلائل على بيئة التكون؛ فالغضار الرمادي إلى الأسود يدلّ على وجود مادة عضوية تحفظ فقط في بيئة قليلة أو عديمة الأكسجين مثل المستنقعات. إذا وجدت كمية كبيرة من الأكسجين في بيئة الترسيب، فإنّ البكتيريا تعمل على تحليل المادة العضوية بسرعة كبيرة. يعدّ الغضار الأسود ذا أهمية تجارية لأنه الصخر الرئيس المولد للنفط الخام. يحوي الغضار الأحمر والبني أكسيد الحديد الثلاثي (أحمر) أو هيدروكسيد الحديد (بني).

وتشير هذه الأكاسيد إلى بيئة ترسيب غنية بالأكسجين، حيث إنّ الماء العميق مخلوط جيدًا مع ماء سطحي. والغضار الأخضر لا يحوي مادة عضوية، بل أكسيد أو هيدروكسيد الحديد.

تصنّف *الصّخور الرّمليّة* إلى ثلاثة أنواع استنادًا إلى مكوناتها المعدنية. فإذا كان الكوارتز هو المعدن الرئيس، فعندها يسمى الصّخر *حجرًا رمليًّا كوارتزيًّا*. يتكون الحجر الرملي الكوارتزي من حبات كوارتز دائرية جيدة الفرز. ويسمى الحجر الرملي الذي يحوي كميات من الفلسبار أركوزًا. تكون الحبات في الأركوز ذات حواف ليست جيدة الفرز، كما في الحجر الرملي الكوارتزي. أما الحجر الرملي المكون من خليط من المعادن وقطع صخرية ذات حواف فيسمى *غريواكيا*. يتكون الحجر الرملي في العديد من بيئات الترسيب التي تتضمن الكثبان الرملية، والشواطىء، والحواجز الرملية البحرية، وقنوات الأنهار، والوديان، والأودية تحت البحرية- أي في الأماكن جميعها التي يقوم الماء المتوسط القوة بترسيب حبات متوسطة الحجم.

تتكون *الكونغلوميرات* من قطع معادن وصخور بحجم الحصباء وأصغر. أما القطع الصخرية الكبيرة، فقد نقلت بتيار مائيّ كاف في قوته لحملها، ما يعني بيئة ترسيب قوية مثل الأنهار السريعة. ولأنّ هذه التيارات القوية تبري القطع الصخرية، فإن كانت استدارتها جيدة كان ذلك دلالة على المسافة التي نُقلت خلالها. توجد الكونغلوميرات عادة في قنوات الأنهار، وعلى الشواطىء السريعة التّعرية.

الشّكل 28.20
تكوّنت هذه "الفكوك" من الترافرتين في باموكال في تركيا بترسيب كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ من مياه ينابيع معدنية حارة.

الصّخور الرّسوبيّة الكيميائية

تذكّر أنّ الرّسوبيّات الكيميائية ومن ثم الصّخور الكيميائية تتكون عن طريق ترسب المعادن من المحاليل المائيّة. تكونت بعض صخور الكربونات مثل الترافرتين من ترسيب غير عضوي لكربونات الكالسيوم (الشكل 28.20). أما المتبخرات مثل الهاليت، فتكوّنت أيضًا عن طريق الترسيب الكيميائي الناتج عن تبخر ماء مالح. وعمومًا فإنّ الصّخور الرّسوبيّة الكيميائية تتكوّن عندما لا توجد رسوبيات فتاتية.

يحدث الترسيب بشكل غير مباشر عندما تقوم الكائنات المائيّة بأخذ المكونات الذائبة واستخدامها في بناء الصدف أو أجزاء الجسم الصلبة، أو إكمال عمليات حياتية يتم فيها تكوين أجزاء صلبة ثم إطلاقها نحو الماء. تسمى الرّسوبيّات الكيميائية التي رسبتها الكائنات رسوبيات بيوكيميائية. ويتكون الحجر الجيري من معدن الكالسيت ($CaCO_3$) وهو أكثر صخور الكربونات شيوعًا. تتكون 90% من صخور الحجر الجيري نتيجة الأنشطة الحيوية. كما أنّ العديد من الكائنات البحرية تصنع صدفها من الكالسيت. وعند موت هذه الكائنات، يتراكم صدفها على قاع البحر، ويبدأ الصدف في الذوبان مكونًا رزغات كلسية غير متبلورة. تتبلور الرزغات في النهاية إلى كالسيت، ومن ثَمَّ يتكون الحجر الجيري. وبسبب التّراص وسهولة ذوبان كربونات الكالسيوم، فإنّ البناء الأساسيّ لصدف البحر يتدمر. أحيانًا، يحافظ الصدف وقطعه على شكله ويرى على شكل حجر جيري أحفوري متحجر، أي كوكينا (الشكل 29.20).

يفضل المُناخ الدافئ ترسيب الكربونات؛ لأنّ الكربونات أكثر ذوبانية في الماء البارد منها في الماء الدافىء. تحتاج رسوبيات المتبخرات إلى مُناخ جاف يسبب تبخر البحيرات وماء البحر. ومع جفاف الماء، تترسب معادن المتبخرات وتبقى هناك. يدل وجود صخور المتبخرات والكربونات القديمة على القارات على أنّ بحارًا ضحلة غطت اليابسة على فترات في الماضي.

الشّكل 29.20
الكوكينا مثال على حجر جيري بيوكيميائي. يتكون الكوكينا من صدف وقطع صدف. وهو حجر جيري أحفوري – مليء بالأحافير!

(أ)

(ب)

(ج)

(د)

الشّكل 30.20

بعض أنواع التحفّر.

(أ) يحدث *التمعدن* عندما تمتلئ تجاويف في بقايا كائنات بماء يحوي معادن ذائبة. والخشب المتحجر يتكون بهذه الطريقة. (ب) *طبعة* أو *قالب* مكون من كائن أو جزء منه تم دفنه قبل تحلله. ومع أنّ الكائن يتحلل في النهاية، إلا أنه يحفظ شكله بعد دفنه في الرّسوبيّات قبل تحلله. فيحفظ كقالب (جـ) يحدث *الاستبدال* عندما تستبدل بقايا كائن بمعدن. لقد قام البيريت باستبدال المادة الأصلية للكائن في هذه العينة. (د) يحدث *التفحم* عندما يتم حفظ الكائن على شكل طبقة رقيقة من الكربون.

■ **نقطة فحص**

1 . ما الذي يجعل الفحم مميزا بين الصّخور؟
2 . هل الفحم صخر رسوبيّ كيميائيّ أم فتاتيّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1 . لأنه يتكون من مواد عضوية وليس معادن.
2 . الفحم صخر رسوبيّ كيميائيّ، وبدقة أكثر بيوكيميائيّ.

الأحافير: دلائل على الحياة في الماضي

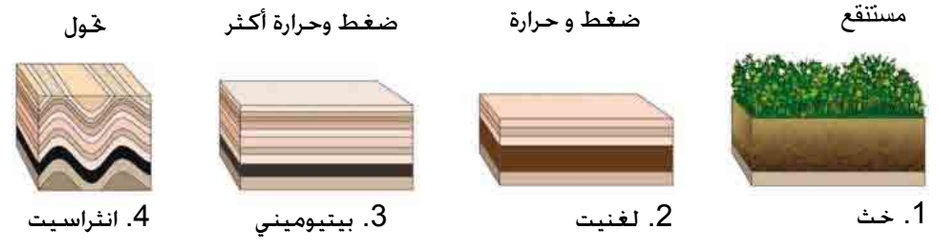
لأنّ الصّخور الرّسوبيّة (فتاتية وكيميائية) تتكوّن على سطح الأرض، فإنها تحوي عادة بقايا أشكال حياة – أحافير. لا تخبر الأحافير عن الحياة على الأرض فقط، ولكنها تعطي دلائل على الماضي الجيولوجي لها. وكما سنرى في الفصل 21، فإنّ الأحافير قد تعطي إجابات عن مكان ترسبت الرّسوبيّات وزمنها. كما أنها تساعد على مطابقة الصّخور في أماكن مختلفة لها العمر الجيولوجي نفسه. تتكون بعض الأحافير من كائنات كاملة، ولكن معظمها عبارة عن أجزاء من الكائن. وهناك أحافير أخرى عبارة عن طبعات عُمِلت في الصخر قبل أن يتصلب. تترك النباتات طبعات على شكل غشاء رقيق من الكربون. وتتحفر الكائنات بعدة طرق (الشكل 30.20)

■ 9.20 الصّخور المتحوّلة

ماذا يحدث لكتلة صخرية جُلِب إلى مكان ذي حرارة وضغط أعلى من البيئة التي تكونت منها؟ إنّ التّغيّر في الظروف الفيزيائية والكيميائية التي يتعرض لها الصخر تؤدي إلى تغييره. وهناك صخر جديد يتكون من صخر قديم. إنّ الصخر الجديد مستقر تحت الظروف الجديدة على الرغم من أنّ الصّخر الموجود لم يكن كذلك.

تسمّى التغيراتُ التي تحدث في الصخر بسبب تغير الظروف الفيزيائية والكيميائية **تحوّلا** . ويمكن أن تتعرض الصّخور جميعها للتحول، سواء أكانت نارية أم متحولة أم رسوبية. ويعدّ تحول طين الفخار مثالا يوميًّا على هذا. طين الفخار طريّ عند درجة الحرارة العادية، ولكنه يصبح خزفًا قويًّا عند تسخينه. وبالمثل، فإنّ الحجر الجيري إذا تعرض لضغط وحرارة كافيين يصبح رخامًا. كما أنّ الغضار يتحول إلى أردواز. قد تتعرض الصّخور لشد أو ضغط كبيرين. ومن المهم معرفة أنه في أثناء التحول لا تنصهر المعادن، فإذا انصهر المعدن ينتهي التحول، ويبدأ النشاط الناريّ. وفي التحول، يحدث التغير إما *بإعادة تبلور* المعادن الموجودة، أو *بتشوه ميكانيكي* للصخر.

تحدث عملية **إعادة التّبلور (*Recrystalization*)** عندما تتغير المعادن في الصخر؛ لأنّ المعدن تعرض لحرارة وضغط أعلى مما تعرض له عند تشكله. تهاجر مكونات للمعادن المتحوّلة وتعاود الاتحاد لتكوين معادن جديدة. وقد يحدث التحول مع تبادل السوائل أو دونها. مثلًا، افترض وجود صخر رسوبي يحوي سوائل كالماء أو ثاني أكسيد الكربون. قد تعمل السوائل الموجودة في مسام الصخر مُحفزاتٍ لتبدأ تفاعلات التحول أو تسرّعها . إذا كانت الحرارة والضغط مرتفعين بشكل كافٍ فإنّ الصخر يفقد المسامات بسبب طرد السوائل خارجه. وعندها يمكن للسائل المتحرر أن يتفاعل كيميائيًّا مع الصّخور المجاورة ليساعد على تشكيل المكونات الجديدة للمعادن المتشكلة. كما أنّ هذه السوائل يمكن أن تساعد على بدء تكوين ماجما بعيدًا عن موقع التحول لأنها تهاجر نحو الأعلى، وتساعد على عملية الانصهار (انظر الفصل 22). كما يمكن لتفاعلات التحول أن تحدث دون تدخل السوائل، عندما يكون التحول على درجات حرارة منخفضة.



الشّكل 31.20

تشكل الفحم. (1) يتشكل الخثّ من بقايا نباتات في مستنقع آسن. (2) يتم دفن الخثّ في الرّسوبيّات ويتعرض لدرجات عالية من الضغط والحرارة فيتحول إلى لغنيت وهو فحم بنّيّ طريّ. (3) ومع تقادم الزمن، ودفن وحرارة وضغط، يتحوّل إلى فحم طريّ أسود ذي طاقة عالية يستخدم لتوليد الطاقة. (4) يعمل التحول على تحويل الفحم البيتومييني إلى انثراسيت، وهو فحم أسود صلب ذو طاقة عالية.

يحدث التّشوّه الميكانيكي (*Mechanical deformation*) عندما يتعرض الصخر لإجهاد فيزيائيّ قد يصاحبه ارتفاع في الحرارة أو لا يصاحبه. فمثلا، الصّخور السطحية التي تدفن على أعماق كبيرة تتعرض لضغط مرتفع. قد يؤدي هذا الإجهاد إلى انسياب الصخر كالبلاستيك، بحيث ينثني وتتكون طيات. أو أنّ الضغط المتزايد قد يشوّه الصّخر ويجعله منبسطًا، أو يكسره ويطحنه إلى فتات. وتحدث هذه العملية في أعماق قشرة الأرض.

■ **نقطة فحص**

هل تعدّ عملية إعادة التّبلور نتيجة ارتفاع الضغط والحرارة معاكسة للانصهار الجزئي؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا؛ لأنّ عملية التّبلور من الماجما، وليست إعادة التّبلور، هي المعاكسة للانصهار الجزئيّ. تحدث إعادة التّبلور في الصخر بسبب تعرضه لضغط و/أو حرارة عاليين دون انصهار. وقد لا يتعرض الصخر لأيّ تغير كيميائي في أثناء إعادة التّبلور.

يتم إعطاء الطاقة للحيوانات والنباتات من الشمس قبل تحولها إلى أحافير. لذا، تعدّ الطاقة الشّمسيّة مصدرَ الطاقة الناتجة في الوقود الأحفوري.

اربط مع علم الحياة

■ **الوقود الأحفوري**

عند موت النباتات والحيوانات القديمة، ثم تحلل معظم المادة العضوية المكونة لأجسادها عن طريق البكتيريا وتحويلها إلى مغذيات، تكون قد استهلكت. أما المادة العضوية التي أفلتت من تحلل البكتيريا، وحفظت على شكل مادة عضوية مبعثرة، أو تحولت إلى رسوبيات بيوكيميائية، فهي التي تتحول إلى فحم، أو نفط، أو غاز.

الفحم والنفط والغاز كلّها أحافير على أساس أنها بقايا كائنات. ومع ذلك، فإنّ هذه البقايا تغيرت مع الزمن بحيث لا يمكن تمييز شكل الكائنات التي تراكمت ولا تمييز تركيبها.

تشكّلت معظم ترسبات الفحم قبل 300 مليون سنة عندما غطت مستنقعات معظم سطح الأرض. ومع موت النباتات والأشجار، ترسبت بقاياها في قيعان المستنقعات. هذه البيئات الفقيرة بالأكسجين منعت التحلل وتراكمت بقايا النباتات على شكل طبقة بعد طبقة لتكون مادة عضوية كثيفة تسمى *الخثّ*. ومع الزمن، قامت رسوبيات من الرمل والطين بدفن هذا الخثّ. ومع مزيد من الدفن، فإنّ الزيادة في الضغط والحرارة جعلت الخثّ يتصخّر ليكوّن لغنيتًا وفحمًا بيتيومينيًّا. (الشكل 31.20). ومع أنّ الفحم يتكوّن من مادة عضوية وليس معادن، إلا أنه يعدّ صخرًا رسوبيًّا كيميائيًّا. وعندما يتعرض الصخر لضغط وحرارة أعلى فإنّ الفحم يصبح صخرًا متحولًا يسمى *الإنثراسيت*، وهو أعلى درجات الفحم.

مصدر النفط والغاز هو المادة العضوية المجهرية المتحفّرة الموجودة في الرّسوبيّات البحرية المدفونة. وعندما تتعرض هذه الرّسوبيّات المدفونة المحتوية على مادة عضوية لحرارة منخفضة فترة زمنية كافية، تحدث عمليات تغير كيميائية تؤدي إلى إنتاج النفط. وتحت الضغط الناتج عن الرّسوبيّات العليا، يتمّ عصر قطرات النفط من صخر المصدر إلى الصخر المسامي الذي يعلوه. معظم الصخر المسامي من الصخر الرملي الذي يصبح خزان نفط. وكما في تحول الصّخور، فإنه إذا ارتفعت درجة الحرارة على نحوٍ كافٍ يتكون الغاز الطبيعي وليس النفط.

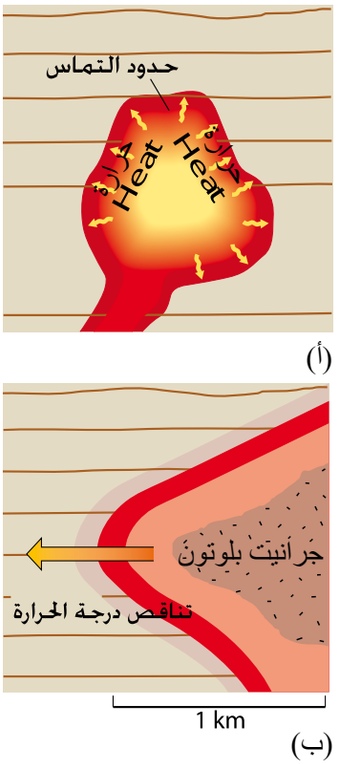
نوعا التّحوّل؛ تماسّي وإقليمي.

النوعان الشائعان من التّحوّل هما: *التّحوّل التّماسّي والإقليميّ*. وكلّ نوع منهما يختلف عن الآخر في التّشوّه الميكانيكيّ وإعادة التّبلور.

يحدث *التحول التماسي* عندما تندفع ماجما خلال جسم صخري (الشكل 32.20). تؤدي الحرارة المرتفعة للماجما إلى تكوين نطاق من التحول يحيط بالاندفاع. ويكون التحول أكبر ما يمكن على سطح التماس بين الاندفاع والصخر الأصلي المحيط به. وقد يتراوح عرض النطاق المتحول بين عدة سنتمترات إلى مئات الأمتار. فإذا كان الاندفاع الناري صغيرًا كالقاطع مثلًا، فإنّ النطاق المتحول يكون ضيقًا. وقد يشبه الصخر "المخبوز". وله نسيج ومظهر كالطوب العادي. ولكن مع اندفاع ناري كبير مثل الباثوليث، فقد يكون سُمك النطاق المتحول 100م أو أكثر. إنّ أحد أكثر التغيرات شيوعًا في أثناء التحول هو زيادة حجم البلورات بسبب إعادة التّبلور. يكون حجم البلورات أكبر على سطح التماس، ويقلّ كلما ابتعدنا عنه. كما أنّ المحتوى المائيّ في الصخر يتغير كذلك بزيادة البعد عن سطح التماس. فعلى التماس حيث الحرارة مرتفعة، يكون المحتوى المائيّ قليلًا؛ لأنّ الماء تمّ غليه وطرده. لذا، فإننا نجد معادن جافة ذات حرارة مرتفعة مثل الجارنت والبيروكسين على منطقة التماس. وبعيدًا عن التماس، نجد معادن غنية بالماء ذات حرارة منخفضة مثل المسكوفيت والكلوريت (معدن سليكات صفائحيّ آخر). يتميز التحول التماسي عادة بالحرارة المرتفعة والمحتوى المائيّ الكبير؛ تحدث العديد من التفاعلات الكيميائية ولا وجود لتشوه ميكانيكي.

أمّا *التحول الإقليميّ* فهو تحول الصخر عن طريق الحرارة والضغط على طول منطقة واسعة وليس بالقرب من تماس بين صخرين. ففي أثناء عملية بناء الجبال، فإنّ قشرة الأرض تتعرض للضغط مكونة كتلة ذات صخور عالية التّشوّه. ويمكن رؤية هذا التّشوّه في الصّخور المطوية والمكسرة في العديد من سلاسل الجبال (الشكل 33.20). توجد الصّخور المتحوّلة إقليميًّا في السلاسل الجبلية الرئيسة جميعها في العالم. وفي التحول الإقليمي، تنضم عملية إعادة التّبلور إلى التّشوّه الميكانيكيّ. ويمكن تسخين مقاطع صخرية كبيرة إذا دفنت لأعماق كافية في القشرة؛ لأنّ هذه القشرة أسخن في الأعماق.

يكون تأثير التحول التماسي أعلى ما يمكن في لبّ الجبال المشوهة، حيث ينشأ في الصّخور نسيج متورق مميز يتكون بسبب الضغوط المرتفعة الناتجة عن الصّفائح المتقاربة (الفصل 22). يتميز التحول الإقليمي أيضا بوجود نُطُق متتالية من المعادن. ومثال ذلك، أن تحوي منطقة مجموعة من المعادن، في حين تحوي صخور المنطقة المجاورة مجموعة مختلفة أخرى من المعادن. وبسبب المساحات الواسعة التي يغطيها التحول الإقليمي، تكون الأحزمة عريضة ومنتشرة. تعد مناطق التحول الإقليمي أراضي الصيد للباحثين عن المعادن النفيسة؛ لأنّ الضغط والحرارة المصاحبين للتحول يُنتجان معادن جميلة.



الشّكل 32.20

(أ) التحول التماسي هو نتيجة لاندفاع ماجما مصهورة داخل جسم صخري. (ب) يتكون حزام من التحول حول الصخر المندفع المتصلب. يكون التحول كبيرًا على منطقة التماس، ويقلّ بالابتعاد عنها.

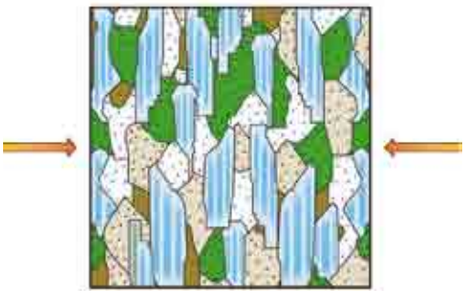
الشّكل 33.20

تبين هذه الصورة الجوّيّة طيًّا إقليميًّا لصخور متحولة في جبال الأبلاش في وسط بنسلفانيا.

تصنيف الصّخور المتحوّلة

تعرف الصّخور المتحوّلة بمظهرها ومحتواها المعدني. ولتصنيف الصّخور المتحوّلة وتعرف لها، فإنها تصنف إلى مجموعتين: *متورّقة وغير متورّقة*.

الصّخور المتحوّلة المتورّقة. عندما يتعرض صخر إلى ضغط متزايد، فإنه يعيد ترتيب بعض معادنه في مستويات متوازية عند إعادة التّبلور. يكون امتداد السطوح المتوازية معامدًا على الاتجاه الرئيس لقوى التضاغط. وهذا يؤدي إلى مظهر متطبق يسمى *تورّقا*. والتّورّق مظهر من مظاهر الصّخور المتحوّلة تحولا إقليميًّا، وهو مختلف جدًّا عن التطبق الذي يُرى في الصّخور الرّسوبيّة؛ إذ لا ينشأ النسيج المتورق في الصّخور المتحوّلة عن الترسب. وبالأحرى، فإنّ معادن ذات بناء صفائحيّ، كالمايكا، تنمو وتوجه نفسها مع صفائحها في اتجاه متعامد مع الضغط الأعظم (الشكل 34.20). يسمى الصخر الجديد الذي يحتوي على رقائق متوازية من المايكا متورقًا. الصّخور المتحوّلة المتورقة الشائعة – الأردواز، الشيست، والنايس ، حيث إنّ مصدرها صخور رسوبية تحتوي على تركيب كيميائي مناسب لتكوين المايكا (الشكل 35.20).



الشّكل 34.20
مع قيام القوى التضاغطية بعصر المعادن الصّفائحية فإنها ترتب الحبات بشكل متعامد مع اتجاه القوة الرئيسة. تشير الأسهم إلى اتجاه القوى التضاغطية.

الأردواز صخر متحول متورق ذو أقلّ درجة تحول، وهذا يعني أنه تكون تحت ضغط وحرارة منخفضين نسبيًّا. الأردواز، وهو غضار متحول، صخر متورق مكون من حبيبات صغيرة ورقائق مايكا صغيرة أيضًا. إنّ الخاصية الملحوظة في الأردواز هي انفصامها الممتاز الذي يمكّنها من الانفصال إلى ألواح رقيقة. تصنع أفضل طاولات المسابح وألواح الطباشير من هذا الصخر الذي تم تعدينه في المناطق المتحوّلة، حيث الانفصام جيد. كما يستخدم الأردواز أيضًا في تبليط أرضية المباني وسقوفها.

أما *الشيست* فهو أحد أسهل الصّخور المتحوّلة تمييزًا؛ لأنّ مظهره حرشفيًّا مع مايكا كبيرة تعكس الضوء مثل النوافذ المغشاة. يتكون الشيست عند درجات حرارة وضغوط مرتفعة أكبر من الأردواز، مما يجعل حبات المعدن تنمو بشكل يكفي لتمييزها بالعين المجردة. يحتوي الشيست على 50% معادن صفائحية؛ مسكوفيت وبيوتيت غالبًا. تعطي رقائق المايكا الكبيرة سطحًا عالي الانعكاسية. وتسمى صخور الشيست بحسب المعادن الرئيسة في الصخر (بيوتوتيت شيست، ستاورولیت – جارنت شيست، وهكذا).

والنايس صخر متحول متورق يحوي طبقات متبادلة من معادن صفائحية قاتمة ومعادن حبيبية فاتحة. تعطي هذه الطبقات صخر النايس مظهره المخطط، الذي ينتج عن ظروف ضغط وحرارة أكبر من التي انتجت الشيست.

(أ)

(ب)

(جـ)

الشّكل 35.20
صخور متحولة متورقة معروفة:(أ) أردواز (ب) شيست (جـ) نايس

إنّ أكثر المعادن الحبيبية شيوعًا في صخر النايس هما الكوارتز والفلسبار. وهما المعدنان الشائعان في صخر الجرانيت. وفي الواقع، فإنّ بعض أنواع النايس هو غرانيت متحول.

الصخور المتحولة غير متورقة. تتكون الصّخور المتحوّلة غير المتورقة بسبب زيادة الضغط والحرارة أو بسبب زيادة الحرارة فقط. وحتى تحت الضغط المرتفع، فإنّ التّورّق لا يحدث إنْ لم يكن التركيب الكيميائي مناسبا لتكوين المايكا (أو البلورات الخطّية الأخرى). وبالمثل، إذا كان التركيب الكيميائي مناسبًا، ولكن الضغط غير عالٍ بقدر كافٍ، كما هو الحال في التحول التماسي، فإنّ التورق لا يحدث أيضًا. وهناك صخران معروفان غير متورقين لا يمكن أن يصبحا متورقين هما الرخام والكوارتزيت.

الرّخام (الشكل 36.20 أ) حجر جيري متحول متبلور. والرخام النقي أبيض اللون، ومكوّن بنسبة 100% من الكالسيت الذي لا يُري استطالة أو تصفحًا. وبسبب لونه وطراوته (قساوته 3)، فإنه حجر بناء شائع. ويحتوي الحجر الجيري الذي تحول إلى رخام عادة على بعض الشوائب التي تنتج ألوانًا في الرخام. لذا، فإنّ الرّخام يختلف في لونه من الوردي، إلى الرمادي، إلى الأخضر أو حتى الأسود.

أمّا *الكوارتزيت* (شكل 36.20 ب) فهو حجر رملي كوارتزي متحول؛ لذا فهو صلب جدًّا (قساوته 7). لا يبدي معدن الكوارتز أيضًا استطالة أو تصفحا. ويمكن لعملية إعادة تبلور الكوارتزيت أن تكون كاملة بحيث إنه عند ضرب الصخر، فإنه ينكسر من داخل حبات الكوارتز وليس من بينها. ومع أنّ الكوارتزيت النقي أبيض اللون، ولكنه عادة ما يحتوي على شوائب تسبب ألوانًا مختلفة كالوردي، والأخضر أو الرمادي الفاتح.

(أ)

(ب)

الشّكل 36.20
صخور متحولة غير متورقة
أ) رخام
ب) كوارتزيت

■ **نقطة فحص**

1 . متى يتجاوز الصّخر التّحوّل تحت ظروف قياسيّة (عالية جدًّا) من الحرارة؟
2 . لماذا تحدث عملية إعادة التّبلور في الصخر المتحول؟

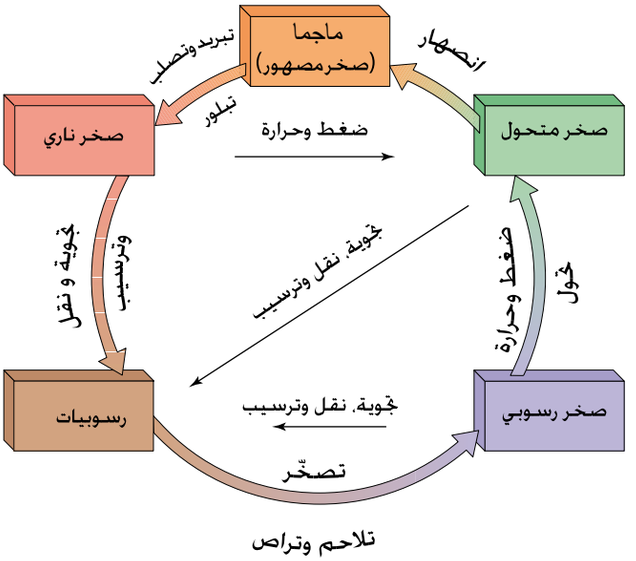
هل كانت هذه إجابتك؟

1 . عندما ينصهر الصخر يصبح ماجما. وعندما تبرد الماجما لتكوّن صخرًا، فإنّ الصخر الجديد يكون صخرًا ناريًّا.
2 . تحدث عملية إعادة التّبلور لأنّ الصخر تعرض لدرجات حرارة أو ضغوط مرتفعة.

■ 10.20 دورة الصّخر

الأرض كوكب ديناميكيّ دائم التغير. تتحد العناصر المكونة من ذرات وجزيئات لتكون المعادن التي تكونت بعملية التّبلور من الماجما أو المحاليل المائيّة. تُعرف المعادن المتكونة عن طريق العناصر الموجودة فيها والظروف التي كونتها. وبدورها، تحدد هذه العوامل ترتيب الذرات في كلّ معدن وقوة الروابط التي تمسك هذه الذرات معًا. إنّ أكثر من 90% من معادن الأرض هي من مجموعة السليكات التي تتكون من سليكون وأكسجين إضافة إلى عناصر أخرى كالألومنيوم، والحديد، والكالسيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم، والمغانسيوم. تتجمع المعادن لتكون صخورًا كالصّخور النّاريّة والرّسوبيّة والمتحوّلة التي نراها حولنا.

تكوّنت معظم المعادن (ومن ثم الصّخور) من التّبلور من الماجما. وتتكوّن الماجما عند صهر الصخر. ويعتمد نوع الماجما المتكوّنة على نوع الصّخور والمعادن التي انصهرت. ويمكن لنوع واحد من الماجما أن يتحول



الشّكل 37.20

دورة الصخر: إذا عرّضت الصّخر الناريّ لضغط وحرارة في جوف الأرض، يصبح صخرًا متحولا، قد يتحلل الصّخر الرسوبيّ أو المتحول على سطح الأرض ليكوّن رسوبيات تتحول إلى صخر رسوبي. وبصرف النظر عن المصدر، فإنّ الصخر المنصهر يندفع من أعماق الأرض، ويبرد ويتصلب ليكون قشرة تعالج مع الأزمنة عن طريق الجرف والتّعرية لتصبح ماجما في باطن الأرض

إلى أنواع مختلفة منها (بازلتية، إنديزينية، وجرانيتية) في أثناء الهجرة والتّبلور، ثم إلى أنواع مختلفة من الصّخور النّاريّة. ومع أنّ معظم قشرة الأرض مكونة من صخور نارية ومتحولة، إلا أنّ الصخر الذي نراه على السطح هو صخر رسوبي بشكل رئيس. يتكون الصّخر الرسوبي من بقايا صخر تم تجويته وتعريته. ويوفر هذا النوع من الصخر سجلًّا للتغيرات البيئية والحيوية على سطح الأرض. وعند دفن صخر رسوبي في أعماق الأرض أو تعرضه لبناء الجبال، فإنّ الضغط والحرارة العاليين يحولانه إلى صخر متحول. وتحت ظروف مناسبة، ينصهر الصخر المتحول، وينقلب إلى ماجما تصبح في النهاية صخرًا ناريّا لتكمل **دورة الصّخور**. (الشكل 37.20)

جرى التركيز في هذا الفصل على تكوّن المعادن والصّخور. وفي الفصل التالي، سنحول اهتمامنا إلى كيفية استخدام المعادن والصّخور لمعرفة تاريخ الأرض. وقد تعرضت أرضنا التي تشكلت قبل 4.5 مليار سنة للعديد من التغيرات في شكلها وفي أشكال الحياة. وسوف نتعرف هذه التغيرات من السجل الصخري؛ فهيّا إلى قراءة السجل الصخري.

مراجعة المصطلحات

الصّفائح التّكتونيّة: Tectonic plates
أجزاء تنقسم إليها قشرة الأرض، وتتحرك استجابة لتدفق الحرارة وتيارات الحمل في باطن الأرض.

المعدن: Mineral مادة صلبة تكوّنت طبيعيًّا، متبلورة، غير عضوية، ذات ترتيب ذري منتظم وتركيب كيميائي محدد.

الشّكل البلوريّ: Crystal form
التعبير الخارجي للترتيب الداخلي المنتظم للذرات في البلورة.

متعدد الأشكال: Polymorphs معدنان أو أكثر لهما العناصر نفسها وبالنسب نفسها، ولكن لهما بنية بلورية مختلفة.

مقياس موهو للقساوة: Mohs scale of hardness
ترتيب لقساوة المعادن التي هي مقاومة المعدن للخدش.

الانفصام: Cleavage قابلية المعدن للانكسار على طول سطوح ضعف.

المكسر: Fracture كسر لا يحدث على سطوح ضعف.

الكثافة: Density النسبة بين كتلة المادة وحجمها.
السّليكات: Silicate معدن يحوي السليكون والأكسجين وعدة عناصر أُخرى في تركيبه الكيميائي. مجموعة السليكات هي أكبر مجموعة من المعادن المكونة للصخور وأكثرها شيوعًا.
لاسليكات: Nonsilicate المعدن الذي لا يحوي سليكا (أكسجين + سليكون).
تبلور: Crystallization نمو لمادة صلبة من سائل أو غاز، حيث تتجمع ذراته بنسب كيميائية محددة، وبترتيب بلوري منتظم.
ماجما: Magma صخر مصهور في باطن الأرض.
الرّسوبيّات الكيميائية: Chemical sediments
رسوبيات تتكون من ترسب معادن من الماء على سطح الأرض.
ذائبية: Solubility قياس قابلية ذوبان المعدن. فالمعادن القليلة الذوبانية يصعب ذوبانها، أما العالية الذوبانية فسهلة الذوبان.
صخر: Rock تجمع معادن. تتكون بعض الصّخور من قطع صدف أحافير، أو مادة عضوية صلبة، أو أيّ تجمع منهما.
الصّخور النّاريّة: Igneous rocks
صخور تكونت عن طريق التبريد والتّبلور من مادة صخرية ساخنة مصهورة تسمى ماجما أو لابة.
صخر رسوبي: Sedimentary rocks
صخور تكونت من تراكم مواد مجوّاة (رسوبيات) تعرت بالمياه، أو الهواء أو الجليد.
صخور متحولة: Metamorphic rocks
صخور تكونت من صخور قديمة تغيرت عن طريق الضغط أو الحرارة العاليين أو كليهما.
انصهار جزئي: Partial melting
انصهار غير مكتمل للصخور، مما ينتج ماجما بتراكيب مختلفة.
صخور بركانيّة: Volcanic rocks
صخور نارية سطحية تشكلت من ثوران الصّخور المصهورة على سطح الأرض كالبازلت.

لابة: Lava ماجما مصهورة تتحرك نحو الأعلى في باطن الأرض وتطفو على السطح. يشير المصطلح لابة إلى الصخر المصهور والصّخور الصلبة التي تشكلت منها صخور جوفية.
صخور نارية: Plutonic rock
تشكلت من الماجما التي بردت تحت سطح الأرض كالجرانيت.
تجوية: Crystallization تفتت و/أو تحلل الصخر على سطح الأرض في موضعه.
تعرية: Erosion نحت أو حتّ الصّخور ونقلها بعيدًا. وهي العملية التي يتم فيها نقل الحبيبات بالماء أو الرياح أو الجليد.
ترسيب: Deposition مرحلة من مراحل تكون الصّخور الرّسوبيّة، والتي تبدأ فيها الحبيبات المنقولة بالتراكم.
توضّع: Sedimentation مرحلة من مراحل تكون الصخر الرسوبي حيث تتراكم الرّسوبيّات وتتصخر إلى صخر رسوبي خلال عملية التراص، وعادة التلاحم.
التّحوّل: Metamorphism التغير في الصخر الذي يحدث نتيجة تغير الظروف الفيزيائية والكيميائية.
إعادة تبلور: Recrystallization
عملية تحدث عند تعرض الصّخور لضغوط وحرارة مرتفعة. وتتغير فيها المعادن وعادة ما تكون مصحوبة بفقدان CO_2 أو H_2O.
تشوّه ميكانيكيّ: Mechanical deformation
تحوّل بسبب الإجهاد مثل زيادة الضغط.
دورة الصخر: Rock cycle
تتابع أحداث تتضمن تكون الصّخور، وتدميرها، وتحولها، وإعادة تشكلها بسبب تكون الماجما وتحركها، وتجوية الصّخور الموجودة، وتعريتها، ونقلها، وترسيبها وتحولها.

أسئلة مراجعة

1.20 الغلاف الأرضيّ مكون من صخور ومعادن

1 . كيف يسهم التمايز بالكثافة في تشكيل طبقات باطن الأرض؟
2 . ما مصادر الحرارة الثلاثة التي أسهمت في صهر الأرض الابتدائية، وفصلت طبقاتها بالكثافة؟
3 . ما العنصر الأكثر وفرة في الأرض جميعها؟
4 . ما العنصران الأكثر وفرة في قشرة الأرض بالترتيب؟

2.20 المعادن

5 . ما المعدن؟
6 . ماذا تشمل كلمة (*غير عضوي*) في تعريف المعدن؟

3.20 خصائص المعدن

7 . ما الخصائص الفيزيائية المستخدمة في تعريف المعادن؟
8 . تتميز المعادن بشكلها البلوريّ. ولكن معظم عينات المعادن لا تُظهر الشّكل البلوريّ، لماذا؟
9 . ما ظاهرة تعدد الأشكال؟

4.20 تصنيف المعادن المكونة للصخور

10 . ما الفرق بين المعادن السليكاتية واللاسليكاتية؟
11 . تقسم معادن السليكات إلى حديدوماغنسية ولاحديدوماغنسية. ما العاملان المساهمان في ذلك؟
12 . ما المعدنان الأكثر شيوعًا في القشرة بالترتيب؟

5.20 تكوّن المعادن والصّخور

13 . ما عملية التّبلور؟
14 . باختصار، صِفْ عمليتين تتكون منهما المعادن.
15 . مع تبلور المعادن من الماجما المتبردة، أي المعادن تتبلور أولًا: المعادن ذات السليكا القليلة أم الكثيرة؟
16 . عند تبخر الماء من جسم مائي، ما نوع الرّسوبيّات المتكونة؟

6.20 أنواع الصّخور

17 . ما الأنواع الرئيسة الثلاثة للصخور؟ وما أصلها؟

7.20 الصّخور النّاريّة

18 - ما الصّخور النّاريّة الشائعة؟ وأين تتكون عادة؟
19 - ما معنى الانصهار الجزئي؟
20 - ما نوع الماجما المتكونة من الانصهار الجزئي اعتمادًا على المحتوى السليكاتي في الصخر الأصلي؟
21 - ما الذي يسبب درجة انصهار الصخر؟
22 - هل تزداد الحرارة مع العمق في باطن الأرض أم تقلّ؟

8.20 الصّخور الرّسوبيّة

23 - كيف تكوّن النّجوية الرّسوبيّات؟ ما الفرق بين النّجوية والتّعرية؟
24 - ما الصخر الرسوبي الفتاتي؟
25 - ما الأنواع الثلاثة الشائعة من الصّخور الرّسوبيّة الفتاتية؟
26 - ما الصخر الكربوناتي الشائع؟
27 - كيف تتكون معظم صخور الكربونات؟

9.20 الصّخور المتحوّلة

28 - ما التحول؟ وما الذي يسببه؟
29 - ميّز بين الصّخور المتحوّلة المتورقة وغير المتورقة.
30- في التحول التماسي، توجد المعادن المحتوية على الماء، القليلة الحرارة بعيدًا عن نطاق التحول. أعطِ مثالين على هذه المعادن.

تمارين

مرة أخرى، لا ترهق نفسك في رؤية العدد الكبير من التمارين في هذا الفصل وغيره. إذا كان المقرر يغطي العديد من الفصول، فمدرّسك سيختار لك بعضها.

1. ● ماذا تسمى المعادن ذات المحتوى نفسه من العناصر، ولكن بترتيب مختلف؟
2. ■ ما الفرق بين المعادن المكونة للصخور والمعادن الموجودة في المواد الغذائية؟
3. ■ يستخدم السليكون في صناعة الرقائق في الحاسوب. هل يُعدن السليكون من الأرض مباشرة؟ برهن إجابتك.
4. ■ ما المعدنان المكونان لمعظم الرمل في العالم؟
5. ■ ما مجموعتا المعادن التي تزودنا بالخامات؟
6. ■ إذا احتوى صخر على معدن أ (30% سليكا) ومعدن ب (25% سليكا)، فأيهما ينصهر أولا مع ارتفاع الحرارة؟
7. ■ إذا احتوت ماجما على معدن أ (30% سليكا) ومعدن ب (25% سليكا)، فأيهما يتبلور أولًا إذا بردت الماجما؟
8. ♦ العوامل التي تحدد قوة الرابطة تحدد قساوة المعدن. ما هذه العوامل؟
9. ■ إذا احتوت ماجما على معدن أ (30% سليكا) و ب (25% سليكا)، فأيهما يتبلور أخيرا مع تبرد الماعما؟
10. ■ إذا احتوت ماجما على معدن أ (30% سليكا) و ب (25% سليكا)، فأيهما ينصهر أخيرًا مع زيادة الحرارة؟
11. ♦هل يؤدي التّبلور إلى إشباع الماجما بغير السليكا؟ برهن إجابتك.
12. ■ إذا كانت المعادن الغنية بالسليكا هي الأخيرة في التّبلور، فَلِمَ لا تكون الأخيرة في الانصهار؟
13. ♦ لماذا يكون معدن الهاليت آخر المعادن ترسبًا من مياه البحر المتبخرة؟
14. ● هل تتوقع وجود أحافير في الحجر الجيري؟ لماذا؟
15. ● كيف تكوّن الرّسوبيّات الكيميائية صخرًا؟ اذكر اسم صخرين رسوبيين كيميائيين.
16. ● لماذا لا يعدّ اللون مناسبًا دائمًا للتعرف إلى المعدن؟
17. ■ إذا كنت في العراء ووجدت معدنًا زجاجيًّا لامعًا، فما الفحص الذي تجربه لتعرف ما إذا كان هذا المعدن ماسًا؟
18. ● ما الذي يجعل الذهب طريًا للغاية (ينخدش بسهولة)، أما الكوارتز وا لماس فشديدا القساوة؟
19. ● تخيل أنّ لديك سائلًا ذا كثافة 3.5 جم/سم^3. فإذا علمت أنّ الأجسام ذات الكثافة الأعلى تغوص في السائل، فهل ستطفو قطعة من الكوانز أم تترسب؟ وماذا عن قطعة كروم؟
20. ■ هل الانفصام هو الشّكل البلوريّ نفسه؟ لماذا؟
21. ♦ إذا لم يعدّ الزجاج البركاني أوبسيدين معدنًا. فلم يعدّ صخرًا؟
22. ■ اربط بين شكل حبات الرمل وفرزها بالطريقة التي يُرجح أنها قد نقلت بها.
23. ●في أيّ نوع من قشرة الأرض (قارية أو محيطية) نجد الصخرين البازلت والجرانيت عادة؟
24. ♦ ما العاملان اللذان يغيران درجة الانصهار سوى المحتوى السليكاتي؟
25. ■ أيّ الجملتين التاليتين صحيحة عن المعادن السليكاتية؟
(أ) تقل درجة الانصهار بزيادة نسبة السليكات. (ب) تزداد درجة الانصهار مع نقصان نسبة السليكا.
26. ● ما الصّخور التي تتكون منها جزر الهاواي؛ النّاريّة، أم الرّسوبيّة، أم المتحوّلة؟
27. ■ أين تتكون معظم الماجما؟
28. ■ ما أنواع التغير المميزة للتحول التماسي؟
29. ♦ هل يمكن وجود صخور متحولة على جزيرة ذات أصل بركاني؟ برهن إجابتك.
30. ■ أيّ المعادن ينصهر بسهولة؛ الغنية بالسليكا أم الفقيرة بها؟
31. ■ ما الذي يحدد درجة انصهار الصخر؟
32. ● ما مظاهر الصخر التي يدرسها الجيولوجي في الصّخور الرّسوبيّة الفتاتية؟

33 .♦ ما خصائص الصخر الرسوبي الفتاتي التي تسهل انسياب النفط بعد تكونه؟
34 .♦ أي الصّخور التالية يتجوّى أولًا في بيئة رطبة؟ ولماذا: جرانيت، حجر رملي، حجر جيري، هاليت؟
35 .■ ما الطريقتان اللتان تتحول فيها الرّسوبيّات إلى صخور رسوبية؟
36 .♦ لماذا تنتشر حبات الجرانيت في الكونغلوميرات أكثر من حبات الرخام؟
37 .♦ ما أنواع الصّخور التي تعدّ هدفًا لمستكشفي البترول؛ النّاريّة، أم الرّسوبيّة، أم المتحوّلة؟ ولماذا؟
38 .♦ اذكر نوعين من الصّخور الرّسوبيّة التي تعطي معلومات عن الأحداث الماضية على سطح الأرض؟
39 .● ما الأحفورة؟ كيف تستخدم في دراسة الجيولوجيا؟
40 .● ما نوع التّجوية الناشئة عن صخر تفتت إلى قطع صغيرة أو ذاب في حمض؟
41 .● ما نوع الصّخور الناتجة عن صخور أقدم؟ أيهما لا يتطلب حرارة وضغطا مرتفعين في أثناء تكونها؟
42 .■ ما خصائص الأردواز التي تجعله مناسبًا للتبليط؟
43 .● اذكر اسم معدني مايكا تسبب التورق في الصّخور المتحوّلة.
44 .■ كيف يختلف التورق عن التطبق الرسوبي؟
45 .■ لماذا توجد صخور مطوية ومكسرة في مناطق التحول الإقليمي؟
46 .● أين تكثر التّدفّقات البركانيّة على سطح الأرض؟
47 .● كلّ جملة تصف خاصية أو أكثر لصخر متحول. سمّ نوع الصخر المتحول الذي تم وصفه في كلّ جملة مما يلي:
أ) صخر متورق أحيانًا ينشأ عن الجرانيت.
ب) صخر صلب غير متورق مكون من معدن واحد تحت ضغط متوسط إلى مرتفع.
جـ) صخر متورق يُظهر انفصامًا ممتازًا يستخدم في الألواح.
د) صخر غير متورق مكوّن من معادن كربونات.
هـ) صخر متورق يحوي 50% معادن صفائحية، ويسمى بحسب المعادن الرئيسة فيه.
48 .■ ما الخاصية التي تساعد على تمييز الشيست والنايس عن الرخام والكوارتزيت؟
49 .♦ بما أنّ حرارة الأرض تزداد بازدياد العمق، فلم لا تنصهر الصّخور جميعها في باطن الأرض؟
50 .♦ هل تغلب الماجما على باطن الأرض؟
51 .● كيف يختلف النايس عن الجرانيت؟
52 .■ ما سبب تمييز الشيست بسهولة؟
53 .♦ إذا احتوى صخر على كوارتز وبايروكسين، فأيهما ينصهر أولًا إذا تم تسخين الصخر؟
54 .♦ إذا احتوت ماجما على كوارتز وأوليفين، فأيهما يتبلور أولًا عند تبريد الماجما؟
55 .● ما العمليتان اللتان يتغير بهما الصخر في أثناء التحول؟

مسألة

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ■ للذهب كثافة 19.3 جم/سم^3، وعاء سعته 5 جالونات به ماء (كثافة الماء 1جم/سم^3) كتلته 18كجم. ما كتلة وعاء سعته 5 جالونات من الذهب؟

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا تمكنت من استيعاب هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقلّ إجابة صحيحة. أما إذا أجبت عن أقلّ من ذلك ، فأنت بحاجة إلى مزيد من الدراسة قبل التقدم إلى الأمام.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤالٍ مما يلي:

1. السليكات أكبر مجموعة معادن؛ لأنّ الأكسجين والسليكون:
(أ) أقسى العناصر على سطح الأرض.
(ب) أكثر العناصر وفرة في القشرة.
(ج) يوجدان في معدن الكوارتز الشائع.
(د) مستقرة على سطح الأرض.
2. يؤدي تراص الرّسوبيّات إلى:
(أ) تكون الماجما.
(ب) التصحر.
(ج) تكوين الماء المسامي.
(د) التحول.
3. يتركز السليكون والأكسجين بالقرب من سطح الأرض، أما الحديد فموجود في لبّها؛ لأنّ:
(أ) مكونات الأرض انفصلت في البداية بحسب اختلاف الكثافة.
(ب) السليكون والأكسجين أقلّ كثافة من الحديد.
(ج) أ+ب.
(د) لا شيء مما ذكر.
4. المعادن التي تتبلور أولًا من الماجما المتبردة هي:
(أ) المعادن ذات درجة الانصهار الأكثر ارتفاعًا.
(ب) المعادن ذات درجة الانصهار العالية.
(ج) المعادن ذات الذوبانية الأعلى.
(د) المعادن ذات المحتوى الأعلى من السليكات.
5. العاملان اللذان يزدادان مع العمق في الأرض هما:
(أ) الضغط والمحتوى المائيّ.
(ب) الضغط والحرارة.
(ج) الحرارة والمحتوى المائيّ.
(د) محتوى السليكا والمحتوى المائيّ.

6- تشير درجة الاستدارة في الصّخور الرّسوبيّة إلى:
(أ) مدة النقل وطولها.
(ب) مكان تكوّن الحبات.
(ج) مكان ترسب الحبات.
(د) كيفية تراص الحبات وتلاحمها.
7- تتضمن خصائص التحول الإقليمي ما يلي:
(أ) طبقات صخرية مطوية ومكسورة.
(ب) صخورًا متورقة.
(ج) تتابعات أحزمة من المعادن.
(د) كلّ ما ذكر.
8- ترتب الأنواع الثلاثة من الماجما بحسب الزيادة في المحتوى السليكاتي كما يلي:
(أ) بازلت، أنديزيت، جرانيت.
(ب) جرانيت، أنديزيت، جرانيت.
(ج) بازلت، جرانيت، أنديزيت.
(د) أنديزيت، جرانيت، بازلت.

9- تنصهر الصّخور في باطن الأرض عندما:
(أ) تصعد نحو الأعلى إلى مناطق انخفاض الضغط.
(ب) يضاف الماء مما يقلل درجة انصهار الصخر.
(ج) أ+ب
(د) لا شيء مما ذكر.
10- تحوي الصّخور الرّسوبيّة عادة بقايا أشكال الحياة القديمة؛ الأحافير. وهذه الأحافير تساعدنا على فهم:
(أ) تاريخ الأرض الجيولوجي والبيولوجي.
(ب) تشكّلِ الأرض الأولي.
(ج) أحزمةِ المعادن المتتابعة.
(د) اختلافاتِ أشكال الحياة.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

١ ب، ٢ ب، ٣ ج، ٤ ب، ٥ ب، ٦ ج، ٧ د، ٨ أ، ٩ أ، ١٠ ج

اكتشف المزيد

http://mincerals.usges.gov
الصفحة الرئيسية لمصادر المعارف، برعاية دائرة المسح الجيولوجي الامريكية والتي توفر احدث المعلومات الحيادية حول وجود، وجودة، وكمية، وتوفر مصادر المعادن. هذا الموقع على المواد المكتوبة، والتي تركز على البحث والاحصاءات.

http://webminceral.com
يوفر هذا الموقع، الحائز على جائزة بيانات يكثفه حول عالم المعادلات. كما يشمل الموقع على لوحات تصنيف وقوائم مرتبة ابجدياً. قم بتصفح معرض صور المعادن الرائع والذي يشمل أصل المعادن ووصف المحتويات.

http://sln.fi.edu/fellows/fellol/oct9/create/index.html
جزء من موقع روك وندز برعاية مدرسة المجتمع المحلي في للوجووتي، وبين هذا الموقع تفاصيل تكون الصخور. قم بزيارة الصفحة الرئيسة لمعرفة المزيد عن حقائق الصخور إضافة إلى بعض مصادر التعليم المقترحة.

http://wrgis.wr.usgs.gov/docs/parks/rxmin/content.html
هذا الموقع مسعى تعاوني بين فريق عمليات المسح الجيولوجي الامريكي لسطح في القرب وخدمة الحديقة الوطنية. كما أنه يوفر معلومات مكثفة حول أنواع الصخور. كما يتضمن صورا وتوصيف. ولوحة تصنيف سهلة إضافة الى بعض المعلومات حول المعادن.

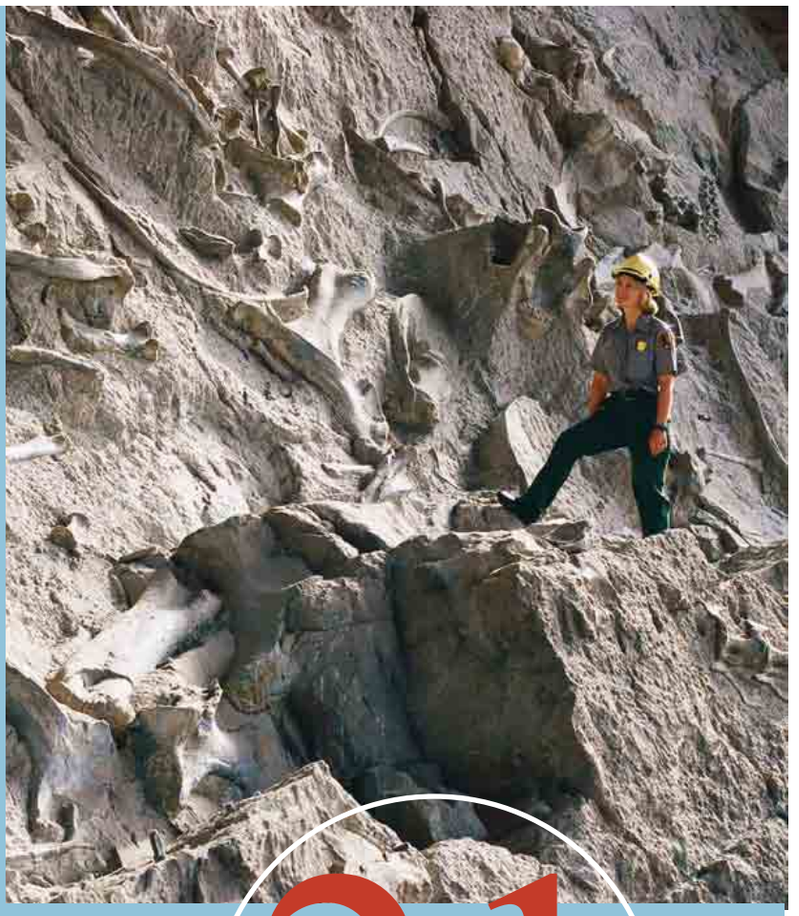
http://hvo.wr.usgs.gov
هذا الموقع هو الصفحة الرئيسة لمرصد بركان هاواي وهو برعاية دائرة المسح الجيولوجي الامريكي. تعرف على احدث المعلومات حول البراكين النشطة في هاواي اضافة الى تاريخ البراكين الخامدة والهزات الأرضية.

الفصل 20 مصادر على الشبكة

دروس تعليمية
- نشاط دورة حياة الصخور

أشرطة فيديو
- دورة حياة الصخور

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط



الزمن الجيولوجي
قراءة السجل الصخري

21

1.21 السّجل الصّخريّ – التأريخ النّسبيّ
2.21 التأريخ الإشعاعيّ
3.21 الزّمن الجيولوجيّ
4.21 زمن ما قبل الكامبريّ
(4500 – 543 مليون سنة خلت)
5.21 حقبة الحياة القديمة
(543 – 248 مليون سنة خلت)
6.21 حقب الحياة المتوسطة
(248 – 65 مليون سنة خلت)
7.21 حقبة الحياة الحديثة
(65 مليون سنة خلت حتى الآن)
8.21 تاريخ الأرض في كبسولة

■ يصل عمر الأرض إلى 4.5 مليارات سنة. ويسمى هذا الزّمن الشّاسع *الزّمن الجيولوجيّ* وهو صعب الاستيعاب. ولكن يمكن تخيله باستخدام التمرين التالي:

تخيّل أننا نستطيع ضغط 4.5 مليار سنة في سنة واحدة. إذن، فكوكب الأرض بدأ في التشكل من المادة الأولية في النِّظام الشّمسيّ بتاريخ 1/1. أما أقدم صخور الأرض، فقد ظهرت في نهاية شهر شباط (فبراير). ظهرت البكتيريا البسيطة في البحر في نهاية مارس، ولكن النباتات والحيوانات المعقدة لم تظهر إلا في نهاية تشرين أول، أو بداية تشرين الثاني (أكتوبر- نوفمبر). سادت الديناصورات الأرض في منتصف ديسمبر، واختفت في 26 من ديسمبر. في حين ظهر البشر في الساعة 11.50 بعد الظهر في 31 من ديسمبر. وساد التاريخ البشري المدون كلّه في آخر دقيقة من مساء ليلة نهاية السنة.

كيف يمكننا تفكيك هذا الزّمن الطويل والتحدث عن تاريخ الأرض؟ إنّ تاريخ الأرض مسجل في سجلها الصّخريّ، ويستخدم العلماء مبدأ النسقية لربط ما نعرفه عن عمليات الزّمن الحالي بالأحداث الماضية.

«الحاضر مفتاح الماضي»

ببساطة، ينصّ مبدأ النسقية على أنّ القوانين الطبيعية (كقوانين الفيزياء) التي نعرفها اليوم كانت ثابتة في أثناء الماضي الجيولوجيّ. يشبه السّجل الصّخريّ دفتر يوميات طويلًا ومفصلًا، يحوي تاريخ الأحداث التي شكلت الأرض. ومع ذلك، فإنّ هذا الدفتر غير مكتمل؛ إذ إنّ العديد من صفحاته مفقودة، وبخاصة الجزء الأقدم منها، كما أنّ العديد من الفترات مهترئة وممزقة ويصعب قراءتها. غير أنّ هناك صفحات كافية تم حفظها لتقدم لنا سجلًّا للأحداث في أثناء 4.5 مليار سنة من تاريخ الأرض.

1.21 السّجل الصّخريّ – التأريخ النّسبيّ

توفر طبقات الصخور الرسوبية دليلًا جيدًّا للأعمار النسبية للصخور؛ لأنّ الطّبقات الصّخريّة ترسبت بعضها فوق بعض. وبما أنّ الطبقة السفلى تكونت قبل الطّبقة العليا فهي إذن أقدم من الطّبقات التي تعلوها. وقد يكون أكثر عرض باهر للسجل الصّخريّ هو الأخدود العظيم لنهر كولورادو في أريزونا (الشكل 1.21). فالطّبقات المتكشفة في جدران الوادي وسموكها دليل على النشاط الجيولوجيّ العظيم عبر ملايين السنين. وتختلف الظّروف التي ترسبت خلالها الطّبقات الرسوبية بشكل كبير؛ لأنّها تتغير من فصل إلى آخر، ومن سنة إلى أخرى، ومن قرن إلى آخر.

الشّكل 1.21
الطّبقات السفلى من الأخدود العظيم أقدم من الطّبقات العليا، والتي تمثل مبدأ التعاقب الطّبقيّ.

تظهر بعض الطّبقات دورات مُناخية تمتد عصورًا. في حين تشير طبقات أخرى إلى أزمنة كانت فيها اليابسة مغطاة بمياه بحر ضحلة. وطبقات أخرى تشير إلى فترات زاد فيها هطول الأمطار مصاحبًا لعملية رفع المنطقة بعد ملايين السنين من ترسب الطبقة العليا. وقد قامت عمليات الحتّ من نهر كولورادو بقصّ الطّبقات المتراكمة من الصّخور الرّسوبيّة، كقصّ السّكين لطبقة الكعك، مكونة الوادي الذي نراه اليوم.

ولفهم تاريخ الأرض جيدًا؛ علينا معرفة عمر كلّ تكوين صخريّ. وكما سنناقش قريبًا، فإنّ العمر المطلق للصّخر يقاس من خلال *التأريخ الإشعاعيّ* (قياس النّظائر المشعة نسبة إلى الناتج عن التحلل). ولكن قبل وجود هذه التقنية لمعرفة العمر المطلق لصخر، اعتمد العلماء على التأريخ النسبيّ الذي يرتّب الصخور بتسلسل بحسب عمرها النسبي.

الشّكل 2.21

القواطع التي تقطع جسمًا صخريًّا تكون أحدث من الجسم المقطوع. في الشكل، القاطع أ يقطع القاطع ب، والقاطع ب يقطع القاطع جـ واستنادًا إلى مبدأ القاطع والمقطوع، فإنّ أ أحدث القواطع، يليه القاطع ب، في حين يعدّ القاطع جـ أقدمها. والطّبقات الأفقية التي قُطعت من القواطع الثلاثة جميعها أقدم من القاطع جـ.

وعليه، فإنّ العمر النسبيّ لا يتطلب الزّمن لوقوع الحدث، ولكن زمنه بالنسبة إلى فترات زمنية أخرى في التاريخ الماضي للأرض. يعتمد التأريخ النسبيّ الذي لا يزال مستخدمًا اليوم بشكل واسع على المبادىء الآتية:

1. **التّرسيب الأفقيّ (مبدأ الأفقية الأصليّة)(*Original Horizontality*):** تترسب الطّبقات الرسوبية أصلًا بشكل أفقيّ. لذا فإنّ الطّبقات المائلة التي نراها اليوم – من ميل قليل إلى شديد- تم تشويهها بالزلازل وبناء الجبال بعد ترسبها.
2. **التّعاقب الطبقيّ (*Super Position*):** في تعاقب طبقي لصخور رسوبية لم تتعرض للتشويه، كلّ طبقة تترسب فوق طبقة أقدم منها موجودة أسفلها، مثل الجرائد في الحاويات، حيث نجد الجرائد القديمة أسفل الأحدث منها.
3. **القاطع والمقطوع (*Cross-Cutting Relationships*):** أيّ اندفاع ناريّ، أو صدع يقطع صخورًا موجودة، هو أحدث من الصّخر الذي قطعه (الشكل 2.21).
4. **الاحتواء (*Inclusions*):** هي قطع صخر محتواة في صخر آخر؛ فأيّ قطع محتواة تكون أقدم من الصّخر الحاوي لها، تمامًا كالقطع الصّخريّة الصّغيرة المستخدمة في الأسمنت التي تشكلت قبل تشكّل الأسمنت نفسه. (الشكل 3.21).

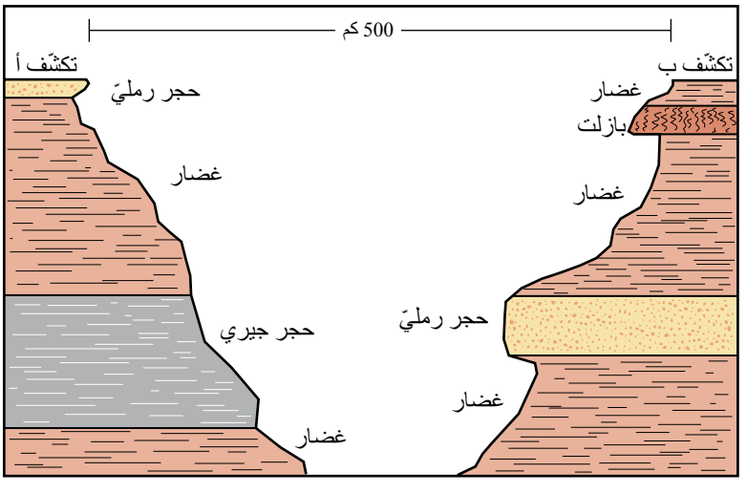
الشّكل 3.21

الصخور المحتواة في الصّخر الرسوبيّ وجدت قبل تشكّل الصخر الرسوبي، مما يمثل مبدأ الاحتواء.

إنّ هذه المبادئ الأربعة واضحة، وتستخدم في معرفة أعمار التّكوينات الصّخريّة بعضها بالنسبة إلى بعض - أي لمعرفة أيّ التّكوينات كان أولًا، وأيّها ثانيًا وهكذا – لمنطقة معينة أو مقطع صخريّ. ولكن لإعادة بناء العمر النسبيّ للصخور لمنطقة أكبر، فإنّنا بحاجة إلى معلومات إضافية. مرة أخرى، يقدّم الوادي العظيم مثالًا نموذجيًّا. لا تمتد صخور الوادي العظيم فترة زمنية طويلة فقط، ولكنها تمتد أفقيًّا لمئات الأميال، لذا تُظهر امتداد بيئة التّرسيب. ولكن لا تري الطّبقات جميعها امتدادًا أفقيًّا كالموجودة في الوادي العظيم. وخلال فترات زمنية طويلة، يمكن لطبقات الصّخور أن تتكسر بالتّصدّع أو الطّيّ، أو أن تغطى برسوبيات أحدث. ولهذا فإنّ كلّ ما نراه هو صخور منفصلة. وفي مثل هذه الحالة، علينا استخدام مبدأ الاستمرارية الجانبيّة.

5. **الاستمراريّة الجانبيّة (*Lateral Continuity*):** ترسبت الطّبقات الرّسوبيّة في الاتجاهات جميعها على مساحة واسعة إلا إذا وجد بعض الحواجز. ويمكن لكلّ من التّصدّع والطّيّ والتّعرية فصل الطّبقات المستمرة أصلًا إلى تكشفات معزولة.

ويمكن استخدام الاستمرارية الجانبية في مطابقة التّكشّفات الصّخريّة المعزولة مع التّكشّفات الأخرى ولمساحات واسعة (الشكل 4.21). إذا احتوت التكشفات المعزولة على خصائص متشابهة (كاللون، والمعادن، وحجم الحبات، والمحتوى الأحفوري) وتتابع عمودي ثابت، فيمكن معرفة أنّها كانت يومًا ما متصلة.



الشّكل 4.21

يمكن استخدام الاستمراريّة الجانبيّة في معرفة العمر النسبي للصّخور في مناطق متباعدة. التكشفان أ، ب لهما خصائص مشتركة، ولكن أحدهما يبتعد عن الآخر ٥٠٠ كم. هل من الممكن أن يكون هذان التكشفان يومًا ما متواصلين؟ وبالنظر إلى التتابع الطبقي، هل يمكن أن تخبر أيّ الصخور أقدم، وأيّها أحدث؟

لذا، عندما نجتمع مع مبادئ تأريخ نسبي أخرى – التعاقب الطبقي والتّرسيب الأفقي- فإنّ الاستمرارية الجانبية تجعل تطبيق علاقات العمر النسبي متاحة فوق مساحة كبيرة.

وكما تم مناقشته في الفصل 20، فالأحافير هي بقايا أو طبعات حيوانات و/ أو نباتات قديمة تم حفظها في الصخر. ومن المعروف اليوم أنّ الأحافير تسجّل تطوّر الحياة على الأرض، ولكن في القرن الثامن عشر، كان يعتقد أنّ دراسة الأحافير مجرد فضول. ثم جاء وليم سميث (1839 – 1769) الذي كان مستكشفًا في مشروع قناة، وشاهد بعض طبقات الصّخور تحوي أنواعًا مختلفة من الأحافير، وأنّ هذه الطّبقات الحاوية أحافير تتبع نسقًا متتابعًا ثابتًا. كما أنّه لاحظ التتابع في أنواع الصّخور والأحافير لكلّ طبقة. ومن ثَمَّ استخدم الأحافير لعمل مضاهاة لطبقات الصخور في مناطق مختلفة، ليكتشف بعد ذلك أنه يمكن استخدام الأحافير لعمل ترتيب زمني لطبقات صخرية متتابعة، وخلُصَ إلى مبدأ تعاقب الحياة مستخدمًا هذه المعرفة العلمية.

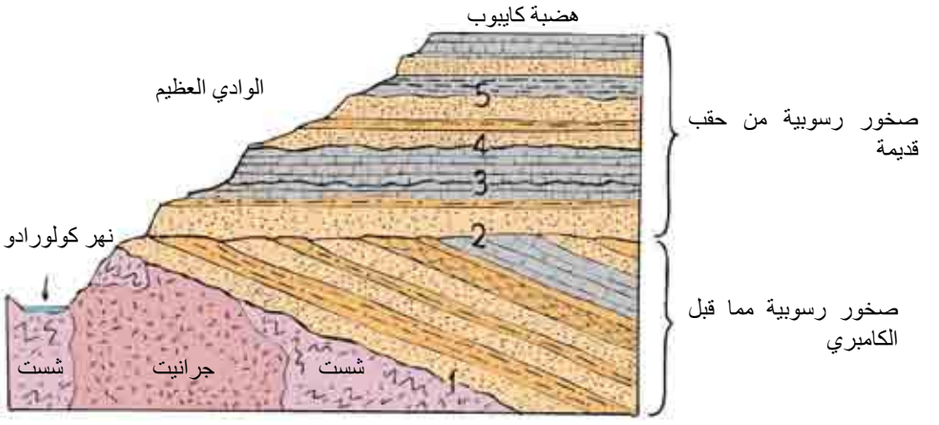
6. **مبدأ تعاقب الحياة (*Faunal Successions*):** تتبع المجموعات الأحفورية بعضها بعضًا بتتابع زمني محدد وغير منعكس. وتتغير مجموعات الأحافير مع الزّمن فينقرض بعض الأنّواع، وتظهر أنواع أخرى، وهذه التغيرات تنعكس في السّجل الصّخريّ. وتعمل الأحافير على توفير وسيلة لمعرفة العمر النسبيّ للصّخور.

إنّ ملاحظات سميث بأنّ الأحافير موجودة في الصخور بترتيب محدد لم تساعد فقط على التأريخ النسبيّ، ولكنها ساعدت أيضًا على مضاهاة الطّبقات الصّخريّة على مقياس عالمي. يمكن مضاهاة الأحافير – بعد تعرفها وتصنيفها – لحالات محددة في تاريخ الأرض الجيولوجيّ. وبعد أن وضع العلماء السّلّم الزّمني، فقد أصبح بالإمكان استخدام الأحافير في الصخور لمعرفة صخور أخرى بالعمر نفسه في منطقة أخرى في الأرض.

وبطرق عديدة، فإنّ دراسة السّجل الصّخريّ تشبه عمل متحرٍّ بوليسيّ يفكك لغز جريمة ما؛ فكلتا الدراستين تتطلب النظر في الدلائل. تمامًا مثلما يملك مختصّو التّحري فرضيات لحلّ ملابسات الجريمة، فإنّ علماء الأرض يعتمدون على مبادئ التأريخ النسبي، وعلاقات العمر، ومضاهاة طبقات الصخور. يقوم العلماء بمضاهاة الصخور، وتتابعها الطّبقيّ ، والأحافير في طبقاتها. وكما في حلّ لغز جريمة ما، فإنّه لا يمكن حلّ القضية إلا بوجود دليل واضح. وعادة ما يكون لدى متحرّي علم الأرض دليل بسيط في البداية، ولكنه قد يفقد أحيانًا. قد تؤدي العمليات الداخلية في الأرض إلى طيّ طبقات الصّخور وتشويهها (الفصل 22). في حين تقوم العمليات الخارجية بتجوية الطّبقات وتعريتها (الفصلان 20، و 23). مهما كان السبب، فإنّ النتيجة تفتقد الدليل.

لمعلوماتك

للأحافير دلائل زمنية عظيمة، كما أنّ لها دلائل بيئية مهمة. فمثلًا، هناك أنواع معينة من المرجان الحديثة توجد في مياه دافئة استوائية. وعند وجود مرجان مشابهة متحفرة، نستنتج أنّ المنطقة -حيث وجد المرجان- كانت يومًا ما بحرًا ضحلًا دافئًا استوائيًّا. كما تساعد الأحافير على حلّ مسائل تاريخ الأرض.



الشّكل 5.21

يمكن حلّ مسألة عمر الوادي العظيم من خلال تتابع الطّبقات الصّخريّة. كما في مناطق أخرى، فإنّ التتابع غير مستمر، وهناك فجوات زمنية. (1) لا توافق يفصل الصّخور المتحوّلة القديمة عن الصّخور الرّسوبيّة. (2) عدم توافق زاوي يفصل الطّبقات القديمة المطوية عن الطّبقات الرسوبية الأفقية. توجد الفجوات الزّمنية بين الطّبقات الرّسوبيّة الأفقية. عدم التوافق الحتّيّ (3) و(5) من الصعب تمييزها، وتتطلب عينًا جيدة ومعرفة في الأحافير.

الفجوات في السّجل الصّخريّ (Gaps in the rock record)

مع أنّ معظم طبقات الصّخور الرّسوبيّة ترسّبت دون انقطاع، فلا يوجد تتابع متواصل من زمن تكوّن الأرض إلى الوقت الحاضر. إنّ التّرسيب مستمر، ولكن عملية التجوية والتعرية، ونهوض القشرة، والعمليات الجيولوجيّة تقوم بإزالة طبقات الصّخور، أو أنّها تؤثّر في التّرسيب. وقد أدت هذه الأسباب إلى وجود انقطاعات أو فجوات في السّجل الصّخريّ، كما يبينه الشكل 5.21. نجد هذه الفجوات، التي ندعوها **عدم التوافق (*Unconformities*)** من خلال ملاحظة العلاقات بين الطّبقات والأحافير.

إنّ أسهل أنواع عدم التوافق تمييزًا هو عدم التّوافق الزّاويّ (*Angular unconformities*). في هذا النوع، يتم تغطية صخور مطوية أو مائلة رسوبية بطبقات أفقية أحدث سهلة التمييز؛ لأنّ الطّبقات الصّخريّة أسفل عدم التوافق تصنع زاوية نسبة إلى الطّبقات فوق سطح عدم التوافق. يتشكّل سطح عدم التوافق الزاوي عندما ترفع طبقات قديمة كانت أصلًا أفقيّة، وتميل بحركات في باطن الأرض (الشكل 6.21). وفي أثناء عملية الرفع وبعدها، تعمل التّعرية على تسوية السّطح المكون من طبقات مائلة تؤدي إلى تكوين سطح جديد منبسط. وبعد انتهاء فترة التعرية، تتوضّع طبقات رسوبية جديدة فوق الطّبقات المائلة، وتكون هذه الطّبقات الأحدث أفقية. عدم التوافق الزاوي هو «سطح التعرية» الذي يفصل الطّبقات المائلة عن الأفقية، ويمثل الفترة الزّمنية الطويلة التي حدثت خلالها عمليتا الرّفع والتّعرية. هل ترى أنّ عدم التوافق الزاوي عادة يمثل أحداث بناء جبال قديمة؟ إنّ جزء السّجل الصّخريّ الذي يمثل هذه الفترة الزّمنية مفقود الآن بسبب التعرية، وعدم التوافق هو الدليل الباقي.

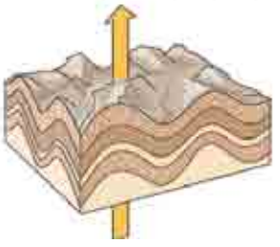
وعند وجود صخور رسوبية فوق سطح تم تعريته في صخور متحولة أو نارية جوفية فإنّنا نسمي عدم التوافق *هنا لا توافق*. تكونت الصخور النارية أو المتحولة عميقًا تحت سطح الأرض، ولكنها أصبحت فوق السطح عندما ترسبت عليها الصخور الرسوبية. لذا فإنّ اللاتوافق يشير إلى أنّ عملية كبيرة من الرفع والتعرية حدثت قبل ترسب الطّبقات الرسوبية، مع وجود فترة طويلة من الزّمن الضّائع في السّجل الصّخريّ. ومن أنواع عدم التوافق كذلك *عدم التوافق الحتّيّ* الذي يكون عند وجود زمن ضائع بين طبقات رسوبية أفقية. ولأنّ الطّبقات أعلى السطح وأسفله تكون متوازية، فإنّ من الصعب تمييز هذا النوع من عدم التوافق.

الشّكل 6.21

تتابع الأحداث التي تنشىء سطح عدم التوافق الزاوي.

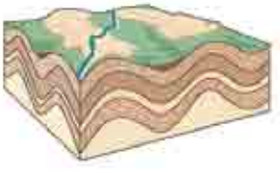
(أ) رسوبيات توضّعت على شكل طبقات تحت سطح البحر.

(ب) في أثناء بناء الجبال، تتعرض الطّبقات الرّسوبيّة المتصلبة للطّيّ والتّشويه. وتبدأ التّعرية.



(ج) مع تضاؤل بناء الجبال، يعرّى السّطح المتكشّف بحيث يصبح سطحًا شبه مستو.

(د) مع هبوط المنطقة تحت مياه البحر، تتوضّع رسوبيّات حديثة فوق سطح التّعرية السّابق.



■ نقطة فحص

1. إذا قطع محقون جرانيتي مثل القاطع طبقات رسوبية. فأيهما أقدم: الطّبقات الرّسوبيّة أم الجرانيت؟
2. انظر إلى التّكشّفات أ و ب في الشّكل 4.21. التّكشّفات مفصولة بمسافة 500كم. هل من الممكن أن تكون هذه الطّبقات في يوم ما متواصلة؟ إذا كان الجواب نعم. فأيّ الطّبقات أقدم. وأيّها أحدث؟

هل كانت هذه إجابتك؟

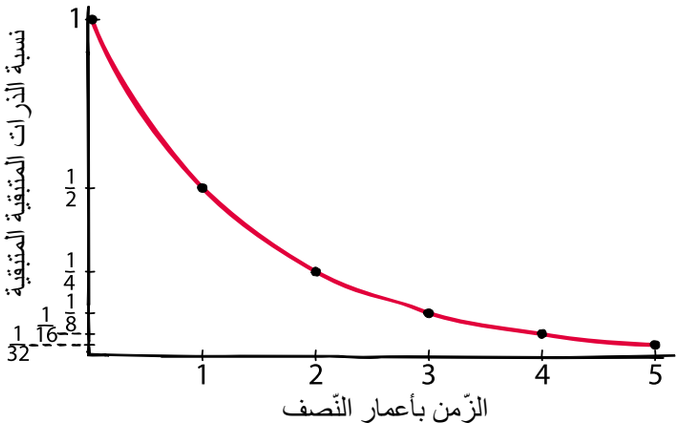
1. المحقون صخر حديث التّشكّل. لذا. فإنّ الطّبقات الرسوبية أقدم من المحقون الذي قطع الطّبقات.
2. نعم. إذا كانت متواصلة. فإنّ الحجر الرّمليّ في التّكشّف أ يطابق الحجر الرّمليّ المحصور بين طبقتي الغضار في التّكشّف ب. ولهذا. فإنّ الطّبقات الصّخريّة كلّها فوق الحجر الرّمليّ ب هي أحدث. أمّا بالنسبة إلى التّكشّف أ. فإنّ التّرسيب الأفقيّ والتّعاقب الطّبقيّ يدلنا على أنّ الغضار السّفلي هو الأقدم. ومن ثمّ الحجر الجيري. يليه الغضار. وأخيرا الحجر الرملي. نفترض التتابع نفسه في التّكشّف ب. لكننا لا نرى الحجر الجيري. وإذا وجدت الأحافير فهذا يدعم استنتاجنا.

■ 2.21 التأريخ الإشعاعيّ

يخبرنا التأريخُ النسبيّ أيَّ جزء من قشرة الأرض هو الأقدم أو الأحدث. ولكنه لا يخبرنا بالعمر الحقيقي للصخر؛ أي الزّمن الذي انقضى منذ تصلبه. وعليه. يمكن معرفة العمر الحقيقي للصخر باستخدام **التأريخ الإشعاعيّ *(Radiometric dating)***. وهي عملية تقيس نسبة النّظائر المشعة إلى الناتج عن التحلل. يشير عمر النّصف للنظير المشع إلى الزّمن اللازم لتحلل نصف المادة لإعطاء النظير الوليد (الشكل 7.21). ويمكن مشاهدة بعض النّظائر المعروفة المستخدمة في التأريخ ومعرفة الزّمن الجيولوجيّ في (الجدول 1.21).

لمعلوماتك

إنّ أقدم الصّخور التي عُثر عليها هي صخور النايس في أكاستا في شمال غرب كندا. حدّد عمر بلورات الزركون صخور التايس 4.03 مليار سنة- وهو العمر الأصلي قبل التّحول. وأقدم معدن عُثر عليه هو بلورة زركون في حجر رملي في أستراليا. عمر البلورة 4.4 مليار سنة. يشير وجود هذه البلورة إلى أنّ الأرض بردت أسرع مما نعتقد. العلم ليس ثابتًا. بل يتقدم مع الاكتشافات الحديثة كلّ يوم.



الشّكل 7.21
كمية المادة الأم مقارنة بعدد فترات عمر النّصف المتبقية مع تحلّل النظير الأم.

لتأريخ أجسام حديثة جيولوجيًّا، وخصوصًا لتأريخ المادة العضوية، فإنّ نظير الكربون - 14هو الاختيار الأمثل. للكربون – 14 عمر نصف قصير نسبيًّا (5760 سنة). لذا، فهو مفيد في تأريخ الأحداث الجيولوجيّة الحديثة التي تمّت خلال الـ 50000 سنة الأخيرة (انظر بند 4.13). ولكن لتأريخ مواد أقدم، تُستخدم عناصر مشعة كاليورانيوم. إنّ العديد من الصّخور الشّائعة تحوي كميات قليلة من اليورانيوم، وتحتاج إلى كمية قليلة لعمل تحاليل مختبرية. يتحلل اليورانيوم - 238 إلى النظير المستقر الرّصاص206. في حين يتحلل اليورانيوم - 235 إلى النظير المستقر الرّصاص - 207. لا يوجد أيّ مصدر طبيعيّ لهذين النّظيرين من الرّصاص، لذا فإنّ أيّ رصاص - 206 أو رصاص - 207 موجود في صخر اليوم كان في يوم ما يورانيوم. فمثلًا، إذا احتوت عينة على كميات متساوية من اليورانيوم – 235 والرّصاص - 207، فإنّ عمر العينة هو عمر نصف واحد لليورانيوم – 235 وهو 704 ملايين سنة. وإذا احتوت عينة من اليورانيوم على كمية قليلة من الرّصاص207-، فإنّ العينة أصغر عمرًا من عمر نصف واحد لليورانيوم (لم يتم مرور عمر نصف).

لمعلوماتك

يعتمد التأريخ الإشعاعيّ على افتراض أنه مع تبلور المعدن، فإنّ أي نظير وليد يتم العثور عليه هو من تحلل الأم فقط. ما يعني أنه لا وجود للنظير الوليد في البداية. وهناك افتراض مهم آخر وهو عدم وجود تسرب للنظير الأم أو الوليد داخل المعدن أو خارجه. فمثلاً، إذا وجد معدن بالتحول فإنّ الساعة يتم إعادة بدئها ما يعقد تحديد العمر. في التأريخ الإشعاعيّ وطرق التأريخ الأخرى هناك القليل من عدم الدقة. إنّ إعادة التأريخ في عملية التأريخ النسبي والمطلق تزيد من الدقة.

نقطة فحص

1. هل يمكن استخدام الكربون – 14 لتحديد عمر صخور عمرها 100 مليون سنة؟
2. كيف يمكننا تحديد عمر صخور رسوبية؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. لا؛ لأنّ الكربون – 14 له عمر نصف مقداره 5760 سنة، ويمكن استخدامه لتحديد أعمار الصخور الحديثة فقط. أي كربون – 14 (مثلًا من الكالسيت) موجود في صخر قديم بهذا العمر يكون قد تناقص إلى كمية غير قابلة للقياس.
2. إذا علمنا العمر الأكبر (لا يمكن أن يكون عمر الصخر أكبر من عمر المعادن داخله) لأيّ طبقة تعلوه أو أدنى منه، فإنّنا نستطيع تقدير عمر الصخر الرسوبي ما بين هذين العمرين باستخدام مبدأ التعاقب الطبقي.

الجدول 1.21 النّظائر المستخدمة في التأريخ الإشعاعيّ

النّظيرة الأم المشعّة	النّظير الوليد المستقرّ	عمر النّصف
يورانيوم – 238	رصاص – 206	4.5 مليار سنة
يورانيوم – 235	رصاص – 207	704 ملايين سنة
بوتاسيوم – 40	أرجون – 40	1.3 مليار سنة
كربون - 14	نيتروجين – 14	5760 سنة

إنّ التّحلل الإشعاعيّ موجود في كلّ مكان. العناصر التي لها عدد ذريّ أكبر من 82 (الرّصاص) جميعها مشعة، ولكنها ليست بالضرورة خطيرة.

3.21 الزّمن الجيولوجيّ

تم تطوير سلم الزّمن الجيولوجيّ (الشكل 8.21) باستخدام التأريخ النسبي، ومن ثم إعطاء أعمار محددة لها باستخدام التأريخ الإشعاعيّ. يقسم سلّم الزّمن الجيولوجيّ تاريخ الأرض، 4.6 مليار سنة إلى وحدات زمنية بأحجام مختلفة. *الدهور* (جمع دهر) هي أكبر الوحدات في الزّمن الجيولوجيّ. وقد بدأ الدهر الذي نعيش فيه قبل 543 مليون سنة. ويسمى دهر الحياة الظاهرة. يقسم دهر الحياة الظاهرة إلى ثلاث حقب هي: حقبة الحياة القديمة، وحقبة الحياة المتوسطة، وحقبة الحياة الحديثة. وكلّ واحدة من هذه الحقب الثلاث تقسم بدورها إلى *عصور*، ومن ثم تقسم هذه العصور إلى *فترات*.

لاحظ أنّ معظم تاريخ الأرض موجود قبل حقبة الحياة القديمة، وتسمى هذه الفترة الزّمنية زمن ما قبل الكامبري (*Precambrian Time*) التي تمتد قرابة 4 مليار سنة من تاريخ الأرض. يقسم زمن ما قبل الكامبري إلى ثلاثة دهور هي: الهادي، والأركي، والبروتيروزي.

لمعلوماتك

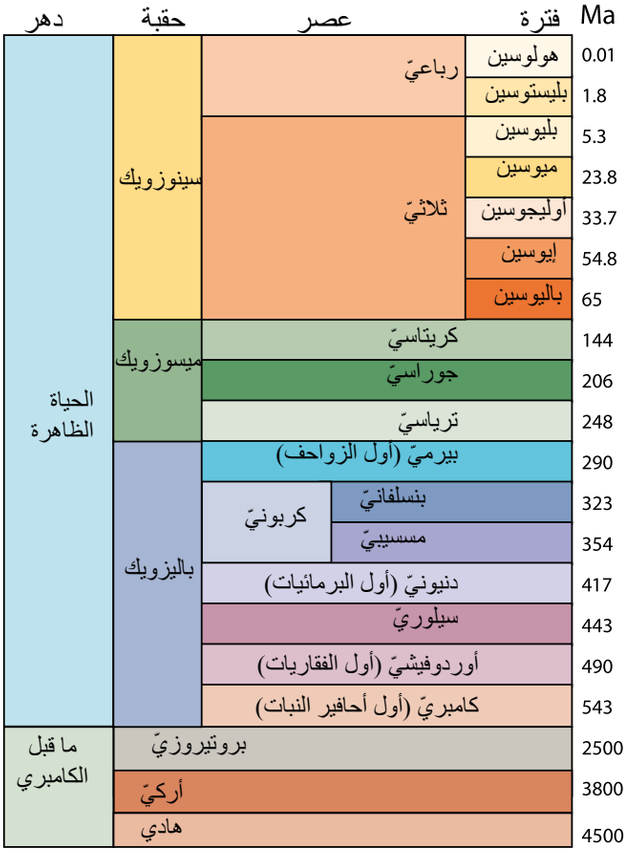
■ يمكن للتأريخ الإشعاعيّ أن يعطينا عمر معادن أو/و مادة عضوية، ولكنه لا يمكن أن يعطينا مباشرة عمر صخر رسوبي. تذكر أن الصخور الرسوبية مكونة من بقايا صخور قديمة. لذا يمكن تأريخ المعدن في الصخر وليس تأريخ الصخر الرسوبي. لا يمكن أن يكون عمر الصخر أكبر من عمر المعادن فيه (مبدأ الاحتواء). لذا كيف نحدد عمر الصخر الرسوبي؟ نستخدم التأريخ النسبي بالتعاون مع التأريخ المطلق لإعطاء حدود لعمر الصخر. كلما زادت التقنيات كان العمر أفضل.

■ نقطة فحص

1. صف الزّمن الحاليّ من تاريخ الأرض بالنسبة إلى وحدات الزّمن الجيولوجيّ من الدهر إلى الفترة.
2. الوحدات الزّمنية في سلم الزّمن الجيولوجيّ هي بوحدة Ma. فما معناها ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. نعيش في دهر الحياة الظاهرة، في حقبة الحياة الحديثة، في العصر الرّباعيّ وفترة الهولوسين.
2. *Ma* تعني مليون سنة.



الشّكل 8.21

يقسم سلم الزّمن الجيولوجيّ تاريخ الأرض إلى وحدات زمنية بأحجام مختلفة. وحدة الزّمن فيه هي Ma (مليون سنة). فمثلًا، بدأت حقب الحياة القديمة قبل 543 مليون سنة.

4.21 زمن ما قبل الكامبريّ (4500 – 543 مليون سنة خلت)

يتراوح زمن ما قبل الكامبريّ من 4.5 مليار سنة، عندما نشأت الأرض، حتى 543 مليون سنة عندما ظهرت أشكال للحياة كثيرة وكبيرة. يشكّل زمن ما قبل الكامبريّ – وهو الزّمن الذي نعرف القليل عنه – 90% من تاريخ الأرض. إنّ معظم الصخور التي تشكّلت في هذا التّاريخ المبكر تم تعريتها، أو تحولها، أو إعادة تدويرها إلى باطن الأرض. ولم يكن للكائنات في ذلك الزّمن أعضاء صلبة لتتحفّر بسهولة. لذا فإنّ الأحافير في هذا الزّمن الهائل نادرة.

في بداية ما قبل الكامبري- دهر الهادي – كان زمن أنشطة بركانية وارتطام نيازك كثيرة* . واصلت قطعٌ صغيرة وكبيرة من فتات بين كوكبي، من بقايا تكوّن النّظام الشّمسي، الارتطامَ بالأرض وحطمت تاركة ندبًا فيها. كانت الأرض كوكبًا خاليًا من المحيطات، مغطاة بالبراكين التي تنفث الغازات والبخار من باطنها. ثم تكونت تيارات حمل كثيفة من الكميات الهائلة من الحرارة التي انطلقت من باطن الأرض، وجعلت قشرة الأرض القديمة مضطربة. أما الغلاف الجويّ لدهر الهادي، فقد تكوّن معظمه من غازات اندفعت من البراكين. قد يكون ثاني أكسيد الكربون كوّن 80% أو أكثر من الغلاف الجوي. وقد شكّل بخار الماء معظم الباقي مع النيتروجين، والأمونيا، وثاني أكسيد الكبريت، وأكسيد النيتريك كمكونات ثانوية. ولم يكن هناك وجود لأكسجين حرّ.

وفي وسط ما قبل الكامبري – دهر الأركي- بدأ سطح الأرض يبرد (الشكل 9.21)، مما هيأ فرصة نشأة المحيطات. ومع درجات حرارة أقلّ، تكاثف بخار الماء وشكّل الغيوم. وهطل من الغيوم كميات مياه أمطار كانت كافية لتغطي سطح الأرض ببحار ضحلة. وبقي باطن الأرض حارًّا ونشيطًا، وشكلت الفوهات البركانية جُزرًا صغيرة التحمت فيما بعد بجزر صغيرة أخرى لتكون جزرًا أكبر.

أصبحت هذه الجزر الكبيرة مقدمة لتشكل القارات القديمة. ويمكن رؤية أدلة على الالتحامات القديمة في صخور مطوية ومتصدعة معينة (مثلًا طبقات الصخور بجانب أكاستا، كندا) التي تشكل الآن وسط القارات الحالية. بدأت الحياة في الظهور خلال الأركي، وأثر هذا الحدث في الأحداث اللاحقة جميعها. كان عمر الكائنات البسيطة الأولى التي وجد لها أحافير 3.5 مليار سنة.** ستروماتوليت – وهي شبه الطحالب وتوجد كمستعمرات من البكتيريا مع رسوبيات كربوناتية في البحار الضحلة، وهي أقدم أحافير كائنات دقيقة معروفة.

الشّكل 9.21

يوضح هذا الرسم المظاهر المميزة لدهر الأركي، بما في ذلك قطع الفضاء مثل النيازك والمذنبات التي تتحطم على سطح الأرض. المادة الخضراء اللامعة على حافة الماء هي البكتيريا الأولية (أركايا) أما السيانوبكتيريا فموجودة في اللون الأخضر الغامق، التراكيب الدائرية في الماء تسمى ستروماتوليت.

لمعلوماتك

- في بداية تاريخ الأرض 4.5 – 4.3 مليار سنة، ارتطم نيزك بحجم المريخ بالأرض، مما أدى إلى زيادة الحرارة وتكوين جسم يدور حول الأرض ألا وهو القمر. كما أنّ الارتطام أدى إلى إمالة محور دوران الأرض حول نفسها 23.5 درجة. ودون هذا الارتطام، فإنّ محور دوران الأرض لن يميل نحو الشّمس، ولن يكون هناك فصول في الأرض.

* النيزك هو أيّ جسم صلب من الفضاء وقع على سطح الأرض دون أن يتبخر في الغلاف الجوي. وسوف نتعلم أكثر عن هذه الأجسام في الفصل 26 عندما ندرس تشكّل النّظام الشّمسيّ.

** ستروماتوليت لا تزال موجودة إلى الآن، وهي أحافير حية مهمة. يمكن أن توجد في البحيرات المالحة واللاغون المحصور، مثل خليج القرش في غرب أستراليا.

اربط مع الكيمياء

■ تكاوين الحديد المخطط

تحتفظ صخور الأرض بتاريخ الأرض. كما أنّ الغلاف الجوي للأرض الأولى يمكن تعرفه من المعادن في السّجل الصّخريّ. قبل 4 مليار سنة كان الغلاف الجوي يتكون من 80% ثاني أكسيد الكربون، و10% نيتروجين، و10%بخار ماء. أما اليوم، فالغلاف الجوي يتكون من 78% نيتروجين، و21% أكسجين. وهذا الاختلاف كبير. فماذا حدث لثاني أكسيد الكربون؟ من أين جاء الأكسجين الموجود حاليًّا كله؟ الجواب هو أنّ هناك عملية واحدة تفسر كلّ شيء وهي البناء الضوئي.

لقد ذاب معظم ثاني أكسيد الكربون في ماء البحر، وتفاعل مع الكالسيوم الذائب والماغنسيوم لتشكيل الحجر الجيري. لذا فإنّ مصدر أول صخور الحجر الجيري من الغلاف الجوي. ومع موت الكائنات التي تعمل بناء ضوئيًّا غاصت بقاياها إلى قاع البحر لتختلط مع الرسوبيات وتكوّن حجرًا جيريًّا آخر. كما أنّ الأكسجين ذاب أيضًا في الماء. وعندما بدأ إنتاج الأكسجين من البناء الضوئي، ذاب الكثير منه في ماء البحر. ولكن قبل زيادة تركيز الأكسجين، فإنّ البيئة الفقيرة بالأكسجين سمحت للحديد الذائب بالترسب في المحيطات. لذا، فإنّ الحديد المذاب كان شائعًا في البحار الأولى. وبعد أن زاد الأكسجين المذاب، تفاعل مع الحديد المذاب فتسبب في ترسيب الحديد. ومن ثم، فإنّه عندما كان الهواء لا يحتوي على أكسجين، أو أنه يحوي كميات قليلة، فقد كان هناك قليل من الأكسجين في ماء البحر، وكميات كبيرة من الحديد المذاب. وعندما زاد تركيز الأكسجين، ترسب الحديد ليكون طبقة من معدن أكاسيد الحديد على قاع البحر. وعندما قلّ تركيز الأكسجين، قلّ ترسيب الحديد. هذا النمط الدوري لمستويات الأكسجين المتغيرة يظهر في الطّبقات المتبادلة لمعادن أكاسيد الحديد والرسوبيات الخالية من الحديد – تكوينات حديد مخططة.

استمرت هذه العملية من قبل 2.6 مليار سنة وحتى قبل 1.9 مليار سنة أي لفترة 700 مليون سنة. وهكذا تكونت الصخور الغنية بالحديد التي تدعم الصناعة حاليًّا. تعتمد صناعات الحديد والفولاذ العالمية الآن كليًّا تقريبًا على الخامات الحديدية المصاحبة لتكوينات الحديد المخطط.

لمعلوماتك

■ قلّل المطر بخار الماء في الغلاف الجوي، كما قلّل كمية ثاني أكسيد الكربون الذي ذاب في قطرات الماء والمحيطات المتشكلة. وبهذه الطريقة، بدأ الغلاف الجوي يصبح غنيًّا بالنيتروجين.

استند نجاح هذه الكائنات الأولى إلى قدرتها على البقاء في البيئة الأولى الفقيرة بالأكسجين. هذه الكائنات الدقيقة، البكتيريا الخضراء المزرقة، كان لها نوع بسيط من البناء الضوئي. تقوم هذه الكائنات بدمج ثاني أكسيد الكربون مع الطاقة الشّمسية لعمل السكر البسيط – مصدر طاقة حيوي قابل للاستعمال.

يعد الأكسجين من فضلات تفاعل البناء الضوئي حيث يُطلق. لم يتراكم الأكسجين في هذه الفترة في الغلاف الجوي، بل ذاب في ماء البحر، ودخل في تكوين أنواع معينة من الصخور. تفاعل الأكسجين الذائب مع الحديد الذائب الذي كان موجودًا بكثرة في البحار الأولى، وقد أدى هذا التفاعل إلى تكوين أكاسيد حديد صلبة ترسبت في صورة *تكوينات حديد مخططة*. وتعد هذه التكوينات الصّخريّة القديمة شاهدًا على كمية الأكسجين التي تم إطلاقها في ذلك الوقت.

يحدد دهر البروتيروزي الذي استغرق بليوني سنة نهاية أطول فترة زمنية للأرض. وإليك بعض التغيرات في هذه الفترة: التحمت الكتل القارية جميعها لتكون قارة واحدة تدعى – *رودينيا* (كلمة روسية تعني الأرض الأم). وقد امتدت رودينيا من القطب الشمالي إلى الجنوبي، ثم انقسمت لتكوين مجموعة أخرى من القارات، ولكن حقيقة وجود معظم القارات بالقرب من القطب الشمالي أو الجنوبي قد يكون عاملاً مؤثرا في ذلك. مُناخيًّا، بردت الأرض لدرجة غطت الجليديات معظم سطحها. أما سبب البرودة فغير واضح. وقد ازدهرت الحياة في البروتيروزي في اتجاه جديد. فقد أنشأ التطور كائنات وحيدة الخلية ذات نواة. وقد عثر على أحافيرها في صخور عمرها 1.5 مليار سنة تقريبًا. وفي تغير آخر، ظهرت نباتات وحيوانات متعددة الخلايا منذ حوالي 700 مليون سنة مضت.

تحتوي صخور البروتيروزي في جنوب أستراليا على العديد من الأحافير لحيوانات ذات أجسام طرية؛ حيث تزودنا بالدليل الأول لمجتمع حيواني عاش في مياه بحرية ضحلة.

قد تكون المسألة الأكثر أهمية هي تراكم الأكسجين الحرّ في الغلاف الجويّ. فقد كان معظم الغلاف الجوي في زمن البروتيروزي مكوّنا من النيتروجين مع قليل من بخار الماء وثاني أكسيد الكربون. ولكن الأكسجين الحرّ الذي تحرر بالبناء الضّوئيّ من النّباتات في المحيطات بدأ الانتقال إلى الهواء. حتى هذا الزّمن، تم حبس الأكسجين المتحرر في ترسبات الحديد الضخمة حول العالم. ومع توقف استهلاك الأكسجين المنتج من قبل الحديد، بدأ الأكسجين الحرّ يزداد في الغلاف الجوي. وعندما توافرت كميات كبيرة من الأكسجين الحرّ (O_2) في الغلاف الجوي، بدأ تكوّنُ طبقة الأوزون الأولية (O_3) فوق سطح الأرض. وهذه الطبقة مهمة جدًّا؛ لأنّها تقلّل من كمية الأشعة فوق البنفسجية الضارة (UV) التي تصل سطح الأرض. أدى تراكم الأكسجين الحرّ في الغلاف الجوي والحماية المضافة الناجمة عن وجود طبقة الأوزون الجديدة إلى بروز حياة جديدة.

لمعلوماتك

■ العديد من صخور حقب الحياة القديمة مفيدة اقتصاديًّا. فمثلًا، العديد من الحجر الجيري الذي يتم تعدينه للبناء والأغراض الصناعية وترسبات الفحم في غرب أوربا وشرق أمريكا تشكلت خلال حقب الحياة القديمة.

■ **نقطة فحص**

1. ما الطريقتان اللتان كان تطور الأكسجين الحرّ فيهما أساسيًّا لتطور الحياة الجديدة؟
2. أين ذهب ثاني أكسيد الكربون الذي ميّز الغلاف الجويّ الأوليّ؟

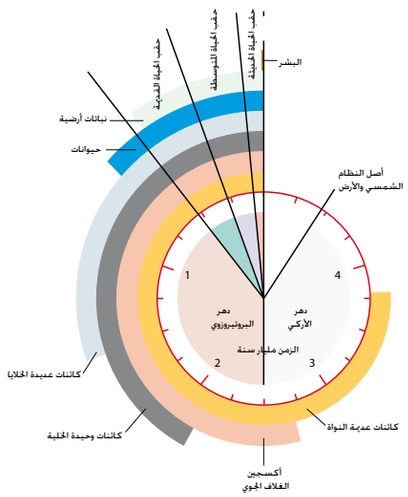
هل كانت هذه إجابتك؟

1. وفر الأكسجين الحرّ على شكل O_3 حمايةً من الأشعة فوق البنفسجية الضارة. أمّا الأكسجين على شكل O_2 فتوافر لعملية التّنفس.
2. لقد ذاب معظم ثاني أكسيد الكربون في المحيطات، اتحد مع الكالسيوم، وشكّل الحجر الجيريّ ($CaCO_3$). استهلك بعضه من قبل كائنات وحيدة الخلية في عملية البناء الضّوئي، والتي بعد موتها دخلت في الصخور.

■ 5.21 حقبة الحياة القديمة (543 – 248 مليون سنة خلت)

الشّكل 10.21

تبين هذه الساعة وقت ظهور كلّ مجموعة كائنات على الأرض. لقد ظهرت في حقبة الحياة القديمة العديد من الكائنات والنباتات.



إنّ ما نعرفه عن حقب الحياة القديمة مقارنة بزمن ما قبل الكامبري كثير، ولكنه قصير جدًّا. بدأت الحقب القديمة قبل 543 مليون سنة، واستمرت 295 مليون سنة. وخلال هذا الزّمن، ارتفع مستوى البحر في العالم وانخفض عدة مرات، مما أدى إلى غمر القارات ببحار ضحلة، وازدهار الحياة البحرية. وقد أدى تغير مستوى البحر إلى تطوّر أشكال الحياة وتنوعها - من لافقاريات بحرية إلى أسماك، وبرمائيات، وزواحف. ومن الأحداث المهمة في حقب الحياة القديمة تطور كائنات ذات أصداف. وفي الحقيقة، وبسبب الكائنات ذات الأصداف، تعرفنا الكثير عن حقب الحياة القديمة؛ لأنّ هذه الكائنات ذات الأصداف لها أجزاء صلبة يمكن حفظها وتحفرها بسهولة. تقسم الحقب القديمة إلى ستة عصور يتميز كلّ منها بتغير في أشكال الحياة وطبيعة اليابسة.

العصر الكامبري (The cambrian period) (543 – 490) مليون سنة خلت

إنّ ما يميز العصر الكامبري هو أنه بداية حقب الحياة القديمة. كانت درجات الحرارة العالمية أعلى مما كانت عليه في البروتيروزي الجليديّ. وقد أشارت أدلة أحفوريّة إلى أنّ درجات الحرارة كانت أعلى منها حاليًّا.

أما شكل اليابسة، فلم يكن هناك أرض يابسة عند القطبين، ولم يكن هناك جليد. انصهرت الكتل الجليدية من البروتيروزي، مما أدى إلى ارتفاع مستوى سطح البحر. ثم فاضت المياه على المناطق المنخفضة، وغطت معظم اليابسة بمياه ضحلة. وسّع هذا الفيضان وجود حيوانات بحرية في بداية حقب الحياة القديمة. وقد كان هناك تنوّع كبير في الحياة. سمّي هذا الجزء من تاريخ الأرض *انفجار العصر الكامبري*.

لقد ظهرت مجموعات الكائنات البحرية كلّها في العصر الكامبري تقريبًا، وأثبت ذلك الدليل الأحفوري. وقد كانت أهم حادثة في هذا العصر هي قدرة الكائنات على أخذ كربونات الكالسيوم وفوسفات الكالسيوم واستعمالهما في بناء أصدافها وهياكلها الخارجية، مما ساعد الكائنات على أن تصبح أقلّ عرضة للافتراس، ووفرت لها حماية من الأشعة فوق البنفسجية الضارة. ومع وجود الهيكل الخارجي، تحرك العديد من الكائنات للعيش في بيئات بحرية ضحلة.

وبسبب الأجزاء الصلبة، فإنّ السّجل الأحفوري للعصر الكامبري حُفظ جيدًا، وقد سادت فيه لافقاريات بحرية ضحلة ذات هياكل صلبة. وازدهرت أنواع كائنات منها الترايلوبيت - الصّرصور المدرّع- في بحار الكامبري (الشكل 11.21).

الشّكل 11.21

الترايلوبيت هي الأحفورة الشائعة في العصر الكامبري.

لمعلوماتك

■ كيف تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى ارتفاع مستوى البحر؟
بطرائق عدة: عند انصهار كتل الجليد على اليابسة، فإنّ الماء الناتج عن الانصهار يتوجه إلى المحيطات فيرتفع منسوبها (كتلة الجليد فوق القطب الشمالي تطفو فوق الماء. لذا، فإنّ انصهارها لا يرفع مستوى البحر). كما أنّ حجم مياه المحيطات يتحدد مع ارتفاع درجة حرارتها. هذا مثال على التمدد الحراري الذي شرح في الفصل 6.

العصر الأوردوفيشيّ(The ordovician period) (443 – 490) مليون سنة خلت

كانت الكتل القارية القديمة لأمريكا الجنوبية، وإفريقيا، وأستراليا، والقطب الجنوبي، والهند في أثناء العصر الأوردوفيشي تندمج لتشكل قارة جديدة كبيرة تسمى *جوندوانالاند*. خلال الأوردوفيشي، تحركت جوندوانا جنوبًا واستقرت فوق القطب الجنوبي. وقد أدّى ذلك إلى أنّ يكون الجزء الأخير من الأوردوفيشيّ واحدًا من أبرد الأوقات في تاريخ الأرض؛ لأنّ معظم اليابسة كانت فوق القطب الجنوبي. غطى الجليد معظم جوندوانا، وبدأت البحار الضحلة في التلاشي. ومع انخفاض مستوى البحر، فقدت العديد من اللافقاريات ذات البيئة الضحلة موطنها.

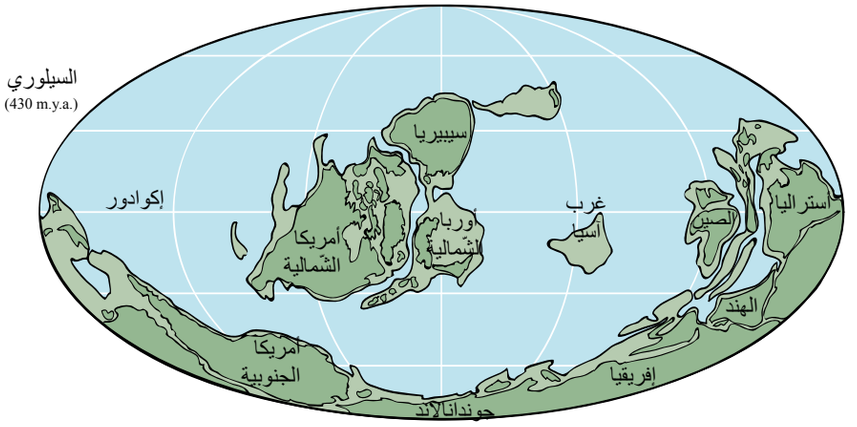
يشير السّجل الأحفوري أنّ بداية الأوردوفيشي ووسطه كان زمنًا ساد فيه تنوع حياة بحرية كبير (الشكل 12.21). كما أنّ الأوردوفيشيّ هو العصر الذي بدأت فيه الفقاريات، بما في ذلك الأسماك العديمة الفكوك. أما نهاية هذا العصر، فقد سادها توسع الانقراض بسبب انتشار البرد والجليد غالبًا. لقد أثر الانقراض في مجموعات الكائنات التي تعيش في البحار الضحلة بسبب فقدان موطنها، في حين لم تتأثر كائنات البحار العميقة.

الشّكل 12.21

السمكة الساحرة هي إحدى الأسماك العديدة الفكوك الباقية وهي مجموعة ازدهرت في العصر الأوردوفيشيّ.

العصر السيلوريّ(The silurian period) (417 – 443) مليون سنة خلت

بقيت قارة جوندوانا في أثناء العصر السيلوري قريبة من القطب الجنوبي، وكانت قارات أمريكا الشمالية، وأوربا، وسيبيريا قرب خط الاستواء (الشكل 13.21). بدأ مناخ الأرض في الاستقرار والدفء مما أدى إلى انصهار العديد من المناطق الجليدية وارتفاع مستوى البحر. فأصبحت معظم القارات مغطاة ببحار ضحلة. وفي أمريكا الشمالية، كانت البحار الضحلة محاطة بشعاب المرجان التي أوقفت عملية تبادل الماء بين البحار داخل القارات والمحيطات المفتوحة. ومع تبخر الماء بين البحار داخل القارات، ترسب الجبس ومعادن متبخرات أخرى. توجد طبقات متبخرات تابعة للعصر السيلوري في أوهايو، وميتشيجان، ونيويورك.



الشّكل 13.21
تمثل هذه الخريطة مواقع القارات القديمة في العصر السيلوري.

ظهرت في العصر السيلوري الحياة البرية، أي النباتات. وقد ظهرت النباتات الأقدم ذات نظام التدوير المتطور* في العصر السيلوري. لقد كانت هذه النباتات مرتبطة بأصلها المائي. لذا، فإنّها سكنت اليابسة الرطبة المنخفضة. ومع انتقال النباتات إلى اليابسة، انتقلت معها كائنات قارية أخرى؛ فالعقارب التي تتنفس الهواء كانت حيوانات شائعة على اليابسة في هذا العصر من تاريخ الأرض.

لمعلوماتك

- كان يعتقد أنّ السيلاكانث انقرضت في حقب المتوسطة. في عام 1938م تم العثور على أول سمكة حية في شواطئ شرق إفريقيا. ثم تم اكتشاف أفراد أخرى منذ ذلك الوقت في مدغشقر. وتعدّ الآن أحفورة حية.

العصر الدّيفونيّ (The devonian period) (354 – 417) مليون سنة خلت

في أثناء العصر الدّيفونيّ، اندمجت قارات أوربا وأمريكا الشمالية القديمة لتكوّن قارة أوراسيا (أوربا، وأمريكا الشّمالية، وسيبيريا، وشمال الصين القديمة)، التي كانت موجودة عند خط الاستواء. في حين بقيت جوندوانا في النصف الجنوبي من الأرض.

كان مُناخ العصر الديفوني دافئًا ورطبًا عمومًا. انتشرت النباتات فوق سطح الأرض، وازدهرت غابات أشجار وسرخسيّات في المناطق المنخفضة. تنوعت الأسماك في البحار إلى مجموعات عديدة. ولهذا، يسمّى العصر الدّيفونيّ "زمن الأسماك". بعض المجموعات مثل القرش والأسماك العظمية لا تزال حتى الآن. ومنها الأسماك العظمية، هناك أسماك ذات زعانف مهمة لأنّها ساعدت على انتشار حياة اليابسة، ومنها الفقاريات القارية. بعض الأسماك الزعنفيّة كان لها خيشوم داخلي مكّنها من تنفس الهواء. وإضافة إلى زعانف هذه الأسماك، فقد ساعدت العضلات على دعم أجسامها "للمشي". الآن، الأسماك ذات الرئة والسيلاكانث هي الأنواع الزعنفية الباقية. أول فقاريّات قارية حقيقية، عدا الأسماك، ظهرت في نهاية الدّيفونيّ. وقد شاركت هذه الفقاريّات العديد من الخصائص مع البرمائيّات في عصرنا، فمثلًا، كان للبرمائيّات بيوض دون غلاف صلب، وكانت تعيش في البيئات الرّطبة فقط (الشكل 14.21).

الشّكل 14.21
هذا الرسم لغابات نهاية الدّيفونيّ، حيث يظهر أحد البرمائيّات *Acanshostega terrapod* يتسلق صخرة ويطير فوقه يعسوب. ازدهر رباعيّ الأرجل في الدّيفونيّ حيث تطور من الأسماك.

العصر الكربوني (The carboniferous period) (290 – 354) مليون سنة خلت

يتضمن العصر الكربونيّ قسمين هما: الميسيسبي والبنسلفاني. خلال هذا الزّمن، بدأ محيط حقب الحياة القديمة في الانغلاق بين جوندوانا وأوراسيا. وخلال العصرين الكربونيّ والبيرميّ، كوّنت هاتان الكتلتان القاريتان قارة واحدة تدعى بنجايا (أي اليابسة كلّها). وقد أدى الالتحام إلى تكوّن سلاسل جبلية ضخمة مثل جبال الأبلاش في أمريكا الشمالية، والجبال الهرسينية والكاليدونية في أوربا، وجبال الأورال في روسيا.

* نظام التدوير يوزع الماء والمصادر الأخرى للنبات ويسمى النّظام المساميّ. ونستخدم مصطلح نظام التدوير للسهولة.

الشّكل 15.21
ساهم المُناخ الدافئ الرطب في ازدهار النباتات والغابات في المستنقعات في العصر الكربوني. لقد كوّنت هذه الغابات معظم ترسّبات الفحم حول العالم.

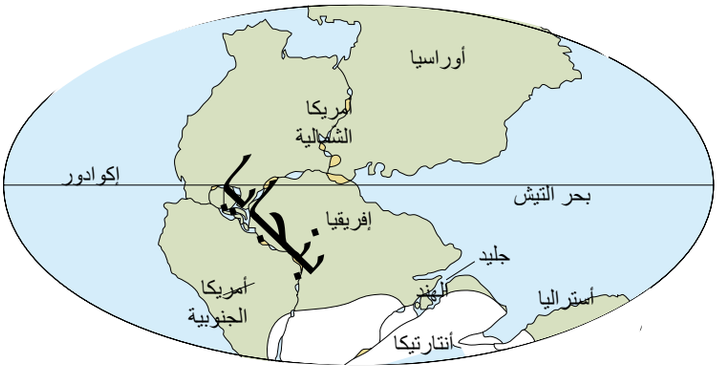
امتدت قارة بنجايا من القطب إلى القطب الآخر مع وجود جزء كبير من جوندوانا عند القطب الجنوبي وطرف أوراسيا عند القطب الشمالي. أدى هذا الامتداد إلى الإسهام في تتابع فترات من العصور الجليدية والفترات الدافئة خلال العصر الكربونيّ. ومع نهاية العصر الكربوني، كان الجزء الجنوبي من جوندوانا مغطًّى بالجليد. وكان معظم قارة أوراسيا عند خط الاستواء، وقد تميز هذا العصر بمُناخ دافئ استوائيّ ساهم في انتشار النباتات والغابات والمستنقعات.

يشير اسم *الكربونيّ* إلى وجود مستنقعات أدت إلى إنتاج رسوبيات فحم واسعة الانتشار ومميزة لهذا الجزء من تاريخ الأرض. وفي الواقع، غطت مستنقعات كثيفة نسبة عالية من أمريكا الشمالية، وأوربا، والصين، وسيبيريا (الشكل 15.21). ومع موت هذه الأشجار والنباتات، استقرت بقاياها في قاع المستنقعات الراكد، ومن ثمّ تحللت لتنتج فحمًا (انظر إلى قسم يسمى اربط مع علم الحياة: الوقود الأحفوري في الفصل 20). معظم الفحم المستخدم حاليًّا مصدره المستنقعات في العصر الكربوني.

لقد شهد العصر الكربونيّ تغيرات كثيرة في الحياة. فتنوعت الحشرات بما فيها الصراصير الضخمة واليعاسيب التي تصل فتحة جناحها إلى 80 سم. *والأمنيوتات* الأولى، وهي مجموعة فقاريات تشمل الآن الزواحف والثّدييات التي ظهرت في هذا الوقت، وتميزت ببيض ذي قشرة صلبة. وفرت البيضة بيئة متكاملة للجنين. وقد حمت الصدفة الجنين من الجفاف مما سمح للحيوانات بإكمال الانتقال، انتقلت برمائيات الديفوني من بيئة مائية إلى أخرى يابسة. وبسبب بيوض الأمنيوت، لم تكن الزواحف بحاجة إلى وضع بيوضها في الماء كالبرمائيّات.

العصر البيرميّ (the permian period) (290 – 248) مليون سنة خلت

العصر البيرميّ هو نهاية حقب الحياة القديمة. وفيه، كانت القارات كلّها مجتمعة في قارة بنجايا (الشكل 16.21). وكان لتشكّل هذه القارة تبعات عدة. فاستمرار الالتحام القاري الذي بدأ في الكربونيّ أحدث تشوّهات في القشرة أثر في حواف القارات وداخلها* . فجبال روكي على سبيل المثال نشأت من الالتحام الذي كوّن بنجايا. كما أنّ رفع الجبال حجز الرياح الرطبة من الوصول داخل القارات، مما أدى إلى جفاف داخل بنجايا. لذا مع تغير شكل القارة، تغير مُناخ العصر البيرميّ.



الشّكل 16.21
تشكّلت قارة بنجايا مع التحام الكتل القارّيّة.

* تشكّلت جبال روكي الحالية بعد ذلك، وقبل 70 مليون سنة من الآن.

في بداية العصر البيرمي، استمر الجليد بتغطية معظم النصف الجنوبي من الكرة الأرضية، في حين غطت الغابات المستنقعية مناطق الاستواء. في وسط البيرمي (بعد التشكل الكامل لبنجايا)، أصبح المُناخ دافئًا؛ أي، قلّت الجليديات، وأصبحت المناطق داخل القارات جافة. ساعدت القارات على انخفاض مستوى البحار. وعندما انخفض مستوى البحر، أصبح معظم الرّصيف القاريّ من اليابسة. ولأنّ معظم أشكال الحياة توجد في هذه المناطق، فقد بدأت الكائنات بفقدان مواطنها. ومن الممكن أن يكون هذا أحد أسباب انقراض العديد من أشكال الحياة في نهاية العصر البيرميّ.

في نهاية العصر البيرمي، حدث أكبر انقراض للحيوانات في تاريخ الأرض. تأثرت الفقاريّات البحرية أكثر من القاريّة، حيث انقرض 95% من الأنّواع البحرية و70% من القارية. أما سبب الانقراض، فغير معروف جيّدًا. أحد التفاسير يعزو السبب إلى تأثير تشكّل بنجايا؛ فإعادة توزيع القارات والبحار، وتغير كلّ من ارتفاع اليابسة ومناخ الأرض (الحرارة والهطول)، وانخفاض مستوى البحر، كلّ ذلك كان له دور في هذا الانقراض.

قللت القارة الجديدة البيئات البحرية الضحلة جذريًّا. وفي النهاية، تكونت قارة كبيرة واحدة تحوي شواطئ أقلّ من شواطئ عدة قارات صغيرة. فكلّ قارة صغيرة قديمة كانت محاطة بشاطئ. معظم الشواطئ القديمة للقارات الصغيرة المفصولة أصبحت مناطق يابسة في بنجايا. ثم التحمت القارات كلّها وغيرت التبادل المحيطيّ والجويّ الذي ساد قبل الالتحام، والذي أثر بدوره في المُناخ. كما أنّ الزّمن الطويل لانخفاض مستوى البحر 20 – 25 مليون سنة أدى إلى ضغوط أكبر على مواطن الكائنات. كان التأثير أقلّ جذرية في الحياة البرية (اليابسة). وعلى الرغم من تأثر الحياة البرية، إلا أنها استمرت في التطور، وانتشرت بسرعة مع ظهور مواطن قارية جديدة ربما بسبب انخفاض مستوى البحر.

استمر تطور الزّواحف خلال العصر البيرميّ. ويبدو أنها تأقلمت مع البيئة لأنّها سادت الأرض فترة 200 مليون سنة! (بالمقارنة، ساد البشر الأرض مدة 100 ألف سنة). وقد ظهر نوعان من الزّواحف في البيرمي هما: الديابسيد والسينابسيد. وقد تسيّدت السينابسيد التي تتضمن أجداد أقدم الثدييات في العصر البيرمي. أما الديابسيد فقد كانت أقل انتشارًا، ولكنها هي التي ساعدت في انتشار الديناصورات في حقب الحياة المتوسطة أخيرا.

فكّر في الاندماج القاريّ مثل تجعيد قطع كرتون لصندوق حبوب. في البداية يكون للصندوق سطح مستوٍ يأخذ حيّزًا أفقيًّا. إذا ضغطت الأطراف بعضها نحو بعض، فسيقلّ الطول ويزداد الارتفاع. ويصبح الصندوق مطويًّا. وهذا هو ما يحدث عند اندماج القارات؛ تقصر القشرة المنبسطة، وتدفع نحو الأعلى لتكون جبالًا وتطوى. وتمتد الجبال مثل الصندوق أفقيًّا وعموديًّا.

لمعلوماتك

■ سندرس في الفصل التالي تكتونيّة الصّفائح. باختصار، القشرة الخارجية للأرض ليست قشرة واحدة. إنها مقسمة إلى عشرات الصّفائح تتحرك بسبب التدفق الحراريّ من باطن الأرض. خلال تاريخ الأرض، اندمجت الصّفائح معًا، وانفصلت وغيرت ترتيبها. وسندرس الآن كيفية تغير سطح الأرض مع الزّمن وفي الفصل 22 سنطوّر فهم آلية التغير.

■ **نقطة فحص**

1. مع اندماج الكتل القارية، تناقصت الشواطئ والأرصفة القارية بطريقتين. انظر إلى شكل 16.21 واشرح الطريقتين المحتملتين.
2. لماذا أدى التحام القارات في قارة بنجايا إلى زيادة التغير الفصلي الملاحظ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. بعض الشواطئ القديمة والأرصفة القديمة لم تعد قريبة من المحيطات- أصبحت وسط بنجايا مع اندماج القارات، وانخفض مستوى البحر مما يعني أنّ مناطق بحرية أصبحت يابسة.
2. إنّ قدرة استيعاب الطاقة العالية في الماء لها تأثير متوسط في الحرارة (كما تم شرحه في الفصل 6). الكتلة القارية المندمجة لها منطقة داخلية كبيرة بعيدة عن التأثير المعتدل للماء، مما يزيد التغير الفصلي للحرارة.

6.21 حقب الحياة المتوسطة (the Mesozic era) (248 – 65 مليون سنة خلت)

تم فصل **حقب الحياة المتوسطة** عن حقب الحياة القديمة بسبب التغيرات القوية في الأحافير. فالزّواحف التي قاومت الانقراض في البيرمي تطورت لتصبح هي السائدة في حقب الحياة المتوسطة. تحتوي حقب الحياة المتوسطة على ثلاثة عصور هي: الترياسيّ، والجوراسيّ، والكريتاسيّ، وتعرف مجتمعة بحقب الزّواحف. أهم حدث في هذه الحقب هو تطور الديناصورات. تطورت الثّدييّات من الزّواحف في بداية حقب الحياة المتوسطة، ولكنها كانت صغيرة وغير مهمة مقارنة بالديناصورات.

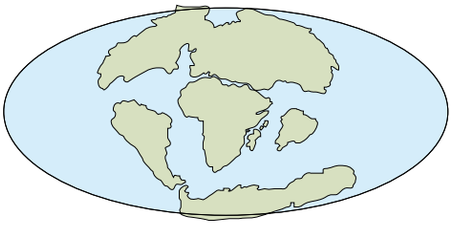
تنوعت النباتات كثيرًا في حقب الحياة المتوسطة. وظهرت الصّنوبريّات والخشب الأحمر، وانتشرت بسرعة على اليابسة. وظهرت النباتات الزهرية في الكريتاسيّ وتنوعت بسرعة بحيث أصبحت النباتات هي السائدة مع نهاية العصر. ثم إنّ ظهور النباتات الزهرية قد سرّع في تطور الحشرات.

إنّ الحدث الجيولوجيّ الرئيس في حقب الحياة المتوسطة هو انقسام بنجايا. وكما تشكلت قارة بنجايا في مراحل متعددة خلال حقب الحياة القديمة، انقسمت في مراحل متعددة خلال حقب الحياة المتوسطة والحديثة (الشكل 17.21). المرحلة الأولى، خلال الترياسيّ والجوراسيّ (قبل 200 مليون سنة خلت)، بدأت بنجايا تنقسم إلى قارتيها القديمتين؛ جوندوانا في الجنوب وأوراسيا في الشمال. وكان الانقسام استجابة لتكوّن *منطقة انهدام* (مجموعة شقوق مرتبطة بتباعد صفائح) والتي تطورت بين أمريكا الشمالية وإفريقيا الحالية. انبثقت لابة بازلتية لتشكل قشرة جديدة ساعدت على فصل الكتل القارية المتباعدة.* هذه القشرة المحيطة التي هي أكبر كثافة من القشرة الجرانيتية، تكونت على ارتفاعات أقلّ. وكانت بداية تشكل حوض وسط الأطلسي. ومع انتشار منطقة الانهدام، انفصلت أوربا عن شمال إفريقيا. وبهذه الطريقة انفصلت أوراسيا كلّيّة عن جوندوانا. وساد الانهدام خلال هذه الفترة داخل جوندوانا أيضًا. فمثلًا، انفصلت إفريقيا عن القطب الجنوبي ومدغشقر مع تشكّل انهدام بركانيّ في حوض محيط غرب الهند.

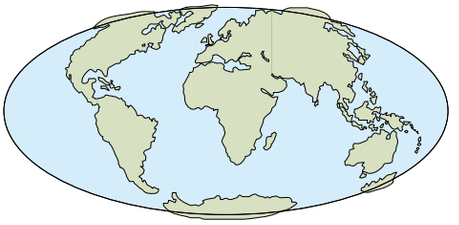
تذكر بناء الجبال الذي نتج عن تشكل بنجايا. ومع تشظّي بنجايا، بدأت جبال بالتشكل على الشاطئ الغربي لأمريكا الشمالية بسبب تصادم الجانب الشرقي من قشرة المحيط الهادي مع الجانب الغربي من قشرة أمريكا الشمالية القارية. وقد سبب اختلاف كثافة الصخور في حصول نوع من التصادم يختلف عن التصادم "القاري- القاري". هو التصادم الذي يحدث بين القارات. وبدلًا من ارتفاع القشرة في التصادم القاري- القاري، فإنّه عندما تصطدم قشرة محيطية مع أخرى قارية، فإنّ القشرة المحيطية الأعلى كثافة تغوص تحت القشرة القارية الأقلّ كثافة. يكوّن هذا *الغوص أو الطرح* للقشرة المحيطية تشوهًا واسعًا، وبراكين، وبناء جبال على طول الشاطئ الغربي من ألاسكا إلى تشيلي.

أما المرحلة الثانية من انقسام بنجايا فقد كانت في بداية الكريتاسيّ قبل 140 مليون سنة تقريبًا مع استمرار انقسام جوندوانا. أدى انفصال أمريكا الجنوبية عن إفريقيا إلى فتح حوض المحيط الأطلسي الجنوبي، وابتعدت الهند / مدغشقر عن استراليا/ القطب الجنوبي مشكّلة انفتاح حوض شرق المحيط الهندي. في حين أنّ أوربا وآسيا فقط بقيتا متصلتين من حقب الحياة القديمة.

قبل 200 مليون سنة
حقب الحياة المتوسطة



قبل 65 مليون سنة
حقب الحياة الحديثة



الآن

الشّكل 17.21
مراحل انقسام بنجايا

لمعلوماتك

- تعود بدايات جبال الأنديز وجبال السيرانيفادا، إلى النشاط البركاني العظيم في حوض شرق المحيط الهادي خلال حقب الحياة المتوسطة.

* تسمى العمليةُ توسّعَ *قاع المحيط*. من المهم معرفة أنّ القشرة لا تكبر عند تكوّن قشرة جديدة؛ فعند تشكّل قشرة في مكان ما، فإنّ قشرة أخرى في مكان آخر تُستهلك. يسمى استهلاك القشرة *طرحًا*. وتسمى المنطقة *نطاق طرح*. وسندرس هذا بالتفصيل في الفصل 22.

إنّ لانفصال الكتلة القارية تبعات عالمية عديدة؛ حيث ازدادت الشواطئ مرة أخرى، مما زاد الموطن البحري الضحل. فتغيرت الحياة القارية؛ الحيوانية والنباتية. وانفصلت المواطن بعد أن كانت متصلة، كما انفصل أعضاء من النوع نفسه. وفي المواطن غير المتصلة، فإنّ الكائنات ذات الأصول المشتركة أو التي بينها بدأت في الانشقاق بعضها عن بعض، أي أنها أصبحت غير متشابهة. وبهذه الطريقة تطورت أنواع جديدة بناء على مواطنها الجديدة.

ولما كانت معظم الكتل القارية لا تتركز عند خط الاستواء فقد تغيرت أنظمة المناخ الجوي وتبادل مياه المحيطات. فاتجهت مياه دافئة من الاستواء نحو الشمال، وأدت إلى تسخين الكتلة القارية الشمالية. لقد تغير المُناخ من حار جدًّا ورطب خلال الترياسيّ إلى درجات حرارة باردة وفصول في الكريتاسيّ. وبشكل عام، فإنّ مناخ حقب الحياة المتوسطة كان أكثر دفئًا من الوضع الحالي. وقد أدى نشاط الانهدام الذي بدأ بتشظّي بنجايا إلى ارتفاع عام في سطح البحر، وغطّت القاراتِ بحارٌ ضحلة، وأصبحت الظروف لطيفة.

لمعلوماتك

- تتشكل قشرة محيطية جديدة في مناطق الانهدام مع توسع قاع المحيط وارتفاع لابة بازلتية من باطن الأرض. عندما يكون التوسع بطيئًا، تكون قيعان المحيطات باردة وذات كثافة عالية، فتكون أعمق. لذا تكون الأحواض البحرية عميقة. وعندما يكون التوسع سريعًا، فإنّ قاع المحيط يكون أسخن وأقل كثافة. ومن ثم تكون القشرة مرتفعة، وأحواض المحيط ضحلة. وعندما تكون أحواض المحيط مرتفعة، يتدفق ماء البحر فوق المناطق المنخفضة من القارة. وبهذه الطريقة، تُغْمر بالبحار الضحلة.

انقراض الكريتاسيّ (The cretaceous Extinction)

في نهاية العصر الكريتاسيّ قبل 65 مليون سنة، حدث انقراض آخر قضى على أكثر من 60%من أنواع الأرض. فقد أبيد العديد من الديناصورات، والزواحف الطائرة، والزواحف البحرية من البحار واليابسة مع كائنات أخرى.

وكان سبب هذا الانقراض الكبير مصدر جدل بين العلماء. أكثر التفسيرات الشائعة هو فرضية لويس وولتر جونزالس (1980)، التي عزت سبب الانقراض إلى ارتطام نيزك كبير. وقد جاء دعم هذه الفرضية من وجود عنصر الإيريديوم في الرسوبيات الفاصلة بين عصري الكريتاسي والثلاثي المسمى (حد *TK*). تركيز الإيريديوم في نيزك يساوي تركيز الإيريديوم في كامل الكرة الأرضية. إلا أنّ معظم الإيريديوم موجود في أعماق الأرض، لا على سطحها. لذا فإنّ تركيز الإيريديوم في النيزك أكبر منه في القشرة الأرضية. وفي أنحاء العالم كلّه، فإنّ تركيز الإيريديوم في حد TK أكبر منه في الرسوبيات التي تعلوه والتي هي أسفل منه. وهذا يدعم بقوة أنّ الإيريديوم انتشر في العالم بسبب ارتطام. ترسبت طبقة (TK) قبل 65 مليون سنة، وهو وقت الانقراض الكبير.

افترض فريق ولتر أنّ نيزكًا كبيرًا ضرب الأرض بقوة أدت إلى تكون غيوم ضخمة تحجب أشعة الشّمس مكونة من الغبار. استمرت غيوم الغبار أشهرًا أو أكثر. أدت الغيوم إلى وقف البناء الضوئي، وقللت الغذاء فجأة، وبردت الأرض أيضًا. وفي النهاية ومع هبوط الغبار، فإنّ طبقة الرسوبيات الغنية بالإيريديوم ترسبت. ومن العوامل الأخرى المصاحبة لارتطام النيزك تكون المطر الحمضي، التسونامي، وحرائق الغابات. تعدّ فوهة تشيكولوب الموجودة بجانب شواطئ يوكاتان في المكسيك الموقع المفترض للارتطام (شكل 18.21). الفوهة كبيرة (180 كم قطريًّا) وعمرها قريب من العصر الكريتاسي.

ومع ذلك، هناك فرضية بديلة لفرضية ولتر تقول إنّ طبقة الإيريديوم نشأت عن ثوران بركاني ضخم. وقد يكون الغبار والفتات المنبعث من هذه الثورانات قد حجب ضوء الشّمس . أما الفرضية الثالثة فتشير إلى أنّ الثوران البركاني الواسع قد نتج عن ارتطام جسم خارجي بالأرض. ومهما كان السبب فإنّ الانقراض علامة مثيرة لنهاية حقب الحياة المتوسطة.

الشّكل 18.21

رسم لفوهة يوكاتان في المكسيك بعد تشكلها مباشرة. قطر الفوهة 180 كم. قد يكون الارتطام الذي سبب الفوهة هو الذي أدى إلى حادثة الفناء الجماعي التي أنهت عهد الديناصورات قبل 65 مليون سنة في نهاية الكريتاسيّ.

■ **نقطة فحص**

1. هل يمكن أن يكون انقسام بنجايا سببًا للانقراض في نهاية الكريتاسيّ؟
2. من حيث عدد الأنّواع التي دُمّرت، أيّ العصرين كان فيه أعظم انقراض: البيرميّ أم الكريتاسيّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

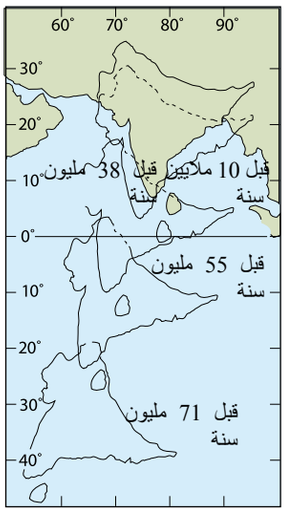
1. لا شكّ أنّ إعادة تشكيل الكتل القارية عندما انقسمت بنجايا أضاف ضغطًا على العديد من أماكن الحياة. فتغير المناخ، وتغيرت المواطن البحرية الضحلة، وأصبحت الأنّواع منفصلة ومتباعدًا بعضها عن بعض. كما أدت الكتل القارية المتحركة إلى بدء نشاطات بركانية واسعة، ولكن انقسام بنجايا لا يمكن أن يفسر تركيز الإيريديوم العالي على الحد الكريتاسي-الثلاثي (K-T boundary).
2. إن أكبر انقراض كان في العصر البيرمي؛ حيث انقرض 95% من الأنّواع البحرية، و70% من الأنّواع القارية. كما أنّ انقراض الكريتاسي أدى إلى اختفاء 60% من أنواع الأرض.

■ 7.21 حقبة الحياة الحديثة (The Cenozoic Era) (65 مليون سنة خلت حتى الآن)

تسمى **حقبة الحياة الحديثة** "عصر الثّدييات"، وتقسم إلى عصرين هما: الثلاثي والرباعي. يقسم العصران من الأقدم إلى الأحدث إلى: باليوسين، أيوسين، أوليمبوسين، ميوسين، وبليوسين (فترات العصر الثلاثي)، وبليستوسين وهولوسين (فترات العصر الرباعي). وأما نحن، فنعيش في فترة الهولوسين.

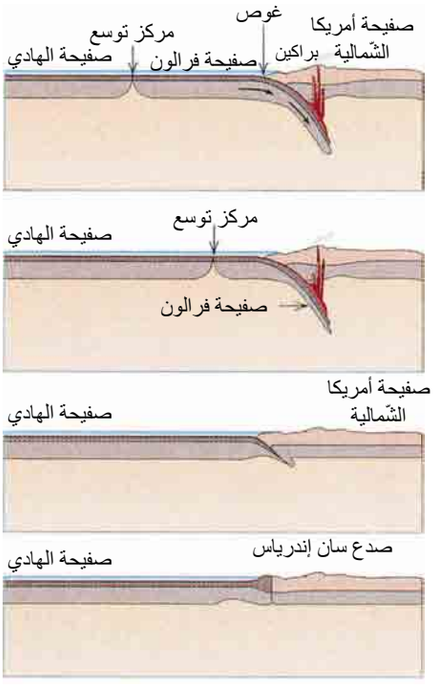
أما ثالث وآخر مرحلة من انقسام بنجايا فحدثت خلال حقب الحياة الحديثة. انفصلت أمريكا الشّمالية وجرينلند عن أوربا. كما انفصل القطب الجنوبي عن أستراليا. كان سطح الأرض نشيطًا وتصادمات الكتل القارية كثيرة. وقد حدث نشاط بناء جبال عندما تصادمت صفيحة الجزيرة العربية – إفريقيا مع صفيحة أوربا وأنتجت جبال الألب. كما تصادمت الهند مع آسيا مكوّنة جبال الهملايا. وكما هو موضح في الشّكل 19.21، تحركت الهند نحو آسيا بسرعة 15 – 20 سم /سنة. وهو رقم قياسي لحركة تكتونية! ومع دفع الهند نفسها تحت آسيا، فقد أدت إلى إنشاء تراكم سميك من كتلة قارية غير اعتيادي. هذه الكتلة القارية التي رست فوق كتلة قارية أخرى أعطت جبال الهملايا ارتفاعًا أكبر.

إنّ التصادم في نهاية حقب الحياة المتوسطة الذي أدى إلى بدء تكون جبال السيرانيفادا والأنّديز استمر (ويستمر) في حقب الحياة الحديثة. تكوّن نطاق توسع لقاع المحيط - ظهر وسط محيط – في المحيط الهادي، بعيدًا عن الشاطئ الغربي لأمريكا الشمالية. وقد أدى هذا التوسع إلى فصل صفيحتين محيطيتين هما الهادي في الغرب وفرالون في الشرق (الشكل 20.21). ومع تحرك صفيحة فرالون نحو الشرق (لتغوص تحت الكتلة القارية لأمريكا الشمالية)، بدأ المحيط يقترب من حافة أمريكا الشمالية القارية. وقد أدّى ذلك إلى إعادة تنشيط بناء الجبال في الغرب. وكذلك إلى تشوهات واسعة الانتشار. أدى تصادم ظهر المحيط المتوسع الذي كان يسمى سابقًا نظام مرتفع المحيط الهادي مع قارة أمريكا الشمالية المتحركة غربًا قبل 30 مليون سنة إلى ولادة صدع سان أندرياس (الشكل 21.21). ومع الزّمن، ومع نمو الصدع، تحركت باجا كاليفورنيا بعيدًا عن المكسيك ونشأ خليج كاليفورنيا.



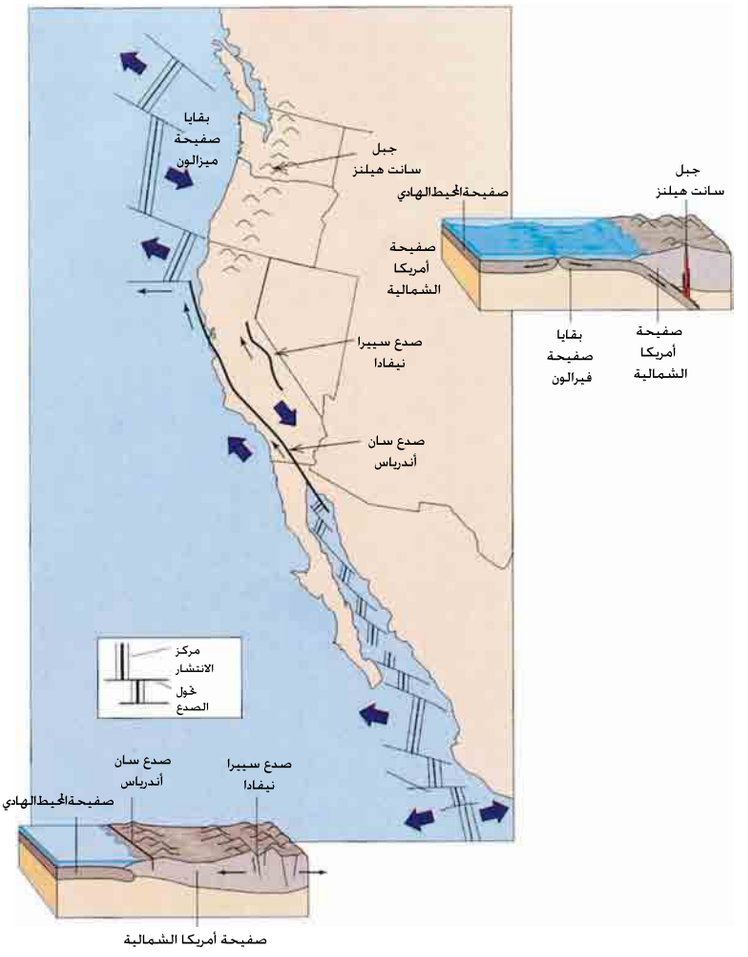
الشّكل 19.21

تشكّل جبال الهملايا كان نتيجة تصادم الهند مع آسيا. ولأنّ هذا التصادم كان قاريًّا – قاريًّا، فإنّ للهملايا سُمك قشرة قارية غير اعتيادية.



الشّكل 20.21

تتابع غوص صفيحة فرالون تحت صفيحة أمريكا الشمالية. ومع تقارب مركز التوسع والحافة القارية بدأ تشكل صدع سان أندرياس بين المحيط الهادي وصفيحة أمريكا الشمالية.



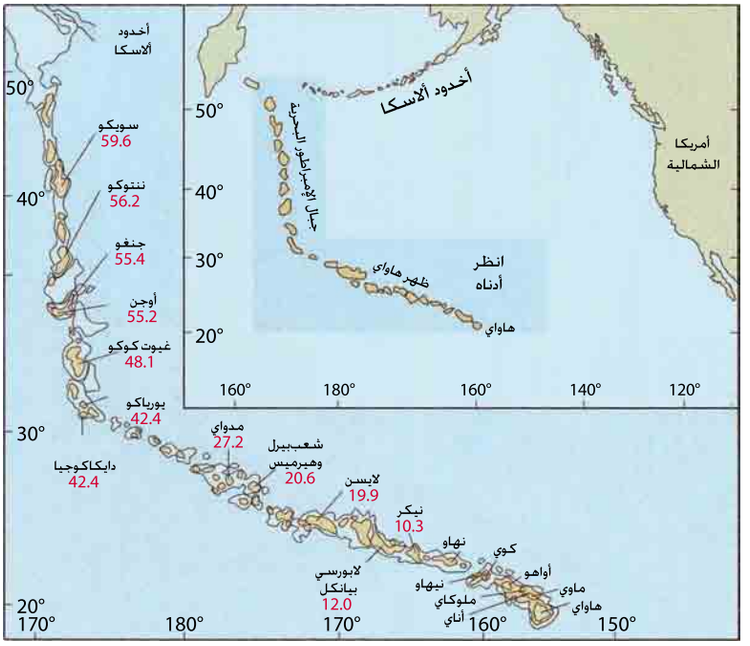
الشّكل 21.21
صدع سان أندرياس ناتج عن حركة بين صفيحة أمريكا الشمالية ونظام مرتفع المحيط الهادي. ومع امتداد الصدع طوليًّا، فإنّ منطقة باجا كاليفورنيا انفصلت عن أرض المكسيك.

ولأنّ هذه الصّفائح لا تزال تتحرك، فإنّ غرب كاليفورنيا وباجا كاليفورنيا سوف تصبح منفصلة كليًّا عن القارة الرئيسة، أو سوف يندمجان مع غرب كندا.

توفر جزيرة هاواي / وسلسلة جبال الإمبراطور البحرية (الشكل 22.21) دليلًا إضافيًّا على التشوه في حقب الحياة الحديثة: تغير اتجاه صفيحة الهادي. نتج الانحناء في سلسلة الجزر بين 30 – 40 مليون سنة خلت (وسط الثلاثي) عندما تغير اتجاه حركة الصفيحة من شمال إلى شمال غرب. وقد حدث التغير تقريبًا في بدايات العصر الثلاثي في وقت تصادم شمال المكسيك نفسه (صفيحة أمريكا الشمالية) مع نظام مرتفع الهادي.

برد المناخ في أثناء معظم حقب الحياة الحديثة، مما أدى إلى تكون جليديات بشكل واسع، وهو ما ميّز البليستوسين. ومع أنّ هذا العصر الجليدي مستمر حتى اليوم، فقد حدث العديد من التعاقبات بين ظروف جليدية وظروف بين جليدية؛ ففي أثناء قمة الجليد، كان الجليد يغطي ثلث سطح الأرض. وعلى اليابسة، فإنّ سموكًا عظيمة من الجليد أدت إلى تكوّن جليديات قارية. وقد أدى الوزن الهائل للجليد إلى خفض الأرض، وحوّل اتجاه العديد من الأنهار والجداول. قامت الجليديات بحت وخدش اليابسة في أماكن وترسيب كميات كبيرة من رسوبيات *"المورينز"* تاركة دليلًا على انتشار الجليد وامتداده.

* المورينز رسوبيات تنشأ عن الجليد. تدل المورينز على حدوث الجليد بعد انصهاره. وسيناقش هذا الموضوع في الفصل 23.



الشّكل 22.21

جزيرة هاواي/سلسلة جزر الإمبراكور البحرية. يشير الانحناء في السلسلة إلى تغير اتجاه صفيحة الهادي والذي هو سبب تصادم شمال المكسيك مع مرتفع الهادي. الأرقام الحمراء تشير إلى العمر (بملايين السنين) للجزيرة والقمة.

الحياة في حقب الحياة الحديثة

بعد الانقراض الذي حدث في نهاية حقب الحياة المتوسطة. بقيت العديد من المواطن البيئية فارغة. وقد أدى ذلك إلى التطور السريع للثدييات. فتكيَّف الخفاش وهو من الثدييات القارية. كما تطوّرت ثدييّات بحرية كالحيتان والدلافين لتستوطن الأماكن الفارغة بسبب انقراض الزواحف في حقب الحياة المتوسطة. لاحقًا في حقب الحياة الحديثة. انخفضت درجات الحرارة. وأعقبها العصر الجليدي. وقد كان للحرارة المنخفضة أثر في الحياة. الماموث. والكركدن. والأيل. وثور المسك كلها طورت غطاء صوفيًّا دافئًا لحمايتها من البرد القارس.

تطور البشر في العصر الرباعي خلال فترة البليستوسين. وأدى تكون الجليديات إلى انخفاض مستوى البحر مع حصر الماء على صورة جليد. كما أنّ توزع اليابسة كان كتوزعها حاليًّا. وقد أدى انخفاض مستوى البحر إلى "جسور قارية" تربط بين الكتل القارية والتي هي مفصولة الآن بالماء. وجد أحد الجسور القارية على طول ما يُعرف الآن بمضيق بيرنج. وأدى إلى هجرة البشر من آسيا إلى أمريكا الشمالية. وقد تواءم انتشار البشر. ليس فقط في أمريكا الشمالية. بل حول العالم أيضًا. مع عصر انقراض ساد خلال فترة البليستوسين. أثر الانقراض في الثّدييّات القارية الضخمة. أما الثّدييّات البحرية فلم تتأثر. انقرضت العديد من الثّدييّات الضّخمة في أمريكا الشّمالية بعد وصول البشر. كما أنّ انقراض الثّدييّات في إقريقيا مرتبط بظهور صائدي العصر الحجري.

يعدّ انقراض البليستوسين مسألة خلافية . فاختلاف الظروف المناخية القاسية قد يكون مسؤولًا جزئيًّا عن الانقراض. ومع أنّ الجليديّات غطت بعض المساحات الواسعة. فقد كان المُناخ في العديد من المناطق لطيفًا. وقد أدى ذلك إلى قناعة العلماء أنّ المناخ القاسي قام بدور بسيط في انقراض البليستوسين. وأنّ البشر قاموا باصطياد الثّدييّات الضخمة وأكلها. مما أدى إلى انقراضها. إلا أنّ هذا الخلاف لم يتم حسمه بعد؛ فالبعض يقول إنه ليس من الواضح وجود أعداد كبيرة من *الهوموسابينز* (البشر الحاليين) آنذاك. أو أنّ لديهم معرفة تقنية في كيفية قتل الأنواع جميعها.

تبعت فترة البليستوسين فترة الهولوسين. لمعرفة بيئة الهولوسين فقط؛ انظر حولك. إنها أحدث 10000 سنة من عمر الأرض.

ما كان للثدييات الكبرى أن تتكيّف لو لم تَفْنَ الديناصورات، وستكون مثل هذه الثدييات وجبة لذيذة للديناصورات الكبيرة الآكلة اللحوم.

اربط مع

الدِّيناميكا الحرارية العالمية

■ هل الجو بارد في الخارج؟

نعم، نسبيًّا. خلال 90% من تاريخ الأرض من وجود جليديات بحجم قارات في أيّ مكان. وبسبب وجود هذه الجليديات الآن وخصوصًا فوق الأقطاب وجرينلاند، فإنّنا حاليًّا، في عصر جليدي. ولأنّ هذه الجليديات التي بمقياس قاري محصورة في الأقطاب، فإنّنا في فترة *بين جليدية* من عصر جليدي.

سادت العصور الجليدية خمس مرات في تاريخ الأرض؛ فالعصر الأول ساد قبل ملياري سنة. وبدأ آخر قبل 840 مليون سنة واستمر 200 مليون سنة. ثم كان هناك عصران جليديان في حقب الحياة القديمة، ولم يكن هناك في حقب الحياة المتوسطة أيّ منها. لم يكن هناك عصر جليدي في أول 50 مليون سنة من حقب الحياة الحديثة. بدأ العصر الجليدي الحالي قبل 8 – 10 ملايين سنة، ولكن وجود الجليد بكثرة هو الذي ميز فترة البليستوسين؛ فقد بدأ قبل مليون سنة. فما الذي سبب العصور الجليدية؟

من المؤكد أنه لا يوجد سبب واحد، ولكن العلماء أكدوا أنّ تبريدًا عالميًّا قاد إلى تكوّن العصور الجليدية يعزى إلى اتحاد ثلاثة أسباب هي:

(1) ترتيب القارات حول العالم.
(2) كمية الإشعاع الشّمسي الذي تم عكسه إلى الفضاء.
(3) هندسة دوران الأرض حول محورها وحول الشّمس.

يؤثر ترتيب القارات في التيارات البحرية والهوائية، وهي الآلية الرئيسة في توزيع الطاقة الحرارية حول العالم. ويؤدي تجمع القارات في موقع واحد إلى تسخينها؛ لأنّ تيارات الاستواء تسير دون إعاقة كبيرة نحو الأقطاب. ولكن عندما تكون القارات موزعة حول العالم كما هي اليوم فإنّ خلايا التدوير تكون صغيرة، لذا فإنّ توزيع الحرارة أقلّ تأثيرًا.

عندما ينخفض مستوى البحر، تتكشف كمية أكبر من اليابسة، مما يؤدي إلى زيادة كمية ضوء الشّمس المنعكسة إلى الفضاء. وتؤدي هذه الظاهرة إلى انخفاض حرارة الأرض. ثم إنّ وجود الغيوم و/ أو الغبار يؤثر أيضًا في انعكاس الشّمس ويقلل امتصاص الأشعة الشّمسية.

يشير تأثير ميلانكوفيتش إلى مجموعة عوامل تؤثر في توزيع الأشعة الشّمسية فوق سطح الأرض من خلال:

(1) تغير زاوية ميل محور دوران الأرض حول نفسها (حاليًا 23.5°)
(2) ترنح محور دوران الأرض حول نفسها.
(3) تغير إهليلجية مدار الأرض حول الشّمس.

يؤدي اجتماع مجموعة من هذه العوامل التي تحدث بشكل دوري إلى التقليل من الإشعاع الشّمسي على خطوط العرض الشمالية العالية في الصيف. فإذا كان الانخفاض في الأشعة كافيًا، فلن ينصهر الجليد المتكون في الشتاء السابق، وإذا استمر ذلك سنوات كثيرة، فإنّ الجليديات تتشكل بمقياس قاريّ.

قد تكون طبيعة التغير المنتظم لدورات ميلانكوفيتش السبب الرئيس للدورات الجليدية. وبحسب هذه الفرضية، فإنّ السببين الأوليين؛ أي ترتيب القارات وكمية الأشعة المنعكسة- يؤديان إلى تبريد الأرض، في حين يؤدي السبب الثالث؛ أي تأثير ميلانكوفيتش إلى تعاقب العصور الجليدية وبين الجليدية.

كان هناك بعض التغيرات المناخية. فمثلا "حدث العصر الجليدي الصغير" بين 1200 – 1700 بعد الميلاد، ولكن عمومًا، فقد كانت فترة الهولوسين دافئة.

يسمى الهولوسين أحيانا "عصر البشر"، وهذا الادعاء ليس دقيقًا؛ لأنّ *الهوموسابينز* تطور وساد العديد من الأماكن من العالم قبل بداية الهولوسين. أما الهولوسين فهي الفترة التي وجد فيها سجل تاريخ البشرية بما فيه سيادة الحضارات وإبادتها. وقد كان للبشرية تأثير كبير في بيئة الهولوسين ولكن بدرجة بسيطة، كما يحدث الآن.

■ 8.21 تاريخ الأرض في كبسولة

إن لأرضنا تاريخًا طويلًا ومثيرًا – 4.5 مليارات سنة. ولكشف هذا التاريخ: ننظر إلى السّجل الصّخريّ. كلّ حدث في تاريخ الأرض تم تسجيله في الطّبقات الصّخريّة. وقد تم حلّ ترتيب الأحداث من خلال التأريخ النسبيّ، كما أنّ العمر المطلق عُرِف من التأريخ الإشعاعيّ. في حين يوفر سلم الزّمن الجيولوجيّ قائمة زمنية للفترات الزّمنية جميعها بحسب السّجل الأحفوري. وعندما حدثت تغيرات جوهرية في الحياة، بدأت حقبة أو عصر جديد. مع الأخذ في الحسبان الاعتقاد بأنّ الإنسان لم يتطور، وإنما خلقه الله تعالى وأنزله إلى الأرض.

القوة الجيولوجيّة البشرية

مع أنّ "عصر البشرية" ساد لفترة بسيطة 0.002% من الزّمن الجيولوجيّ، إلا أننا أكثر الكائنات ذكاء على كوكب الأرض. أشكال الحياة كلّها تغير بيئتها. ولكن الإنسان يغير أكثر من إدارة البيئة من حوله لمواءمة احتياجاته . وكدليل على هذه المواءمة، علينا النظر إلى نظام الرّيّ في بلاد ما بين النهرين، والزراعة في حوض النيل، وعملية الحراثة في السهول الكبيرة، واختراع الآلات لاستثمار الأرض، والسدود والأقفال على أنهار الميسيسيبي والميسوري، وكولورادو التي تمثل الدور الجيولوجيّ البشري في التغيير. ولكن، هل ستؤدي الأنشطة البشرية التي تؤثر عكسيًّا في دعم نظامنا الحيوي مثل حرق الوقود الأحفوري على نطاق كبير، وتدمير طبقة الأوزون، والقضاء على غابات الأمازون المطرية، والتسبب في الاحترار العالمي، هل سيؤدي هذا كلّه إلى عصر انقراض جديد؟ وربما انقراضنا أيضًا. من يدري! ولأنّ لدينا القدرة على التأثير في التغير الجيولوجيّ، فعلينا الاعتناء ببيتنا الأرضي؛ لأنّه البيت الوحيد الذي نملكه.

خلال الزّمن الجيولوجيّ، تغيرت الحياة وأشكالها. كما تغيّر المناخ أيضًا. إلى جانب أنّ التغير في منطقة ما أثر في تغيّر منطقة أخرى. وكلّ تغير حدث مسجل في الصخور.

وكما ذكر سابقًا، فإنّ علماء الأرض مثل متحري الجرائم؛ فمشهد الجريمة هي الأرض، أما السّجل الصّخريّ، فيوفر دلائل لمعرفة الحدث وزمنه. والآن، فإنّنا بحاجة إلى النظر عميقًا لتكوين فهم في أسباب حدوث بعض هذه الحركات الأرضية التي تقودنا إلى موضوع الفصل التالي – تكتونية الصّفائح. لقد تعلمنا كيف تغير سطح الأرض مع الزّمن، ونحتاج الآن إلى فهم الآلية وراء هذه التغيرات. إن تكتونية الصّفائح تربطها جميعًا؛ الأرض لعبة تركيب كبيرة، وسنفهم الصورة بعد تركيب قطعة تلو أخرى.

ملخّص المصطلحات

التأريخ النسبي Relative dating: ترتيب تتابع الصخور بحسب عمرها النسبي.

التّرسيب الأفقيّ Original horizontality: مبدأ تأريخ نسبي ينصّ على أنّ الطّبقات الرسوبية تترسب أفقيًّا، وكلّ طبقة تترسب فوق الأقدم منها.

التعاقب الطبقي Superposition: مبدأ تأريخ نسبيّ ينصّ على أنه في تعاقب لم يتعرض للتشويه من الصخور الرسوبية، فإنّ كلّ طبقة ستكون أقدم من التي تعلوها وأحدث من التي أسفلها.

مبدأ القاطع والمقطوع Cross-cutting relationships: مبدأ تأريخ نسبيّ ينصّ على أنه إذا قطع جسم ناري أو صدع صخورًا أخرى فإنّ الجسم الناري أو الصدع أحدث من المقطوع.

الاحتواء Inclusions: مبدأ تأريخ نسبيّ ينصّ على أنّ أيّ احتواء (قطع من صخر محتواة في صخر آخر) يعدّ أقدم من الصخر الحاوي له.

الاستمرارية الجانبية Lateral continuity: مبدأ تأريخ نسبيّ ينصّ على أنّ الطّبقات الرسوبية تترسب في الاتجاهات جميعها وعلى مساحات واسعة حتى يعترضها عائق أو حاجز.

التعاقب الحيوي Faunal succession: مبدأ تأريخ نسبيّ ينصّ على أنّ كائنات الأحافير تعاقبت الواحدة تلو الأخرى بترتيب محدد غير منعكس.

عدم توافق Unconformity: انقطاع أو فجوة في السّجل الجيولوجيّ بسبب تعرية الصخور الموجودة أو انقطاع في التّرسيب.

عدم توافق زاويّ Angular unconformity: عدم توافق بحيث إنّ طبقات قديمة مطوية أو مائلة تعلوها طبقات أفقية حديثة.

تأريخ إشعاعيّ Radiometric dating: طريقة لحساب عمر المواد الجيولوجيّة اعتمادًا على التحلل النووي للنظائر المشعة الموجودة طبيعيًّا.

زمن ما قبل الكامبريّ Precambrian time: زمن الحياة الخفية الذي يبدأ قبل 4.5 مليار سنة عندما تشكلت الأرض واستمر حتى قبل 543 مليون سنة (بداية حقب الحياة القديمة) ويشكل تقريبًا 90% من تاريخ الأرض.

حقب الحياة القديمة Paleozoic era: زمن الحياة القديمة من 543 مليون سنة وحتى 245 مليون سنة خلت.

بنجايا Pangaea: القارة التي تشكلت في نهاية حقب الحياة القديمة مكونة من جوندوانا (أمريكا الجنوبية وإفريقيا وأستراليا والهند وأنتاركتكا) وأوراسيا (أمريكا الشمالية وأوربا وسيبريا/آسيا).

حقب الحياة المتوسطة Mesozoic era: زمن الحياة المتوسطة 65 – 245 مليون سنة خلت

حقب الحياة الحديثة Cenozoic era: زمن الحياة الحديثة منذ 65 مليون سنة وحتى الآن.

أسئلة مراجعة

1.21 السّجل الصّخريّ – التأريخ النسبيّ

1. ما التأريخ النسبيّ؟
2. ما المبادئ الستة المستخدمة في التأريخ النسبيّ؟ صف كلّ واحد منها.
3. وجد قاطع جرانيتي يقطع طبقة حجر رملي. ماذا يمكن أن يقال عن العمر النسبي للقاطع والحجر الرملي؟ ما المبدأ المستخدم هنا؟
4. لماذا لا تُظهر التكوينات الصّخريّة كلها تتابعًا مستمرًا من بداية الزّمن إلى الآن؟
5. كيف تستخدم الأحافير في معرفة الزّمن الجيولوجيّ؟
6. في تتابع طبقات رسوبية، تكون الطبقة الأقدم في الأسفل والأحدث في الأعلى. ما المبدأ المستخدم هنا؟
7. اشرح كيف توجد أحافير أسماك وحيوانات بحرية على ارتفاعات عالية مثل الهملايا.

2.21 التأريخ الإشعاعيّ

8. ما معنى عمر النصف الإشعاعيّ؟
9. ما عمر النصف لكلّ من: اليورانيوم -238، والبوتاسيوم -40، والكربون -14؟
10. ما النظير المستخدم في تحديد أعمار الصخور القديمة جدًّا؟
11. ما النظير المستخدم لتحديد أعمار الرسوبيات أو المواد العضوية من البليستوسين؟

3.21 الزّمن الجيولوجيّ

12. ما الفترة الزّمنية الأكبر في وحدات الزّمن الجيولوجيّ؟
13. ما عمر الأرض؟

4.21 زمن ما قبل الكامبري

14. ما التطورات الرئيسة للحياة التي حدثت فيما قبل الكامبري؟
15. ما الدليل الذي لدينا عن الحياة فيما قبل الكامبري؟

5.21 حقبة الحياة القديمة

16. حدثت عدة تذبذبات في مستوى سطح البحر في حقب الحياة القديمة. ما أثر ذلك في أشكال الحياة؟
17. اذكر أسماء عصور حقب الحياة القديمة.
18. ما شكل الحياة التي يشتهر بها العصر السيلوري؟
19. يعرف العصر الديفوني بأنه زمن الأسماك. ما بعض أشكال الحياة في هذا العصر؟
20. لماذا يعدّ تطور منخر داخلي في الأسماك المجنحة خطوة مهمة في تطور الحياة على الأرض؟
21. لماذا يرى العديد من الجيولوجيّين أنّ الأسماك المجنحة مهمة؟
22. في أيّ عصر ترسبت معظم رسوبيات الفحم؟ لماذا كان هذا العصر فريدًا؟
23. في أيّ منطقة من أمريكا نجد رسوبيات غنية بالفحم؟
24. ما المجموعة التي تطورت من البرمائيات مع وصول بيوض الأمنيوت؟

6.21 حقب الحياة المتوسطة

25. ما الاسم الذي يطلق على حقب الحياة المتوسطة؟
26. ما السبب المفترض وراء انقراض الكريتاسي الذي أفنى الديناصورات؟
27. ما أثر انقسام بنجايا في مستوى البحر؟
28. كيف يرتبط عنصر الإيريديوم مع زمن انقراض الديناصورات؟

7.21 حقب الحياة الحديثة

29. ما الفترات التي يتكون منها العصران: الثلاثي والرباعي؟
30. ما أهم أشكال الحياة التي تطورت في حقب الحياة الحديثة؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● افترض أنك شاهدت تتابعًا من طبقات رسوبية يعلوها تدفق بازلتي. يوجد صدع يكسر الصخور الرسوبية ولكنه لا يكسر البازلت. ما عمر الصدع نسبة إلى عمر الصّخرين؟
2. ● إذا احتوى صخر رسوبي على قطع صخور متحولة، فأيّ الصّخرين أقدم؟ برهن إجابتك.
3. ♦ ما عمر أقدم صخور الأرض؟ ما عمر أقدم صخور القمر؟
4. ♦ ما النظير الأفضل لتقدير أعمار صخور من الأزمنة التالية: (أ) زمن ما قبل الكامبري؟ (ب) حقب الحياة المتوسطة (ج) فترة البليستوين.
5. ■ هل زادت كمية اليورانيوم على الأرض مع الزّمن؟ هل زادت كمية الرصاص على الأرض مع الزّمن؟
6. ♦ حصاة غرانيتية في صخر رسوبي لها عمر إشعاعيّ 300 مليون سنة. ماذا يمكن أن تقول عن عمر الصخر الرسوبيّ؟ في منطقة قريبة، يوجد قاطع ناري عمره الإشعاعيّ 200 مليون سنة قطع الصخور الرسوبية نفسها. ماذا تقول عن عمر الصخر الرسوبي؟
7. ● قبل اكتشاف التأريخ الإشعاعيّ، كيف كان الجيولوجيّون يقدرون عمر الطّبقات الصّخرية؟
8. ■ في تحديد عمر المعدن، ما معنى إعادة بدء الساعة الزّمنية في المعدن؟

9. ♦ إذا قسمت عددًا على اثنين، ثم قسمت الناتج على اثنين، وهكذا إلى ما لا نهاية، فلن يكون الناتج صفرًا. لماذا إذن يكون التأريخ بالكربون مفيدًا فقط للمواد التي ليست أقدم من 50000 سنة؟ (مساعدة: ما عمر النصف للكربون -14؟)

10. ● عادة، يسمي الجيولوجيّون بداية حقب الحياة القديمة *انفجار الكامبري*. ما معنى هذا المصطلح؟.

11. ■ يوجد تكشفان منفصلان لهما الخصائص نفسها —التتابع الطبقي والمحتوى الأحفوري نفساهما - يفصل بينهما 50كم. هل توجد علاقة بينهما؟

12. ■ يشترك تكشفان ببعض الخصائص – تتابع طبقي، ومحتوى معدني، وبعض الأحافير- ولكن الطّبقات ليست جميعها موجودة. يفصل بين التكشفين 300 كم. هل يمكن أن تكون هناك علاقة بينهما؟ كيف تفسر الطّبقات المفقودة؟

13. ● سمِّ الدهور في زمن ما قبل الكامبري. صف الدهور باستخدام ثلاث كلمات لكلّ دهر.

14. ♦ افترض أنه في تتابع صخري لم يتعرض للتشويه، وجد تريلوبيت في طبقة غضار في قاع التكوين وأوراق نبات متحفرة في غضار أخضر في قمة التكوين. من مشاهداتك، ماذا تقول عن عمر التكوين؟

15. ♦ في تتابع طبقات رسوبية، توجد الطّبقات الأحدث في الأسفل أما الأقدم ففي الأعلى. ماذا حدث للطبقات؟

16. ● ما الفرق بين كلّ من عدم التوافق الحتي والزاوي؟

17. ■ كيف أصبح الغلاف الجويّ فيما قبل الكامبري غنيًّا بالنيتروجين؟

18. ■ ما العوامل التي تعتقد أنها ساهمت في توليد الأكسجين في نهاية ما قبل الكامبري؟ كيف أثرت زيادة الأكسجين في كوكبنا؟

19. ■ أين كان معظم الأكسجين في نهاية الكامبري قبل دخوله الغلاف الجوي؟

20. ● لماذا توجد الصّخور الرّسوبية البحرية مثل الحجر الجيري والدولوميت بشكل واسع داخل القارات؟

21. ■ خلال حقب الحياة القديمة، تغير سطح البحر، فأحيانًا كان مرتفعًا وأحيانًا أخرى كان منخفضًا. ما السبب الرئيس في هذا التغير؟

22. ■ ما أبرد عصر في حقب الحياة القديمة؟ ما الذي أسهم في هذا التبريد؟

23. ■ العديد من الكتل القارية كانت مغطاة بالبحار الضحلة في العصر السيلوري. ويعد هذا العصر بداية ظهور النباتات فوق اليابسة. كيف ذلك؟

24. ● تتكون طبقات الفحم من تراكم مواد النباتات التي تم حجزها في قاع المستنقع. ومع ذلك وجد الفحم في قارة القطب الجنوبي، حيث لا وجود للمستنقعات والنباتات. ما تفسيرك؟

25. ■ حُدّد التأريخ الإشعاعيّ لمعدن مايكا مأخوذ من صخر. ما أهمية هذا العمر إذا كان المايكا في صخر جرانيت؟ وماذا يعني هذا العمر إذا كان المايكا في صخر شست؟

26. ■ يعتقد معظم العلماء أنّ سبب الطبقة الغنية بالإيريديوم على حد K-T هو ارتطام نيزك. فلِمَ يعدّ التركيز العالي من الإيريديوم مهمًّا؟

27. ● ما طرق خفض مستوى سطح البحر؟ وما أثر ذلك في الحياة الموجودة وأشكالها؟

28. ● ما الطرق التي يمكننا من خفض مستوى سطح البحر؟ ما آثار مثل هذا العمل على أشكال الحياة الموجودة حاليًا في البحار؟

29. ■ ما الذي قد يسبب ارتفاع مستوى البحر؟ هل يمكن أن يحدث هذا في المستقبل؟ فسر السبب في حالة الإيجاب أو النفي.

30. ■ ما الافتراض العام الذي يجب تقديمه لفهم العمليات التي حدثت خلال تاريخ الأرض؟

31. ♦ ما بعض التبعات المتتالية المهمة التي تحدث عالميًّا عند التحام كتل القارات جميعها معًا كما في تكوّن بنجايا؟

32. ■ إذا ترسب طين ناعم بسرعة 1 سم/1000سنة، فكم يحتاج تكوين تتابع سمكه 1كم؟

33. ♦ لماذا يرتفع مستوى سطح البحر عند زيادة معدل توسع المحيط؟

34. ● إذا ارتفع مستوى البحر اليوم، فما المناطق التي ستتأثر أكثر؟ ما أشكال الحياة التي ستتعرض لخطر الانقراض؟

35. ♦ ما الظروف التي تؤدي إلى تكوّن جليديات على مقياس قاريّ؟

36. ♦ كيف تؤدي اللابة البازلتية في نطق الانهدام إلى فصل كتلتين قاريتين؟

37. ■ ما السبب الممكن لتكون الفترات الجليدية- بين الجليدية؟ هل نحن في عصر جليدي؟ اشرح.

38. ■ ما أثر انقسام بنجايا في مستوى سطح البحر؟

39. ● كيف أثر البشر المعاصرون في العمليات الجيولوجيّة؟

40. ♦ ما الحدث الجيولوجيّ الذي أدى إلى انحناء سلسلة جزر هاواي/ سلسلة جبال الإمبراطور البحرية؟

41. ■ كيف أثر جليد البليستوسين في سطح الأرض؟

42. ■ كيف تشكّل صدع سان إندرياس؟

43. ● كيف يؤثر فقدان الشواطئ في الحياة البحرية الضحلة؟

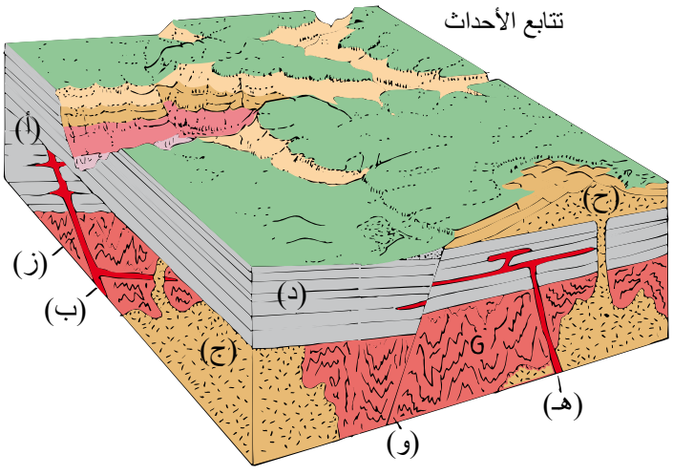
44. ● ما الحدث الذي أدى إلى تطور العديد من الثّدييات في بداية حقب الحياة الحديثة؟

45. ■ كيف تشكّل خليج كاليفورنيا؟

مسألة

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ■ ارجع إلى الشكل. استخدم مبادئ التأريخ النسبيّ. وحدّد الأعمار النسبية للأجسام الصّخريّة والمظاهر الأخرى المرقمة. ابدأ بهذا السؤال: ما الذي كان هناك بداية؟



اختبار الاستعداد للقراءة

إذا تمكنت من استيعاب هذا الفصل جيدًا. فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل. ولكن إذا أجبت عن أقل من 7. فإنّك بحاجة إلى مزيد من الدراسة قبل المضي قدمًا.

اختر أفضل إجابة في كلّ مما يلي:

1. يشير مبدأ التعاقب الطبقي إلى أنّ كلّ:
(أ) طبقة رسوبية أقدم من التي تعلوها.
(ب) طبقة رسوبية أحدث من التي تعلوها.
(ج) طبقة رسوبية جديدة تترسب أفقيًّا.
(د) طبقة رسوبية جديدة تترسب توافقيًّا.

2. المبدأ الذي ينصّ على أنّ أشكال حياة خلال تاريخ الأرض وجدت بترتيب محدّد يسمى مبدأ:
(أ) المجموعات الأحفورية.
(ب) التعاقب الحيويّ.
(ج) الأحافير المتوافقة.
(د) معرفة الأحافير.

3. الزّمن اللازم لتحلل نصف كمية المادة المشعة يسمى:
(أ) التأريخ الإشعاعيّ.
(ب) كربون – 14.
(ج) نسبة الذرات المتبقية.
(د) عمر النصف.

4. سبب تطور محيطات الأرض هو:
(أ) نيازك غنية بالماء ضربت الأرض.
(ب) انبثاق الغازات من البراكين في زمن ما قبل الكامبري.
(ج) تيارات الحمل في الستار.
(د) انبثاق الغازات من البراكين في بداية حقب الحياة القديمة.

5. تكوّن الأكسجين الحرّ كان متلازمًا مع ظهور الحياة على الأرض لأنّه أدى إلى تكون:
(أ) O_2 للنباتات.
(ب) أوزون O_3. الذي ساعد على حماية الأرض من الأشعة فوق البنفسجية الضارة.
(ج) أوزون O_3. الذي بدأ به تنفس الكائنات.
(د) المحيطات. حيث بدأت الحياة.

6. حدثت في حقب الحياة القديمة عدة تغيرات في مستوى سطح البحر. وعندما يرتفع مستوى سطح البحر:
(أ) تغطي اليابسة بحار ضحلة.
(ب) تحصر مياه أكثر في الجليد ويصبح المناخ باردًا
(ج) يصبح المناخ دافئًا وتتكون المستنقعات.
(د) تصبح أحواض المحيطات ضحلة.

7. أهم حدث في الكامبري هو:
(أ) ظهور الأسماك.
(ب) قدرة الكائنات على تكوين هياكل خارجية.
(ج) ظهور التريلوبيت.
(د) قدرة الكائنات على تكوين رئتين.

8. تكوّن قارة بنجايا:
(أ) كان بسبب اندماج معظم الكتل القارية.
(ب) أدى إلى بناء جبال الهملايا.
(ج) أدى إلى النشاط البركاني الكثيف والتدفقات البازلتية.
(د) جميع ما ذكر

9. أدى الجليد في حقب الحياة الحديثة إلى:
(أ) انخفاض مستوى البحر عالميًّا.
(ب) نحت سطح الأرض (مثل جبال الألب في سويسرا).
(ج) تكون جسور قارية بين القارات.
(د) جميع ما ذكر

10. تزامن ولادة صدع سان إندرياس مع:
(أ) تصادم صفيحة الهادي مع جزر هاواي.
(ب) تصادم نظام مرتفع الهادي مع أمريكا الشمالية.
(ج) حركة صفيحة الهادي فوق منطقة مضطربة.
(د) تصادم الهند مع أوراسيا

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

١أ، ٢ج، ٣د، ٤ب، ٥ج، ٦أ، ٧ج، ٨أ، ٩أ، ١٠ج

اكتشف المزيد

جولد، ستيفن جاي، وندرفول لايف- طفل برغس السطحي وطبيعة التاريخ. نيويورك. تورتون، 1989.

www.scoteses.com/earth.html
هذا هو موقع مشروع باليوماب، الحائز على جائزة موقع سينتفيك أمريكانا للعلوم والتقنية لسنتين متتاليتين، يبرز قسم تاريخ الارض سلسلة من الخارط الجيولوجي للأرض في العصور الماضية، والحاضرة، والمستقبلية. قم بزيارة القمة الرئيسة للحصول على رسوم متحركة، واقتراحات لمصادر وبرمجيات وأدوات تعليمية.

www.ucmp.berkeley.edu/help/timeform.html
الصفحة الجيولوجيى لمجلة تايم التابعة لمتحف جامعة كاليفورنيا في بيركلي حول الحفريات وتوفر جدول زمني سهل الاستخدام إضافة الى روابط عديدة لأوصاف مفصلة وخرائط.

الفصل 21 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية
- 21.6, 21.8, 21.21

دروس تعليمية
- تكون الزوايا غير المتطابقة

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط

تكتونية الصفائح وباطن الأرض

22

■ لو حفرت بئرًا تخترق الأرض كلها، فماذا سنجد في باطنها؟ ولأن حفر بئر كهذه مستحيل، فما الأدوات والتقنيات التي يمكن استخدامها لاستكشاف باطن الأرض؟ لقد بدأت الأبحاث بدراسة الصخور السطحية التي تخبرنا بالكثير عن باطن الأرض. وتعد الزلازل والبراكين متعلقة بالنشاط الداخلي لكوكبنا. وقد تعطي المشاهدات والقياسات الناتجة عنها دلائل أخرى. كما تعد هذه المظاهر والعمليات جميعها انعكاسات خارجية للعمليات التي تحدث في باطن الأرض.

1.22 الأمواج الزلزالية

2.22 طبقات الأرض الداخلية

3.22 الانجراف القاري- فكرة سابقة لوقتها

4.22 قبول فرضية الانجراف القاري

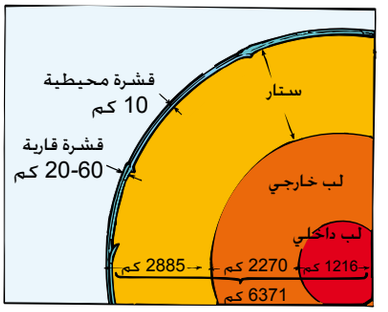
5.22 نظرية تكتونية الصفائح

6.22 أدلة قارية لتكتونية الصفائح

7.22 النظرية التي تفسر الغلاف الأرضي

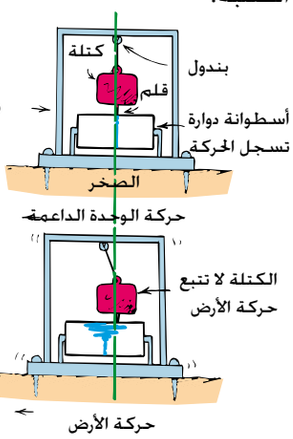
1.22 الأمواج الزلزالية

الزلازل مخيفة ومدمرة، إلا أنها توفر مفتاحًا لفهم التركيب الداخلي للأرض. **الزلزال** هو اهتزاز في الأرض، يحدث عندما تتحرك الصخور تحت سطح الأرض أو تتكسر. هذه الحركات الداخلية تولد موجات تسير خلال باطن الأرض وعلى السطح، وتسمى *الموجات الزلزالية*. تعطينا سرعة انتقال الموجات الزلزالية والاتجاه الذي تسلكه صورة لداخل الأرض. ما تم اكتشافه هو كوكب ذو طبقات. وتنقسم الطبقات الرئيسة للأرض إلى: القشرة(*Crust*)، والستار(*Mantle*)، واللب الخارجي (*Outer Core*) واللب الداخلي (*Inner Core*) (الشكل 1.22). تذكر من الفصل 10 أن سرعة الموجة تعتمد على الوسط الذي تعبره. وقد تعلمنا أن بعضهما تسير أسرع في الماء مما في الهواء. كما أنّ موجات الصوت تكون أسرع في المواد الصلبة.



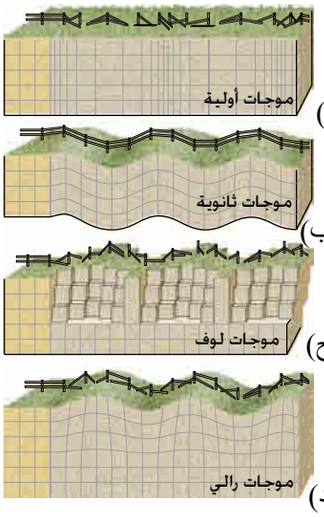
الشّكل 1.22
مقطع عرضي لباطن الأرض يوضح الطبقات الأربع الرئيسة وسمكها التقريبي.

وكما هي الحال في موجات الصوت، فإن سرعة الموجات الزلزالية تعتمد على مرونة المادة التي تنتقل خلالها وكثافتها. فكلما زادت المرونة والكثافة زادت سرعة الموجة. لذا فإن قياس سرعة الموجات الزلزالية يوفر دلائل عن تركيب الأرض. تنتقل الطاقة المتولدة عن الزلزال على شكل موجات زلزالية في الاتجاهات جميعها في باطن الأرض، فتهتز الأرض وتتحرك. ويتم تسجيل هذه الاهتزازات الأرضية بواسطة *السيزموجراف (Seismograph)*(الشكل 2.22). ويمكن تعرف باطن الأرض باستخدام تسجيلات السيزموجراف- مخططات (*سيزموجرام*)(*Seismogram*) لقياس عدد من الزلازل. وكما أن الأشعة السينية تكشف باطن جسمك، فإن مخطط الزلازل يكشف باطن الأرض.



الشّكل 2.22
رسم السيزموجراف. عندما تتحرك الأرض فإن المادة الداعمة المثبتة فيها تتحرك، ولكن الكتلة في نهاية البندول تبقى مكانها. يوجد قلم مثبت في الكتلة يرسم علاقات للإزاحة النسبية على الأسطوانة الدوارة أسفل منه. وبهذه الطريقة يسجل السيزموجراف حركة الأرض.

هناك نوعان من الموجات الزلزالية: **الموجات الجسمية (Body Waves)** التي تنتقل خلال باطن الأرض، والموجات السطحية (*Surface waves*) التي تنتقل خلال **سطح الأرض** (الشكل 3.22).



الشّكل 3.22
شكل يوضح تأثير الموجات الزلزالية. يمثل الجزءَ الأصفر من الجانب الأيسر في كل شكل الجزء غير المتأثر. (أ) موجات أولية تضغط المادة التي تنتقل خلالها وتمددها كما هو موضح بالمسافات المختلفة بين الخطوط الرأسية مثل فعل الزنبرك. (ب) موجات ثانوية تؤدي إلى تذبذب المادة أعلى وأسفل ومن جانب إلى آخر. (ج) موجات لوف Love السطحية التي تؤثر خلف وأمام مثل الثانوية، ولكن في الاتجاه الأفقي فقط. (د) موجات رالي(Rayleigh) السطحية لها حركة دوارة أعلى وأسفل كموجات المحيط.

وتصنف الموجات الجسمية إلى موجات أولية (*Primary Waves*) (موجات – P) **وموجات ثانوية (Secondary Waves)** (موجات – S). الموجات الأولية تشبه موجات الصوت، وهي موجات طولية- تنضغط وتتمدد فيها الصخور في أثناء الانتقال.وتنتقل هذه الموجات من مصدرها في الاتجاهات جميعها مثل اهتزازات الجرس. كما أن الموجات الأولية هي الأسرع والأولى التي تسجل على السيزموجراف. ولأن المواد الصلبة والسائلة يمكن أن تنضغط وتتمدد، فإن الموجات الأولية يمكن أن تنتقل عبر المواد جميعها - غرانيت صلب، وماجما، وماء، أو هواء. في حين تشبه الموجات الثانوية الموجات المتولدة في خيط جهاز الكمان الموسيقى، وهي موجات مستعرضة. فهي تهز الجزيئات في وسطها إلى الأعلى والأسفل، ومن جانب إلى آخر بالتعامد مع اتجاه سير الموجة. ولأن الموجات الثانوية تنتقل أبطأ من الموجات الأولية فإنها تكون ثاني موجات تسجل على السيزموجراف. إضافة إلى أن الموجات الثانوية لا تنتقل عبر السوائل، بل عبر المواد الصلبة فقط.

أما الموجات السطحية فتنقسم إلى نوعين هما: *موجات رالي (Rayleigh)* و*موجات لوف (Love)*. لموجات رالي –حركة دورانية أعلى وأسفل أبطأ من الموجات الأولية والثانوية. لذا فهي آخر الموجات تسجيلاً على جهاز السيزموغراف.

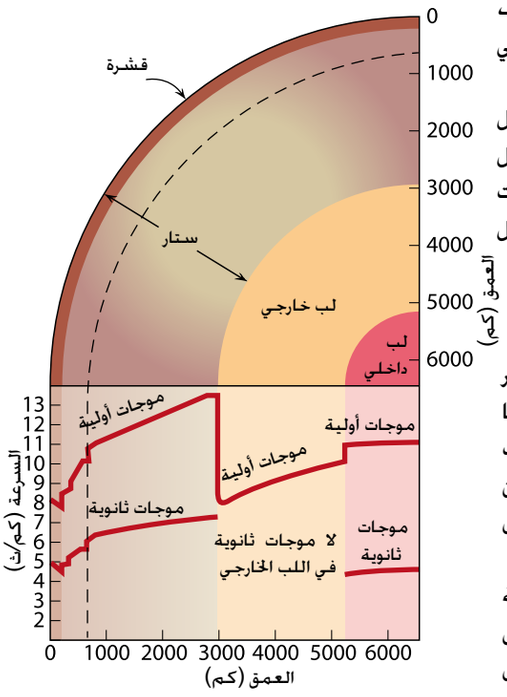
تنعكس الموجات الزلزالية من باطن الأرض عن السطوح بين المواد المختلفة. وعندما تنتقل الموجات الزلزالية إلى مادة مختلفة، تتغير سرعتها مما يؤدي إلى انكسارها (الفصل 10). ولعمل تصور عن باطن الأرض، يدرس علماء الجيولوجيا الانعكاس كلّه،والانكسار، وسرعة أنواع الموجات الزلزالية. وقد أدت بحوث الموجات الزلزالية إلى معرفة بنية الطبقات الداخلية للأرض (الشكل 4.22).

2.22 طبقات الأرض الداخلية

في بداية القرن العشرين، كان الجيولجي الأيرلندي ريتشارد أولدهام يفحص سجلات زلزال كبير في الهند. وقد اكتشف أن الموجات الثانوية قد سارت في باطن الأرض لمسافة ثم توقفت. كما أنه لاحظ أن الموجات الأولية سارت إلى العمق الذي وصلته الموجات الثانوية ثم انكسرت وقلّت سرعتها. ولأن الموجات الثانوية لا تنتقل خلال السوائل بعكس الموجات الأولية التي تنتقل ولكن بسرعة أقل، فقد استنتج أولدهام أن الموجات الزلزالية وصلت حدًّا داخليًّا- واكتشف لب الأرض عام 1906م.

وبعد ثلاث سنوات، قام عالم زلزال كرواتي اسمه إندريا موهورفتشيك بتحليل قراءات زلزالية من زلزال حديث. وحينها لاحظ زيادة حادة في سرعة الموجات الزلزالية على حد آخر، وهو على عمق ضحل تحت سطح الأرض. وبما أن سرعة الموجات تعتمد على خصائص المادة التي تنتقل فيها، فقد استنتج موهورفتشيك(*Mohorovicic*) أن زيادة السرعة كانت بسبب اختلاف الكثافة في الأرض- زادت سرعة الموجات لأنها عبرت من مادة صلبة ذات كثافة منخفضة إلى مادة صلبة ذات كثافة أعلى. رسمت بيانات السيزموجراف لموهورفتشيك خريطة للحد العلوي *للستار العلوي في الأرض*، طبقة ذات كثافة مرتفعة تقع أسفل القشرة الأقل كثافة. وقد سمي هذا الحد بانقطاع موهورفتشيك(*Mohorovicic Discontinuity*) أو "موهو" باختصار الذي يفصل بين القشرة والستار .

وفي عام 1913، أكّد بينوجوتنبرغ (*Gutenberg*) ما وجده أولدهام (*Oldham*) عن طريق ملاحظة أن الموجات الأولية والثانوية تأثرت بقوة بحد على عمق 2900 كم - الحد بين الستار واللب. وقد أشارت المشاهدات الزلزالية إلى أن الموجات الأولية انعكست وانكسرت بقوة عندما وصلت هذا العمق بحيث أدى الحد إلى تكون منطقة ظل في الأرض (الشكل 5.22). الظل هو منطقة لا توجد فيها موجات، وهي بين زاوية 105-140 درجة من الموقع السطحي للزلزال (المركز) ولا يوجد فيه أي تخلل مباشر للموجات. ولأن الحد مميز فإنه دل على تغير مهم في الكثافة للمادة في باطن الأرض. تقترح الكثافة الكلية للأرض السرعة التي سارت فيها الموجات في اللب أن اللب مكون من حديد. وهي مادة ذات كثافة أعلى من الصخور السليكاتية المكونة للستار. كما أن الحد بين الستار واللب أدى إلى تكون منطقة ظل للموجات الثانوية أكبر من الموجات الأولية- لم تستطع الموجات الثانوية العبور إلى اللب. وبما أن الموجات الثانوية تنتقل فقط خلال المواد الصلبة، فإن عالم الزلزال الإنجليزي سير هارولد جيفري (*Sir Harold Jeffery*) قال إن لب الأرض أو جزءًا منه يجب أن يكون سائلاً. وكان ذلك عام 1926م.



الشّكل 4.22

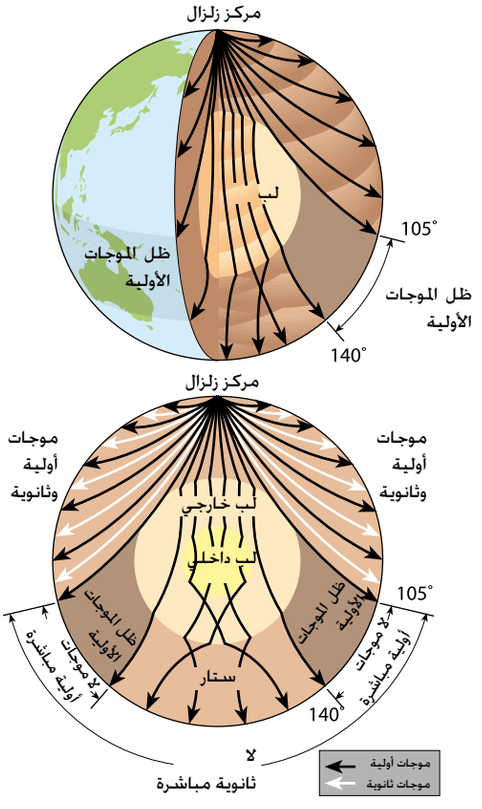
مقطع عرضي لطبقات باطن الأرض تبين الزيادة والتناقص في حركة الموجات الأولية والثانوية في الطبقات المختلفة.

لمعلوماتك

■ كيف ترتبط الكثافة مع المرونة؟ المرونة مرتبطة بمدى قدرة المادة على استعادة شكلها الأصلي بعد زوال المؤثر فيها. فمثلاً للفولاذ مرونة عالية، أما الخبز الطازج فذو مرونة قليلة. قضيب المطاط مرن لأنه يعود إلى شكله الأصلي بعد زوال المؤثر فيه. تزداد كثافة الصخور تحت سطح الأرض بسبب ضغطها بفعل وزن الصخور فوقها. كلما زادت كثافة الصخر تصبح صلبة ومرنة. ومن ثم فهناك ربط كبير بين الكثافة والمرونة في باطن الأرض.

الشّكل 5.22

مقطع مقصوص(Cutaway) ومقطع عرضي يظهران تغير مسارات الموجات على الحدود الرئيسة ومنطقة ظل الموجات الأولية. ينتج ظل الموجات الأولية بين 105-140 درجة من مركز زلزال سطحي من انكسار الموجات الأولية على الحد بين الستار واللب. لاحظ أنه في أي موقع أكبر من زاوية 105° لا توجد موجات ثانوية؛ لأن اللب الخارجي السائل لا يسمح بمرور هذه الموجات.



إذا جمعنا اكتشافات كلّ من أولدهام، وموهورفتشيك، وجوتنبرغ، وجيفري، فإننا نجد أن الأرض مكونة من ثلاث طبقات من مواد مختلفة التركيب هي: *القشرة*، *والستار*، *واللب*. وكل طبقة ذات شكل كروي بحيث إن الشكل النهائي للأرض يشبه شكل البيضة المسلوقة.

وقد تم تحديد هذه الصورة المبسطة لطبقات الأرض عام 1936 من عالمة زلازل دانماركية هي إنجي ليهمان (*Lehmann*) التي توصلت في دراستها إلى أن الموجات الأولية انكسرت ليس فقط على حد اللب-الستار، ولكن أيضًا على عمق معين في اللب، حيث زادت السرعة.

لقد أدى هذا التزايد في سرعة الموجة إلى القول إن اللب الداخلي يجب أن يكون صلبًا. لذا وجد أن اللب له جزءان: خارجي يتكون من سائل حديد مصهور، وداخلي صلب من حديد. وبإضافة عمل ليهمان إلى الاكتشافات المبكرة، فإننا نرى الصورة الكاملة الحالية لتركيب طبقات باطن الأرض. هل تعتقد أن هذه الطبقات التي في باطن الأرض تؤثر في التغيرات الجيولوجية التي تحدث على كوكبنا؟ الإجابة: نعم، كما سترى الآن.

لمعلوماتك

- معظم ما تعرفه عن باطن الأرض كان نتيجة الحرب الباردة بين الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي سابقًا؛ ففي ستينيات القرن الماضي، عندما كانت تجارب الأسلحة النووية شائعة، وجد أن الانفجارات تحت سطح الأرض تولد موجات زلزالية. وقد وضعت كلّ دولة منهما أجهزة سيزموجراف لمراقبة نشاطات الدولة الأخرى. لقد أعطت سيزموجرافات هذه المحطات تفاصيل التركيب غير المشاهد من كوكبنا.

نقطة فحص

ما الدليل الذي يدعم فرضية أن اللب الداخلي للأرض صلب والخارجي سائل؟

هل كانت هذه إجابتك؟

الاختلافات بين حركة الموجات الأولية والثانوية في باطن الأرض. فعند وصول الموجتين إلى الحد الواقع على عمق 2900 كم تحت السطح، تتكون منطقة ظل واضحة جدًّا. تنعكس الموجات الأولية وتنكسر على هذا الحد، في حين أن الموجات الثانوية تنعكس فقط. لا يمكن للموجات الثانوية أن تنتقل في السوائل، وهذا يدل على أن اللب الخارجي سائل. ومع انتقال الموجات الأولية في اللب فإن سرعتها تزداد فجأة عند عمق معين. وبما أن الموجات تنتقل بسرعة أكبر في المواد الصلبة فإنا نستنتج وجود لب داخلي صلب.

اللب

يتكون لب الأرض بشكل رئيس من الحديد وكميات أقل من النيكل. ويكون كل من الحديد والنيكل في اللب الداخلي صلب. ومع أن اللب الداخلي حار جدًّا، إلا أن الضغط الهائل الناجم عن وزن باقي الأرض يمنع مادة اللب الداخلي من الانصهار (تمامًا كما يمنع قدر الضغط الماء الساخن من الغليان، كما نوقش في الفصل 7).

ولأن وزنًا أقل يؤثر في اللب الخارجي، فإن الضغط عليه أقل. لذا فإن الحديد والنيكل يكونان في حالة سائلة. ينساب اللب الخارجي المصهور بمعدل عدة كيلومترات في السنة.

إن هذا التوقف هو دليل خارج سطح الأرض. يولد الصهير المتدفق في اللب الخارجي شحنات كهربائية متحركة أي تيارًا كهربائيايولّد بدوره المجال المغناطيسي. إلا أن هذا المجال المغناطيسي غير ثابت، ولكنه تغير خلال الزمن الجيولوجي. تذكر من فصل 9 أن هناك فترات زمنية تضاءل فيها المجال المغناطيسي إلى الصفر، للبناء من جديد بأقطاب منعكسة. وقد يكون السببُ في هذه الانقلابات المغناطيسية تغيرَ اتجاه تدفق السائل في اللب الخارجي المصهور.

■ **نقطة فحص**

درجة الانصهار العادية للحديد 1535°س، ودرجة حرارة اللب الداخلي 5000°س على الأقل . فلماذا لم ينصهر اللب الداخلي الصلب؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يؤدي الضغط الكبير الناتج عن وزن الأرض فوقه إلى ضغط الذرات معًا بإحكام، بحيث لا تستطيع حتى الحرارة المرتفعة تحريكها. وبسبب هذا الضغط لا يحدث الانصهار، ويبقى اللب الداخلي صلبًا.

الستار

يحيط الستار بلب الأرض، وهو طبقة صخرية بسمك 2900 كم تقريبًا. ويتكون من صخور سليكاتية غنية بالحديد، ويتصرف الستار كمادة صلبة لدنة. تتدفق صخور الستار مع أنها صلبة وتسلك سلوك مادة لدنة. وتسلك سلوك مادة صلبة تنكسر بسبب الإجهاد ببطء. يحدث التدفق في الستار على شكل تيارات حمل تكون خلايا الحمل (الشكل 6.22). وبكلمات أخرى، ترتفع المادة الساخنة في الستار الى الأعلى فتبرد ثم تهبط نحو الأسفل (الفصل 7).

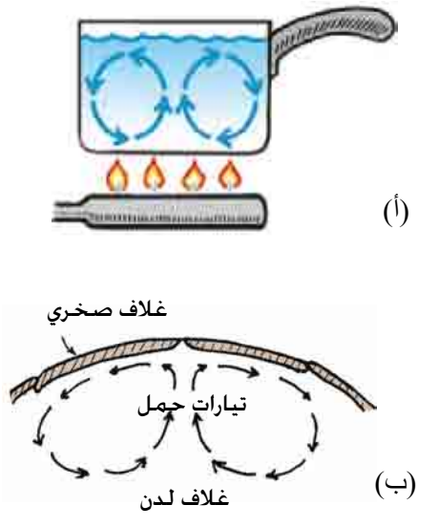
مع أن الستار له تركيب متجانس نسبيًّا، فإنه ينقسم إلى قسمين اعتمادًا على الخصائص الفيزيائية هما: 1- الستار السفلي الذي يمتد من اللب الخارجي إلى عمق 700 كم (الخط المتقطع في الشكل 4.22). وهذا الستار صلب بالكامل؛ لأن الضغط أكبر من أن يسمح بالانصهار. 2- الستار العلوي الذي يمتد من عمق 700 كم إلى الحد بين القشرة والستار وفيه نطاقان (الشكل 7.22). الجزء السفلي من الستار العلوي هو الغلاف اللدن(*Asthenosphere*)، وهو صلب، ويحوي كميات قليلة من السوائل الناتجة عن الانصهار الجزئي لصخور الستار. إن الغلاف اللدن ذو طبيعة لدنة حيث يتدفق بشكل أسهل من الستار السفلي. يعتقد العديد من الجيولوجيين أن خلايا الحمل في الغلاف اللدن لا تمتد تحت عمق 700 كم، وأنها مفصولة عن خلايا الحمل في الستار السفلي. يتفق هذا الرأي مع احتمال أنهما غير منفصلين بحيث تمتد خلايا الحمل من الغلاف اللدن عميقًا في الستار، وقد تصل حد الستار من اللب. وعلى أي حال، فإن الحركة التدفقية الثابتة في الغلاف اللدن تؤثر في المظاهر السطحية على كوكبنا.

أما الآن فسنتناول الطبقة السطحية القاسية من الأرض التي تتضمن القشرة والجزء العلوي من الستار. هذا النطاق هو **الغلاف الصخري (*lithosphere*)**. ينتهي الستار عند انقطاع موهو. ولكن الغلاف الصخري يضم كامل القشرة (الشكل 7.22). لذا، فإن الستار العلوي يضم الغلاف اللدن وجزءا من الغلاف الصخري. والغلاف الصخري هو القشرة وجزء من الستار. إنّ سبب التقسيم الغريب هذا هو التداخل بين الخصائص الفيزيائية والكيميائية. كما توصلوا إليها بالموجات الزلزالية. يتصرف الغلاف الصخري كوحدة مستقلة، ولكن هناك تغيرًا في التركيب خلال الغلاف الصخري.

لمعلوماتك

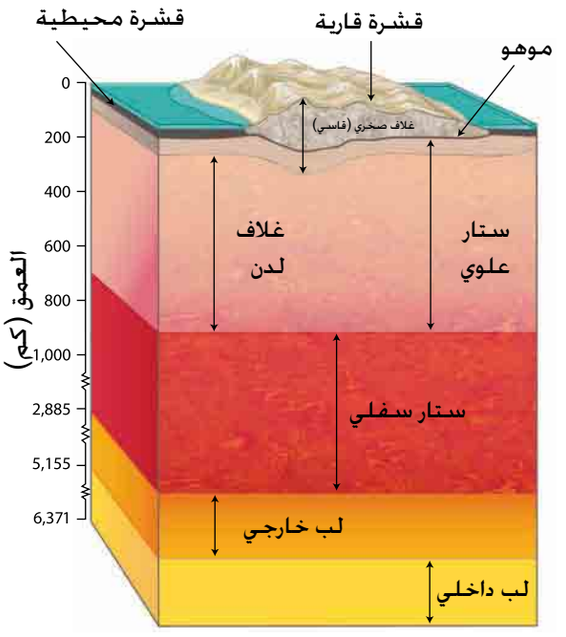
■ كثافة الصخور على سطح الأرض 2.7 -3 جم/ سم^3، في حين متوسط كثافة الأرض ككل 5.5جم/سم^3. لذا فإن الصخور السطحية غير ممثلة لباطن الأرض. وللحصول على متوسط كثافة عال، لابد أن تكون كثافة اللب على الأقل 10.0جم/ سم^3. وهو سبب مع أسباب أخرى للدلالة على أن اللب مكون من حديد وكميات أقل من النيكل، أكثر العناصر الثقيلة شيوعًا .

ساعد اكتشاف انقلاب الأقطاب المغناطيسية على تفسير حركة القارات.



الشّكل 6.22

(أ) مثال شائع لتيارات الحمل يمكن رؤيته عند تسخين ماء في وعاء. (ب) نموذج يوضح تيارات الحمل في الغلاف اللدن.



الشّكل 7.22

إن تركيب كلّ من القشرة والستار واللب مختلف. يبدأ الستار عند الحد بين اللب والستار، وينتهي عند قاعدة القشرة. الستار السفلي وحدة مستقلة من عمق 2900 كم وحتى 700 كم. ومع أن الستار العلوي له التركيب نفسه، إلا أنه يقسم إلى وحدتين هما: الجزء السفلي من الستار العلوي وهو الغلاف اللدن، والجزء العلوي من الستار العلوي مع القشرة الذي يشكل الغلاف الصخري القاسي.

الغلاف الصخري قاس وهش، ولا يتدفق كالغلاف اللدن. لذا فإن الغلاف الصخري يطفو فوق الغلاف اللدن مثل قطعة الخشب على الماء. يتحرك الغلاف الصخري مع حركة المادة أسفل منه. والحركات في الستار غير متجانسة. لذا (كما سنرى لاحقًا في الفصل) فإن الغلاف الصخري يتكسر إلى قطع أو صفائح.

تتحرك تيارات الحمل ببطء حيث تحتاج إلى مئات من ملايين السنين لإكمال دورة. ومع ذلك، فإن الحركة الناتجة عن الحرارة في باطن الأرض تشكل العديد من مظاهر سطح الأرض. إن صفائح الغلاف الصخري في حركة مستمرة، لذا فحركتها تسبب الزلازل، والأنشطة البركانية، وتشوّه الكتل الصخرية الكبيرة التي تشكل الجبال.

سطح القشرة The crustal surface

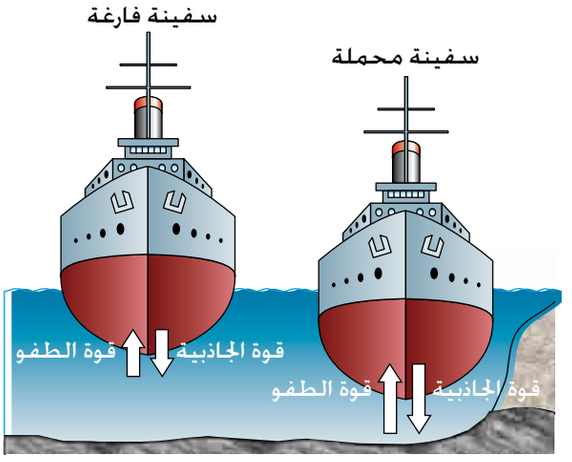
إن الجزء العلوي من الغلاف الصخري هو القشرة التي تنقسم إلى *قارية* و*محيطية*. تختلف كثافة القشرة وتركيبها وسمكها بين أحواض المحيطات العميقة والهضاب القارية المرتفعة. وقشرة المحيط متراصة، وسمكها 10 كم تقريبًا، ومكونة من صخور بازلتية كثيفة. أما القشرة القارية، فعادة ما يكون سمكها بين 20 - 60 كم، ومكونة من صخور جرانيت، والتي هي أقل كثافة من الصخور البازلتية. وهذه الكثافة القليلة تجعل القشرة القارية مرتفعة عن مستوى البحر.

إذا كان سمك القشرة القارية أكبر من المحيطية، فلماذا توجد الأحواض المحيطية تحت الماء في حين تكون القارات مرتفعة وجافة؟ الإجابة موجودة في اختلاف الكثافة والطفو (الفصل 5). إن القشرة القارية الأقل كثافة تبقى مرتفعة عن القشرة المحيطة الأكبر كثافة, مع أن القشرة القارية ذات كتلة أكبر؛ وهذا هو مبدأ الاتزان (*Principle of Isostasy*). يصل أي من نوعي القشرة إلى علو متوازن بالنسبة إلى الستار عندما تصبح قوة الطفو الرافعة الناتجة عن الستار مساوية لوزن القشرة.

ويمكن توضيح هذا المبدأ بالمثال الآتي: تخيل أن قشرة الأرض سفينة، وأن الستار هو المحيط. تقف السفينة بوضعها العمودي في الماء عندما تساوي محصلة القوى صفرًا. يحدث ذلك عندما تكون قوة الجاذبية التي تسحب السفينة نحو الأسفل (وزنها) تساوي قوة الطفو التي تدفعها إلى الأعلى (الشكل 8.22). لاحظ أن السفن المحملة الثقيلة تطفو أقل، والجزء المغمور منها في الماء أكبر من الجزء الذي ينغمر عندما تكون فارغة. وبالمثل، يرتفع الموقع العمودي للقشرة في الستار وينخفض اعتمادًا على اختلاف الكثافة. وتبقى القشرة المحيطة ذات الكثافة المرتفعة في أسفل الستار، أما القشرة القارية الأقل كثافة فتبقى في أعلاه.

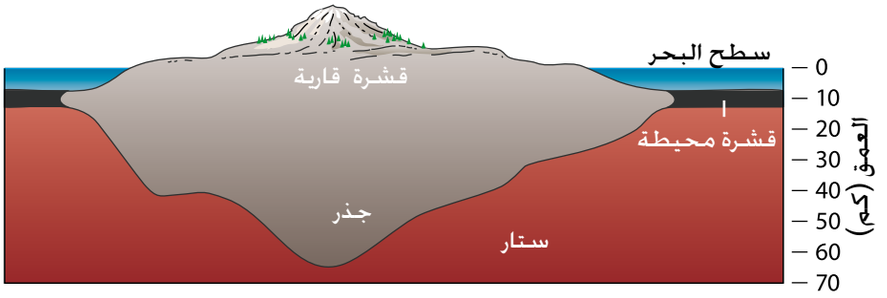
وعلى مقياس كوكبنا، افترض كتلتين من القشرة بكتل متساوية؛ إحداهما مكونة من قشرة محيطة والأخرى من قشرة قارية (الشكل 9.22). يطلق الستار قوة الطفو نفسها على كلتا الكتلتين، ولكن الكتلة القارية تطفو أعلى لأن كثافتها أقل. إذا أضفنا قشرة أكثر إلى الكتلة القارية، فإن سطحها العلوي سيصبح ذا ارتفاع أكبر من قبل، وستغوص في الستار بسبب زيادة الوزن. لذا، كلما زاد ارتفاع القشرة زاد انخفاض الجذر لدعمه.

وبالتقدم في هذه الأفكار، لا بد لكتل من القشرة أن تصل إلى حالة توازن معًا. إن وزن مادة الستار المزاحة من القشرة الطافية يساوي وزن الكتلة. ولكن، أين تذهب مادة الستار المزاحة؟ لأن الضغط في الستار من القشرة العليا يجب أن يتساوى من مكان إلى آخر وعلى أعماق متساوية، فإن المادة المزاحة تتدفق بعيدًا عن مكان الضغط؛ حتى يتساوى الضغط في الستار.



الشّكل 8.22

الاتزان isostasy: المكان العمودي للقشرة ثابت عندما تتساوى قوة الجاذبية مع قوة الطفو. لذا فإن قشرة المحيط الأعلى كثافة لها موقع أخفض من القشرة القارية الأقل كثافة، تمامًا كما ينغمر جزء من السفينة المحملة في الماء أكثر من الجزء المغمور عندما تكون السفينة الفارغة.



الشّكل 9.22

القشرة القارية أسمك وأقل كثافة من المحيطة. لذا فإن القشرة القارية تطفو أعلى فوق الستار مقارنة مع القشرة المحيطة. وللحصول على التوازن؛ فإنه كلما زاد ارتفاع القشرة زاد عمق الجذر.

وهذا يعني أن الستار أسفل القشرة القارية السميكة (الأقل كثافة) عليه الضغط نفسه كما على الستار أسفل القشرة المحيطة الأقل سمكًا (الأعلى كثافة). وللحصول على هذا التوازن فإن الموقع العمودي للكتل المختلفة من القشرة يتكيف حتى يحدث التوازن في الستار.

نقطة فحص

1. كيف تسلك قشرة الأرض كسفينة تطفو على الماء؟
2. لماذا تكون قشرة الأرض أكثر سمكًا تحت الجبال؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. يتم الحصول على الموقع العمودي للقشرة وموقع السفينة من خلال التوازن بين قوتي الطفو والجاذبية المؤثرة فيهما.
2. تمامًا كما يوجد معظم جبل الجليد تحت مستوى البحر. وبالمثل تكون الجبال. تبقى الجبال تغوص حتى توازن قوة الجاذبية للأسفل قوة الطفو لأعلى.

3.22 الانجراف القاري- فكرة سابقة لوقتها

هل لاحظت يومًا في خريطة جغرافية أن الشاطىء الغربي لإفريقيا والشاطىء الشرقي لأمريكا الجنوبية يمكن مطابقتهما كلعبة التركيب (الشكل 10.22)؟ لاحظ شخص هذه الملاحظة وأخذها بجدية. وهو عالم طبيعة ألماني اسمه ألفرد فيجنر (*Wegener*) (1880-1930) الظاهر في الشكل 11.22. لقد وضع فيجز فرضية متكاملة لتفسير هذه الملاحظة. وتعرف هذه الفرضية **الانجراف القاري**؛ حيث تنص على أن قارات الأرض كانت يومًا ما مجتمعة في قارة سماها *بنجايا*.

كم كان عمرك عندما لاحظت للمرة الأولى أن حافة الشاطىء لأمريكا الجنوبية وإفريقيا تنطبقان على بعضها كلعبة التركيب.

الشّكل 10.22
تتطابق القارات أفضل عند استخدام الرصيف القاري بدلًا من مقارنة خطوط الشواطئ للقارات.

لمعلوماتك

■ اعتقد العلماء في بداية القرن العشرين أن القارات والمحيطات ثابتة. وقالوا إن سطح الأرض ثابت فوق باطن مصهور يبرد بالتدريج. كما اعتقدوا أنه نتج عن تبريد الأرض انكماش أدى إلى تجعّد السطح فنتجت الجبال والأودية.

لقد دعم فيجز فرضيته عن الانجراف القاري بأدلة جيولوجية وبيولوجية ومناخية مؤثرة. لقد افترض أن حد القارة ليس هو خط الشاطئ، ولكن حدها يقع على حافة *الرصيف القاري* (المنطقة المنبسطة بين الشاطىء والمنحدر الذي يمثل بداية قاع المحيط العميق). وعندما طابق أمريكا الجنوبية وإفريقيا باستخدام الرصيف القاري، كان التطابق أفضل من خط الشاطىء. وعندما قام بمطابقة الرصيف القاري لكليهما، وجد أنواع صخور متشابهة على جانبي المحيط الأطلسي. إضافة إلى أنه في العديد من الحالات وجد أن السلاسل الجبلية التي لها العمر نفسه تستمر وتكمل بعضها في أمريكا الشمالية، وأوربا، وأمريكا الجنوبية، وإفريقيا (الشكل 12.22). إضافة إلى وجود أحافير حيوانات لا تعيش على القارة في أمريكا الجنوبية وإفريقيا فقط، ولا وجود لها في أي مكان آخر. ويعدّ هذا اكتشافًا غريبًا لأن النباتات والحيوانات الحالية في هذه الأقاليم تختلف بشكل واضح بعضها عن بعض. كما وجدت أحافير أشجار متشابهة تقريبًا في أمريكا الجنوبية، والهند وأستراليا، والقطب الجنوبي* .

ثم جاء دليل أقوى للقارة الكبيرة (بنجايا) من بيانات المناخ القديم. قبل أكثر من 300 مليون سنة (في وسط الحقبة القديمة)، غطى الجليد جزءًا من أمريكا الجنوبية، وجنوب إفريقيا، والهند، وجنوب أستراليا (الشكل 13.22 والفصل 21). لقد ترك الجليد دليلاً في آلاف المواقع الحاوية على خدوش جليدية تدل على اتجاه حركة الجليد. إذا كانت هذه القارات في مكانها الحالي، فإن الجليد كان قد غطى النصف الجنوبي من الأرض كاملاً، وفي بعض الأماكن تعدى خط الاستواء. وإذا كان الجليد بهذا الامتداد، فإن مناخ الأرض كان باردًا جدًّا. ولكن لا وجود للجليد في النصف الشمالي من الأرض في ذلك الوقت. وفي الحقيقة، فإن وقت الجليد في النصف الجنوبي هو وقت المناخ شبه المداري في النصف الشمالي من الأرض.

الشّكل 11.22
كان ألفرد فيجنر (wegener)(1880-1930) عالمًا متعدد الاختصاصات ذكيًا. وقد نشر في عام 1915م فرضية الانجراف القاري التي قادت في النهاية إلى وضع تكتونية الصفائح. لم يقتصر اهتمامه على علمي الأرصاد الجوية والمناخ فقط، بل اهتم كذلك في علوم الفلك، والجيولوجيا والجيوفيزياء، والبحار، والأحافير. كما استكشف خلال حياته القطب الشمالي وكان محظوظًا بالنجاة من العديد من المخاطر. وفي عام 1930م مات فيجنر في أثناء عبوره منطقة جليدية وهو يستكشف جرينلاند، ولا يزال جسده محفوظًا في جليديات جرينلاند؛ لقد كانت حياته مليئة بالعطاء.

* إحدى أحافير النباتات التي قدّمت دليلًا داعمًا لفكرة فيجنر هي نبات الجلوسوبترس التي وجدت في أمريكا الجنوبية، والهند، وأستراليا، والقطب الجنوبي. ولأن حبوب هذا النبات كانت طويلة جدًّا بحيث لا يمكن للرياح نقلها، فإن الانتشار الواسع لهذا النبات دعم فرضية فيجنر التي تشير إلى أن القارات جميعها كانت يومًا ما مجتمعة.

ولتفسير التوزيع المناخي: افترض فيجنر أن بلغاريا كانت موجودة قبل 300 مليون سنة، وكانت منطقة جنوب إفريقيا عند القطب الجنوبي. إعادة التركيب هذه جعل موقع مناطق الجليد قريبة من القطب والقارات الموجودة حاليًّا في النصف الشمالي للأرض عند الاستواء.

شرح فيجنر فرضية الانجراف القاري في كتابه *أصل القارات والمحيطات* الذي نشر عام 1915. ومع أنه استخدم أدلة في مجالات عملية مختلفة، إلا أن فرضيته لاقت استهزاء من المجتمع العلمي. لقد انتقده خصومه على فشله في إثبات قوى دفع مناسبة لشرح حركة القارات. (افترض فيجنر مخطئًا أن قوة جذب القمر هي القوة اللازمة. كما أنه افترض أن القارات قد انقسمت خلال قشرة الأرض كما تنقسم جبال الجليد). لذا فقد تم نسيان هذه الفرضية بسبب عدم وجود دليل مقنع. ولكن حديثًا فقط، ومع الاكتشافات الجديدة، قبل العلماء مبدأ فيجنر.

نقطة فحص

1. ما الدليل الذي يمكن أن يقود شخصًا دون علم للقول إن القارات كانت يومًا ما متصلة؟
2. رفض العلماء الذين عاصروا فيجنر الانجراف القاري لأنهم لم يتخيلوا كيف تنزلق قارات صخرية كتلية فوق قاع المحيط. ما الذي لم يعرفه هؤلاء عن الستار؟

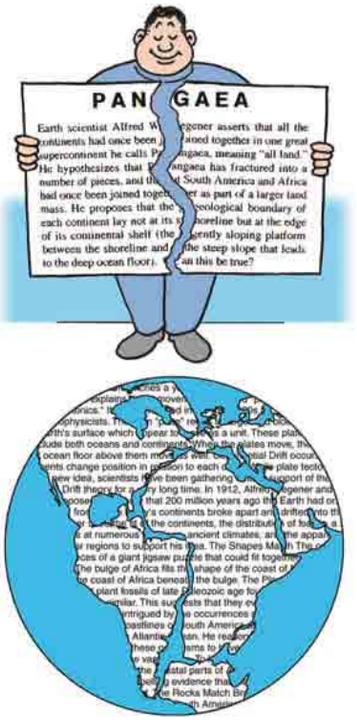
هل كانت هذه إجابتك؟

1. الدليل الواضح هو تطابق حافات قارتي إفريقيا وأمريكا الجنوبية، والذي يمكن رؤيته في أي خارطة أو نموذج كرة أرضية.
2. ما عرفه فيجنر هو أن القارات عند تحركها فإنها تنزلق على سطح صخري صلب. أما العلماء الذين عاصروه فلم يعرفوا أن في الستار طبقة لدنة وهو الغلاف اللدن الذي تطفو عليه القارات وتستطيع الانزلاق.

4.22 قبول فرضية الانجراف القاري

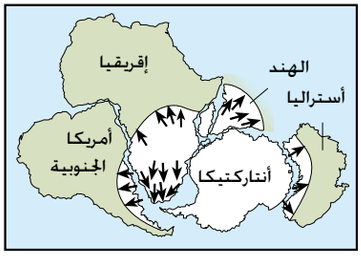
جاء أحد الاكتشافات الرئيسة التي دعمت الانجراف القاري من دراسات المجال المغناطيسي للأرض. نعرف من فصل 9 أن الأرض كالمغناطيس الضخم حيث يقع قطباها المغناطيسيان بجانب قطبيها الجغرافيين. ولأن معادن معينة ترتب نفسها مع المجال المغناطيسي عند تشكل الصخر، فإن الصخور تحتفظ بتغير مغناطيسية الأرض خلال الزمن الجيولوجي. تسمى هذه المغناطيسية التي تشكلت في الماضي الجيولوجي **المغناطيسية القديمة (paleomagnetism)**. وفي خمسينيات القرن الماضي، تم وضع نقاط تمثل موقع القطب الشمالي المغناطيسي في أثناء 500 مليون سنة الماضية. ويبدو أن موقع القطب قد تجول في العالم بشكل كبير (الشكل 14.22). لقد ظهر أنه إما أن القطب قد تنقل مع الزمن، أو أن القارات قد انجرفت. ولأن الحركة الظاهرية (مسار الحركة) للقطب قد اختلفت من قارة إلى أخرى، فقد كان منطقيًّا القول إن القارات انجرفت. لذا أعيد إحياء فرضية الانجراف القاري، غير أن آلية هذه الحركة لم يتم تفسيرها بعد.

ولما كان دعم فرضية فيجنر قد جاء من مجالات علمية مختلفة، كذلك، فإن تفسير آليّة الانجراف القاري قد جمعت من مجالات علمية متباينة أخرى. لقد تم تجميع المعلومات واحدة تلو الأخرى حتى تكامل جمعها في ستينيات القرن الماضي نتيجة استكشاف قاع المحيط.



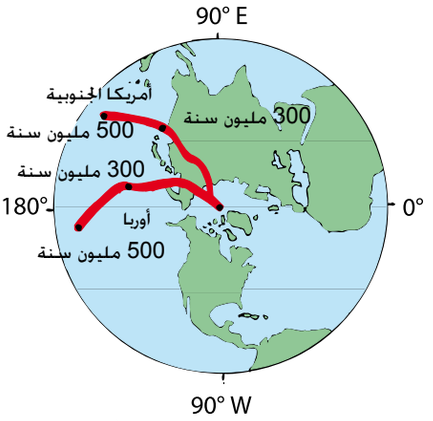
الشّكل 12.22

لقد ماثل فيجنر تطابق الأحافير والصخور بإيجاد قطعتي جريدة منحرفة عن طريق تتطابق في الخطوط والأسطر، ونوع الخط. فإذا تطابقت الحواف والخطوط معًا فإن القطعتين لا بد أن تكونا متصلتين.



الشّكل 13.22

دليل مناخ قديم يدعم فرضية فيجنر لانجراف القارات، الخدوش الجليدية على الصخور في جنوب أمريكا، وإفريقيا والقطب الجنوبي، والهند، وأستراليا توفر دلائل على أن القارات كانت يومًا ما موجودة معًا. تشير الأسهم إلى اتجاه حركة الجليد.



الشّكل 14.22

منحنى تجول القطب الشمالي المغناطيسي خلال 500 مليون سنة. الخط الأحمر السفلي نتج عن أدلة جمعت من أوربا في حين نتج الخط الأحمر العلوي من أدلة من أمريكا الشمالية. قد يتوقع الإنسان أن الخطين سوف ينطبقان. لذا فإما أن القطب قد تجول، أو أن القارات تحركت. ولكن كيف يكون القطب في مكانين في الوقت نفسه؟

كان اللاعب الرئيس الذي ساعد في حل الانجراف القاري هو هاري هيس (*Harry hess*) (الشكل 15.22)، وهو أستاذ الجيولوجيا في جامعة برنستون. في أثناء الحرب العالمية الثانية، خدم هيس في سلاح البحرية الأمريكي قائد سفينة. لقد كانت السفينة مزودة بجهاز صوتي لقياس عمق الماء ورسم خريطة طبوغرافية قاع المحيط. كان الجهاز موجودًا لمساعدة السفينة على الاقتراب من الشاطىء في أثناء الرسو. ولكن هيس استمر في استخدام الجهاز في البحر لجمع معلومات عن قاع المحيط العميق. وفي أثناء الدراسات العلمية التي أجراها خلال الحرب، جمع هيس معلومات عن قاع المحيط في منطقة شمال المحيط الهادي. لقد مكنه تقدير العمق من عمل دراسة على أعماق أكبر من التي تم دراستها. لقد ساعدت اكتشافاته على دعم اكتشافات حديثة أخرى .

ومع التطور التقني في خمسينيات القرن الماضي، استطاع علماء البحار من رسم خريطة قاع المحيط بتفاصيل أكثر دقة. فاكتشفت سلاسل جبلية ضخمة تمتد وسط محيطات الأطلسي، والهادي، والهندي (الشكل 16.22). فظهر وسط المحيط الأطلسي مثلاً، وُجد أنه يمتد في وسط حوض المحيط الأطلسي، ويوازي شواطىء أمريكا وأوربا، وإفريقيا، ويمتد هذا الظهر 19312 كم، وأعلى قممه ظهرت فوق سطح البحر مشكلة جزرًا مثل أيسلندا وأزور (الشكل 17.22). يوجد في وسط الظهر وعلى امتداده واد عميق- نطاق انهدام بركانية.* ومن المظاهر الأخرى في قاع المحيط اكتشاف أخاديد بحرية عميقة (طويلة وعميقة في قاع المحيط) قرب بعض القارات، وبالتحديد على حافة المحيط الهادي. ومن ثم، جرى الكشف عن بعض أعمق مناطق المحيط تقع بالقرب من بعض القارات، وبعض أقل المياه عمقًا توجد في وسط المحيطات عند ظهر وسط المحيط.

لمعلوماتك

■ كلمة *paleo* تعني القديم؛ أي معلومات عن أحداث في الماضي. فمثلاً المناخ القديم يعني وصف المناخ في الماضي، والمغناطيسية القديمة تصف البيانات المغناطيسية في الأزمنة الماضية، في حين تشير الأحافير القديمة إلى دراسة الحياة في الزمن الجيولوجي الماضي.

لمعلوماتك

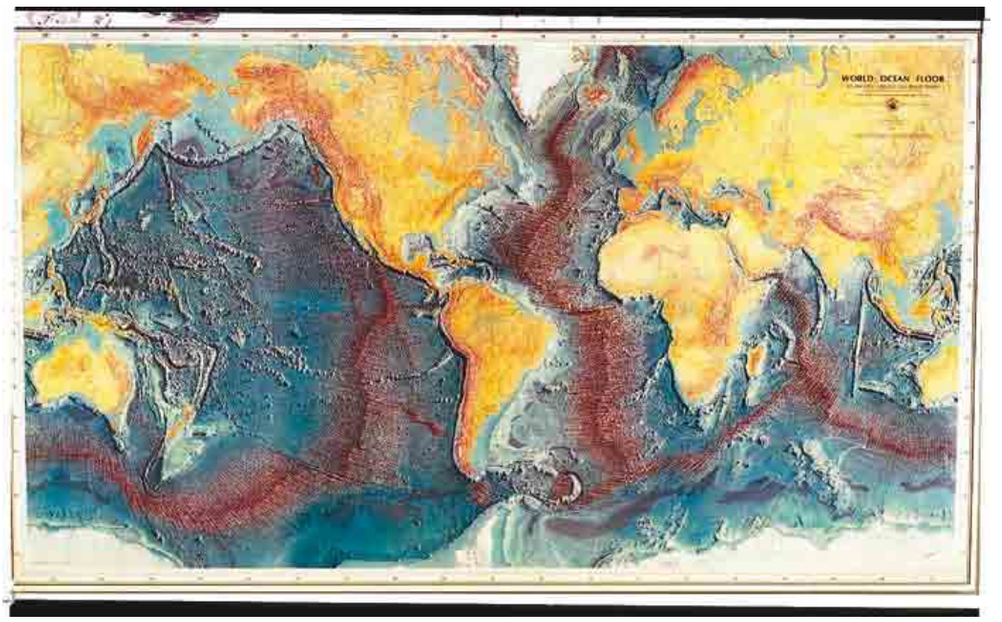
■ بدأت دراسة قاع المحيط في الحربين العالميتين الأولى والثانية باستخدام الأجهزة الصوتية التي بدأت بقياس عمق المحيط عن طريق قياس الزمن الذي تستغرقه إشارة صوتية من السفينة إلى قاع المحيط ثم تعود. لقد دلت الإشارات إلى أن قاع المحيط ذو تضاريس أكثر مما هو متوقع.

الشّكل 15.22

هاري هيس(Harry Hess) (1906-1969). ساعدت فرضية هيس عن توسع قاع المحيط في عمل تصور لآلية فرضية فيجنر في انجراف القارات.

ومع اكتشاف طبوغرافية قاع المحيط في حوض المحيط الأطلسي، أجريت عملية مسح مختلفة على حوض المحيط الهادي- شدة المجال المغناطيسي الأرضي. لقد وجدت الدراسات المغناطيسية على قاع المحيط مجموعة من الأحزمة- ذات شدة مغناطيسية قوية وضعيفة متبادلة. فقد وجد أن هذا الشكل المتبادل الذي يشبه الحمار الوحشي يمتد متوازيًا وموازيًا للشواطىء. ثم وجدت أنماط أخرى مشابهة من الأحزمة المتبادلة القوة في أجزاء أخرى من المحيط. ومع اكتشاف انهدام وسط المحيط، رجع هيس إلى بياناته التي جمعها في السنين الماضية، حيث اقترح عام 1960 أن قاع المحيط لا يبقى على حاله دائمًا، ولكنه يتجدد بشكل مستمر.

* تذكّر نطق الانهدام التي تشكلت عند انقسام بنجايا في أثناء حقب الحياة المتوسطة. تصاحب الأنشطة البركانية تكوّن نطق الانهدام.

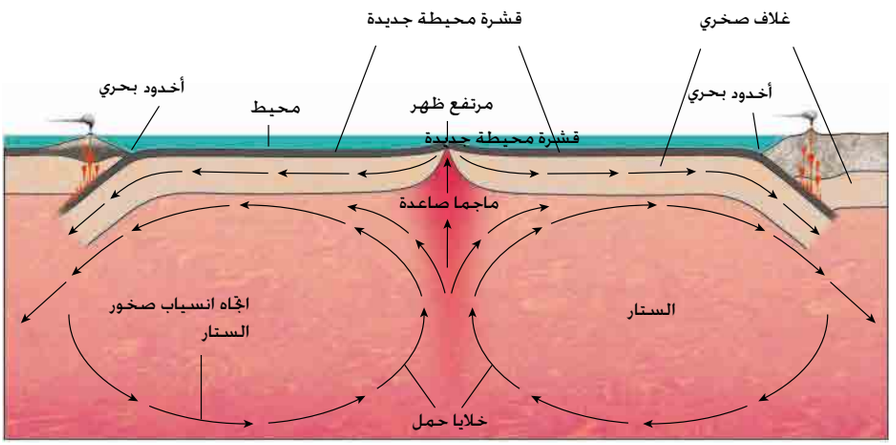


الشّكل 16.22
قام رسّاما خرائط البحار Marie Tharp and Bruce Heezen برسم خريطة تفصيلية للمحيط على مقياس عالمي. اعتمادًا على قراءات جهاز الموجات الصوتية، تُظهر الخريطة وجود سلاسل جبلية كبيرة (المناطق البنية) في وسط المحيطات، ووجود أخاديد بحرية عميقة بالقرب من بعض القارات

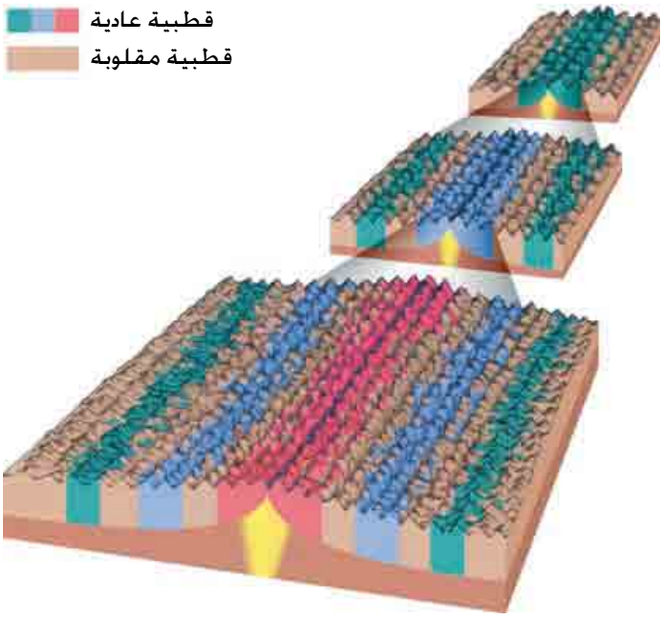
لقد افترض أن المرتفعات المحيطة موجودة فوق تيارات حمل صاعدة في الستار. ومع ارتفاع مادة الستار إلى الأعلى، يتكون غلاف صخري جديد. يتم استهلاك الغلاف الصخري القديم في الأخاديد البحرية العميقة بالقرب من حوافّ القارات. لذا فإن غلافًا صخريًّا جديدًا يتكون عند مركز التوسع. أما الغلاف الصخري القديم فيبتعد عن قمة المرتفع حتى يتم في النهاية استهلاكه في الستار في أخاديد بحرية عميقة (الشكل 18.22). سمى هيس هذه الفرضية **توسع قاع المحيط (*Seafloor spreading*)**.

في عام 1962، بدأت الدراسات المغناطيسية لحوض المحيط الأطلسي بنتائج مشابهة للنتائج التي عثر عليها في المحيط الهادي. قام جيولوجيان بريطانيان هما فاين وماثيوس بتركيب فرضية هيس لتوسع قاع المحيط وبياناتهما المغناطيسية الحديثة. لقد افترضا أنه مع اندفاع البازلت الجديد في منطقة مرتفع ظهر المحيط، فإنه يتمغنط اعتمادًا على المجال المغناطيسي السائد. لذا فإن الدراسات المغناطيسية لقاع المحيط لم تعتمد فقط على شدة المغناطيسية، بل على اتجاهها أيضًا. تشير الأحزمة المتبادلة الموازية لجانبي ظهر المحيط إلى فترات قطبية عادية، وأخرى مقلوبة (الشكل 19.22). كما في عملية تسجيل شريط مغناطيسي بطيء، ثم تسجيل التاريخ المغناطيسي للأرض في قيعان المحيطات المتوسعة. ولأن انقلاب المغناطيسية يمكن معرفته، فإن النظام المغناطيسي في قاع المحيط المتوسع يوثق عمر ومعدل قاع المحيط.

الشّكل 17.22
يمتد ظهر وسط المحيط الأطلسي على طول وسط المحيط. تظهر أعلى قمة له في عدة أماكن فوق سطح الماء مشكلة جزرًا مثل أيسلندا. تبين هذه الصورة نطاق انهدام متكشف في أيسلندا.



الشّكل 18.22
يتكون غلاف صخري جديد عند مرتفع ظهر المحيط (يسمى أيضًا مركز التوسع) ويتم استهلاك الغلاف الصخري القديم في الغلاف اللدن عند الأخاديد البحرية العميقة.



الشّكل 19.22
مع خروج مادة جديدة عند ظهر المحيط (مركز التوسع)، فإنها تتمغنط بحسب المجال المغناطيسي السائد. أشارت الدراسات المغناطيسية إلى وجود حُزُم متبادلة من مغناطيسية عادية ومقلوبة متوازية، وموازية لظهر المحيط. وكالتسجيل على شريط مغناطيسي بطيء، فإن التاريخ المغناطيسي للأرض تم تسجيله على قاع المحيط المتوسع.

أقنعت المساهمات التي قدمها كلّ من ثارب، وهيزن، وفاين، وماثيوس، وآخرون المجتمعَ العلمي على أن توسع قاع المحيط وانجراف القارات يجب أن تكون حقيقية موجودة. قدمت فرضية هيس لتوسع قاع المحيط الآلية التي شرحت انجراف القارات. لقد كان الوقت مناسبًا لاتباع المبادئ الجديدة التي شكلت ثورة. أدى امتداد الرأي العلمي هذا إلى الاقتناع بأن الأرض متحركة.

5.22 نظرية تكتونية الصفائح

تفسر **تكتونية الصفائح** حركة الغلاف الصخري للأرض التي أنشأت أحواض المحيط والسلاسل الجبلية وحزم الزلازل، ومظاهر كبيرة أخرى على سطح الأرض. تنص نظرية تكتونية الصفائح على أن الغلاف الصخري، مقسم إلى ثماني صفائح كبيرة نسبيًّا، وعدد من الصفائح الصغيرة (الشكل 20.22). وبما أن هذه الصفائح تطفو فوق الغلاف اللدن، لذا فإن فرضية فيجنر لانجراف القارات كانت على المسار الصحيح. إن القارات تتحرك.. إنها تتحرك لأنها جزء من الصفائح التكتونية المتحركة.

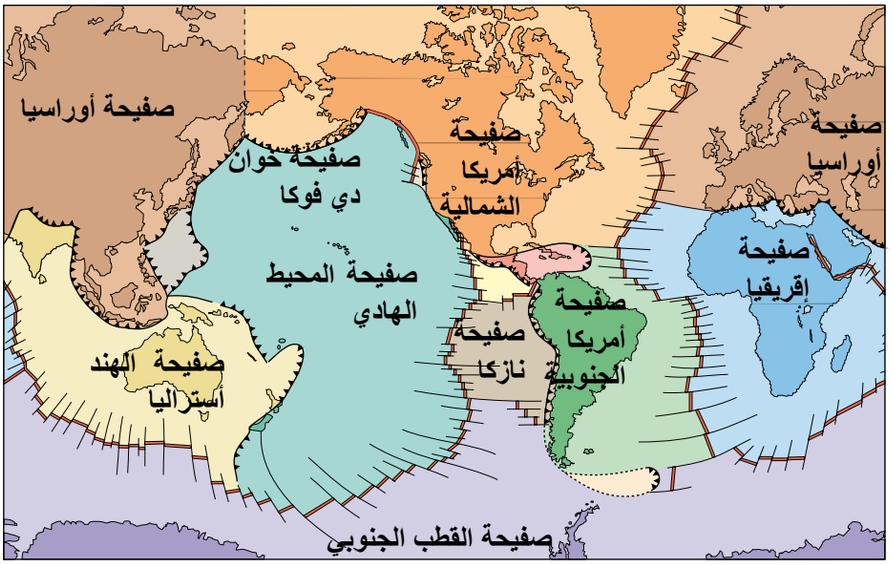
تتحرك صفائح الغلاف الصخري استجابة لتدفق الحرارة من باطن الأرض. تذكّر من الفصل 7 أن الحرارة تنتقل من المناطق الدافئة إلى المناطق الباردة. داخل الأرض، تتحرك الحرارة من اللب والستار إلى القشرة الباردة. يوصل اللب كميات ضخمة من الحرارة إلى الستار، حيث تتدفق معظم الحرارة في الستار نتيجة لتيارات الحمل، وتكون صفائح الغلاف الصخري الجزء العلوي من خلايا تيارات الحمل.

تتحرك صفائح الأرض في اتجاهات مختلفة وبسرعات مختلفة أيضًا، تتراوح بين 2سم إلى 15 سم كل سنة. تتحرك الصفائح المحيطية مثل صفيحة الهادي بصورة أسرع من تحرّك الصفائح التي تحمل القارات كصفيحة أمريكا الشمالية. تتحرك الصفائح مبتعدة بعضها عن بعض، تصطدم، تندمج وتنفصل خلال الزمن الجيولوجي. وبسبب هذه التفاعلات بين الصفائح، فإن حوافها، *حدود الصفائح*، تكون مناطق أنشطة جيولوجية شديدة (الشكل 21.22). وفي حين يكون الهدوء داخل الصفائح نسبيًّا، فإن معظم الزلازل، والبراكين، وبناء الجبال يحدث عند التقاء هذه الصفائح. وهناك ثلاثة أنواع من حدود الصفائح.

لمعلوماتك

■ توجد ثلاث معلومات محفوظة في السجل المغناطيسي هي: (1) قطبية المجال المغناطيسي الأرضي زمن تكون الصخر. (2) الاتجاه إلى القطب المغناطيسي من مكان الصخر في زمن تكونه. (3) خط العرض المغناطيسي لموقع الصخر زمن تكونه. عند معرفة خط العرض المغناطيسي واتجاه القطب المغناطيسي فإن موقع القطب المغناطيسي زمن تكون الصخر يمكن معرفته.

إذا توسع قاع المحيط، فعلى القارات التحرك.



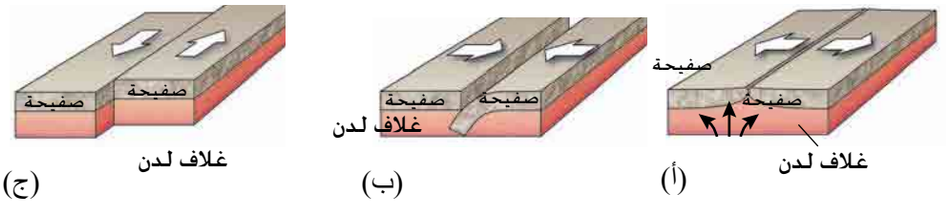
الشّكل 20.22
الغلاف الصخري مقسم إلى ثماني صفائح كبيرة وعدد من الصفائح الصغيرة.

(أ) حدود متباعدة: *تتحرك الصفائح مبتعدة بعضها عن بعض.*
(ب) حدود متقاربة: *تتحرك الصفائح مقتربة بعضها من بعض.*
(ج) حدود جانبية (تحويلية): *تتحرك الصفائح بعضها بجانب بعض.*

حدود الصفائح المتباعدة (Divergent plate boundaries)

تعمل خلايا تيارات الحمل الناتجة عن الحرارة في الستار على شكل دائرة مع تماثل بين الخلايا المتجاورة. الأماكن التي تصل فيها الأجزاء المرتفعة من خليتي تيارات حمل إلى السطح هي أماكن تباعد الصفائح بعضها عن بعض. وقوة الشد هي القوة السائدة في منطقة تباعد الصفائح. مراكز التوسع هذه هي **حدود الصفائح المتباعدة** (الشكل 21.22أ). في منطقة الحدود المتباعدة، يكون الغلاف اللدن قريبًا جدًّا من السطح. أما الغلاف الصخري فيكون رقيقًا جدًّا.*

تحدد ظهور وسط المحيطات مواقع معظم حدود الصفائح المتباعدة. فعلى قمة الظهر، تدفع الجاذبية الصفائح بعيدًا عن الحدود المتباعدة.



الشّكل 21.22
حدود الصفائح هي مناطق نشاط جيولوجي شديد، كما أنها مناطق تكون غلاف صخري واستهلاكه. تنقسم الحدود اعتمادًا على طبيعة الحركة إلى ثلاثة أنواع هي: أ- حدود متباعدة ب- حدود متقاربة جـ- حدود جانبية (تحويلية)

* نظريًا: يكون سمك الغلاف الصخري صفرًا عند الموقع الذي تتباعد فيه الصفائح بالضبط، ويكون الغلاف اللدن على السطح.

فكّر في طبوغرافية قاع المحيط- توجد أعلى الارتفاعات عند ظهور وسط المحيطات. تعدّ منطقة الظهر مرتفعة مقارنة بقاع المحيط بسبب الدفع إلى أعلى والناتج عن صخور الستار المرتفعة نحو الأعلى. وبسبب الاختلاف في الارتفاع بين الظهر وباقي قاع المحيط المجاور، فإن الجاذبية تؤدي إلى انزلاق الصفيحة نحو الأسفل بعيدًا عن ظهر وسط المحيط، كانزلاق قطعة حلوى عن سطح مائل.

تنتج الماجما المتكونة من الانصهار الجزئي لصخور الستار المدفوعة إلى الأعلى بفعل تيارات الحمل الصاعدة. ويحدث الانصهار بسبب انخفاض الضغط على هذه الصخور لأنها قريبة من السطح. تتدفق اللابة البازلتية عند تباعد الصفائح، فتملأ جزئيًّا نطاق الانهدام بين الصفائح المتباعدة. وعندما يبرد البازلت يصبح قشرة محيط جديدة. ومع استمرار تباعد الصفيحتين إحداهما عن الأخرى، فإن صخور الستار تحت القشرة الجديدة في أعلى الغلاف اللدن تبرد وتتصلب. ومع مزج هذا الجزء بالقشرة المتكونة حديثًا أعلى منه، يتكون غلاف صخري جديد يتحرك ببطء مبتعدًا عن مركز التوسع. فيبرد وينكمش ويصبح أكبر كثافة. إن الغلاف الصخري المحيطي قليل السمك وحديث بالقرب من مركز التوسع. ومع زيادة المسافة، يصبح الغلاف الصخري أكثر سمكًا وأكبر عمرًا- بشكل متماثل على كلا جانبي ظهر المحيط.

إن مرتفع ظهر وسط المحيط الأطلسي هو الحدود المتباعدة بين صفائح أمريكا الشمالية وأوراسيا في شمال الأطلسي من جهة وصفائح أمريكا الجنوبية وإفريقيا في جنوب الأطلسي من جهة أخرى. يتراوح معدل توسع ظهر المحيط الأطلسي بين 1-6 سم/ سنة. قد يبدو هذا المعدل بطيئًا، ولكن مع الزمن، فإن التأثير ضخم جدًّا. فخلال 190 مليون سنة الماضية، توسع قاع المحيط بتحويله من مجرى مائي صغير بين إفريقيا، وأوربا، وأمريكا الشمالية، وأمريكا الجنوبية إلى المحيط الأطلسي الذي نراه اليوم.

لا تنحصر مراكز التوسع في قيعان المحيطات، ولكنها تتطور أيضًا على اليابسة. إذا صعدت صخور حارة من باطن الأرض تحت كتلة قارية محدثة قوة شد في قشرة الأرض، فسيؤدي هذا إلى تمدد القشرة وتقوسها إلى الأعلى.

لمعلوماتك

- معدل التوسع في المحيط الأطلسي هو 2.5 سم/ سنة تقريبا أو 25 كم/ مليون سنة. قد يبدو هذا المعدل بطيئًا، لكن 2.5سم/ سنة خلال 100-200 مليون سنة تتراكم. حيث تكوّن المحيط الأطلسي في حقب الحياة المتوسطة على شكل مجرى مائي صغير، ومن ثم تحول إلى المحيط الشاسع الذي نراه اليوم.

حساب العلوم الطبيعية

حساب عمر المحيط الأطلسي

إذا استطعت حساب معدل توسع قاع المحيط ومعرفة عرضه، فيمكنك حساب عمر قاعه. إن عرض المحيط الأطلسي بين أمريكا وإفريقيا هو 4830 كم أو 4.8×10^8سم. لنفترض أن معدل توسع المحيط الأطلسي ثابت 2.5 سم/ سنة خلال الزمن الجيولوجي. عندها يمكننا تطبيق المعادلة المعروفة التي تربط بين كل من السرعة، والمسافة، والزمن.

الزمن=المسافة/السرعة

=(4.8×10^8 سم)/(2.5سم/سنة)

= 1.92×10^8سنة

~190 مليون سنة

واستنادًا إلى هذه الحسابات فإن عمر المحيط الأطلسي 190 مليون سنة.

مسألة

البحر الأحمر حاليًّا هو بحر ضيق موجود فوق حدود متباعدة. بدأت الصفائح بالابتعاد بعضها عن بعض في أثناء الأوليجوسين قبل 30 مليون سنة. من خلال معرفة العمر والعرض، احسب معدل سرعة التوسع.

الحل:

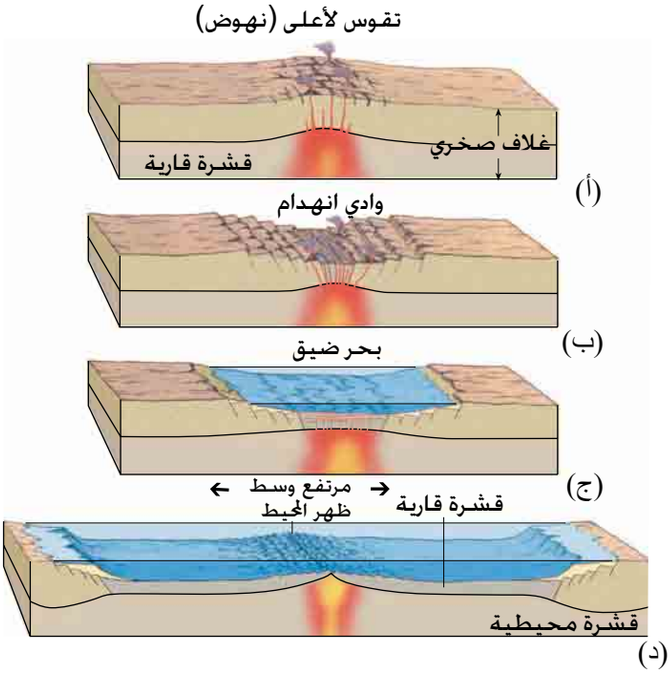
إذا علمنا أن عرض البحر الأحمر 300كم ، وأن بداية التوسع هي 30 مليون سنة، فإن سرعة توسع قاع البحر الأحمر تكون:

السرعة= المسافة/الزمن

=(3.0×10^7 سم)/(3.0×10^7 سنة)

= 1 سم/ سنة

وبناءً على هذا المعدل، فإن عرض البحر الأحمر سيحتاج إلى 400 مليون سنة ليصبح كعرض المحيط الأطلسي. غير أن الأرض ديناميكية ودائمة التغير، وقد يتغير معدل التوسع. فمثلاً، توسع الانهدام الإثيوبي بمقدار 8م في عام 2006! وفي الوقت نفسه اندفعت 2.5 كم^3 من الماجما في القشرة (ما يكفي لملء 200 ملعب كرة قدم)! الأرض متغيرة.



الشّكل 22.22
تكون حفرة انهدام وتطورها إلى حوض محيط. (أ) تعمل الماجما المرتفعة على دفع القشرة القارية نحو الأعلى، مما يؤدي إلى تشقق السطح. (ب) تتكون حفرة الانهدام مع تباعد القشرة. إن الانهدام العظيم في شرق إفريقيا هو اليوم في هذه المرحلة. (الجانبان في الانهدام يتباعد أحدهما عن الآخر بسبب وجودهما فوق خلايا تيارات حمل في الستار لها الشكل الظاهر نفسه في الشكل 18.22. (جـ) يدخل الماء من المحيط مع انخفاض الانهدام تحت مستوى البحر مكونًا بحرًا ضيقًا. (د) ومع مرور ملايين السنين، يتسع الانهدام ويصبح حوضًا محيطيًا.

تتكون فجوات في القشرة. وتنزلق قطع صخرية كبيرة ومن ثمّ تغوص في هذه الفجوات. تسمى الأودية الخسفية الكبيرة الناجمة عن هذه العملية **انهدامًا** أو *أودية انهدام* (الشكل 22.22). الانهدام العظيم في شرق إفريقيا مثال على هذا المظهر. وإذا استمر التوسع، فإنه قد يكون بداية نشأة حوض محيطي.

حدود الصفائح المتقاربة (Convergent plate boundaries)

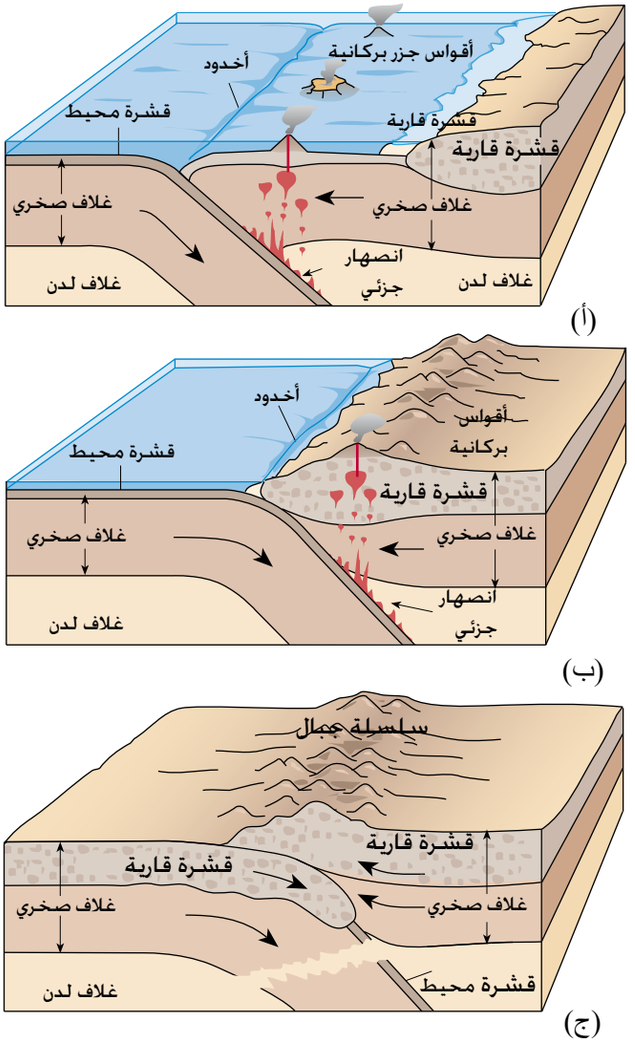
كما يشير الاسم، توجد الحدود المتقاربة عندما تتقارب الصفائح بعضها من بعض. مناطق الحدود المتقاربة هي مناطق قوى تضاغط. واعتمادًا على طبيعة تفاعل الصفائح؛ فهي مناطق استهلاك للغلاف الصخري أو هدم له. كما أن مناطق تصادم الصفائح هي مناطق بناء الجبال أيضًا. يعتمد نوع التقارب- أو التصادم البطيء- على نوع الغلاف الصخري الموجود. وتنقسم الحدود المتقاربة إلى ثلاثة أنواع هي:

- تقارب محيطي- محيطي (الشكل 23.22 أ).
- تقارب محيطي- قاري (الشكل 23.22 ب).
- تقارب قاري- قاري (الشكل 23.22 جـ).

في *التقارب المحيطي- المحيطي*، فإن لكلا الصفحتين مقدمة محيطية. عندما تتقارب صفيحتان من هذا النوع، فإن الصفيحة المحيطة الأكبر عمرًا (ومن ثم أبرد وأعلى كثافة) تنزلق أسفل الصفيحة المحيطة الأصغر عمرًا وأقل كثافة. تسمى العملية التي تنزلق فيها صفيحة تحت أخرى **غوصًا** أو **طرحًا**. وتسمى المنطقة التي يحدث فيها الطرح *نطاق الغوص*. من العلاقات المميزة لنطق الغوص على سطح الأرض وجود الأخاديد البحرية التي تمتد طوليًا بموازاة حواف الحدود المتقاربة. ويعدّ أخدود مريانا مثالًا على هذا؛ حيث تلتقي فيه صفيحة الهادي مع صفيحة الفلبين بطيئة الحركة. وهذا الأخدود هو أعمق مكان على قشرة الأرض حيث ينخفض 11 كم تحت سطح البحر. إذا وضعنا جبل إفرست، وهو أعلى قمة في الأرض، في أخدود مريانا فإنه سيبقى أكثر من 1 كم من الماء فوق الجبل.

لمعلوماتك

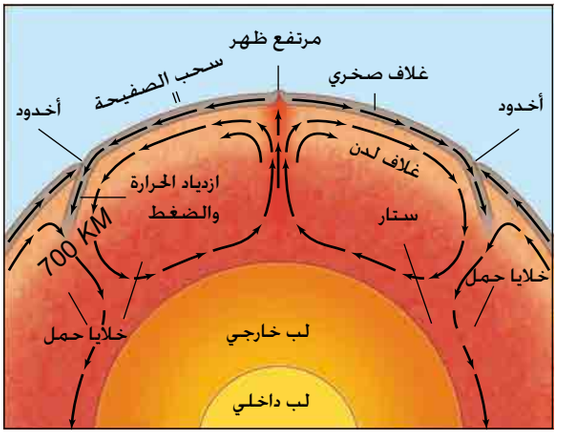
- لقد قامت عمليات التوسع في شرق إفريقيا بفصل السعودية عن إفريقيا مشكلة البحر الأحمر. لذا فإن شرق إفريقيا قد يكون مكان المحيط الرئيس التالي. يعتقد الجيولوجيون أنه إذا استمر التوسع فإن حافة إفريقيا الحالية ستنفصل كليًا. وسوف تتدفق مياه المحيط الهندي على المنطقة جاعلة القرن الإفريقي جزيرة كبيرة.



الشّكل 23.22
أنواع الحدود المتقاربة الثلاثة:
(أ) محيطي - محيطي , (ب) محيطي - قاري , (ج) قاري- قاري

تعد عملية الغوص جزءًا مكملًا لتيارات الحمل في الستار. يعمل كل جزء من الصفيحة على التحكم في الجزء الهابط من تيارات الحمل. سحب الصفيحة، حيث تسحب الجاذبية الطرف الأقدم (ومن ثم الأبرد والأكبر كثافة) من الصفيحة الغاطسة إلى باطن الأرض. وتعد القوة الرئيسة المحركة للصفائح. يجري سحب باقي الصفيحة نحو الأخدود من خلال غوص المقدمة الغاطسة. كلما زاد طول نطاق الغوص زاد الوزن الذي يجب سحبه في باقي الصفيحة الغاطسة. ومن ثم، فإن نطق غوص طويلة يعني صفائح متحركة بسرعة أكبر. يمكنك تصور سحب صفيحة إلى الغلاف اللدن كسحب غطاء طاولة ببطء عن الطاولة (الشكل 24.22).

تشجع عملية الغوص نشوء الماجما وتكون البراكين على قاع المحيط. تكون الصفيحة الغاطسة المغطاة بالرسوبيات مشبعة بماء البحر. وعندما تسخن الصفيحة الرطبة في أثناء غوصها إلى أسفل، فإن السوائل (غالبًا بخار الماء وثاني أكسيد الكربون) ترتفع وتتفاعل مع الجزء من الستار المحصور بين الصفيحتين (الشكل 23.22 أ). تؤدي السوائل المرتفعة نحو الأعلى إلى خفض درجة انصهار الصخور، مما يؤدي إلى انصهار جزئي، وتكوّن ماجما بازلتية. ترتفع الماجما، وتتكون حجرات من الماجما البازلتية في القشرة. وعندما تصل الماجما قاع المحيط، تتكون براكين تحت البحر تبدأ عادة بلابة بازلتية. ولكن مع تبلور الماجما البازلتية التي تتدفق، يحدث إثراء لتركيز السليكا (الفصل 20) فيتغير تركيب الماجما.



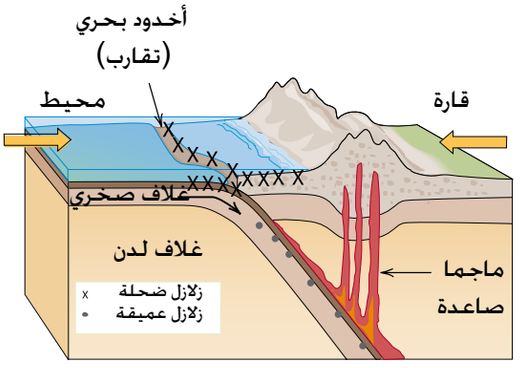
الشّكل 24.22
صورة مبسطة لخلايا تيارات الحمل داخل الستار ترى سحب الصفيحة. الجزء الغاطس من الصفيحة يسخن، ولكنه لا ينصهر بارتفاع الضغط والحرارة مع ازدياد العمق في الستار. تكون الصفيحة الغاطسة موضع تحوّل شديد.

قد يحدث بعض الانصهار الجزئي لقشرة المحيط البازلتية أيضًا، وهذا يساهم في إثراء الماجما بسليكا أكثر. تبدأ البراكين عندها باندفاعات ماجما أنديزيتية تؤدي إلى زيادة ارتفاع البراكين. وفي النهاية تصل البراكين سطح البحر كسلسلة من الجزر تسمى أقواس جزر بركانية. يزداد حجم الجزر وارتفاعها مع الزمن بسبب استمرار النشاط البركاني. شكلت مثل هذه الأقواس جزر ألاسكا، وجزر ماريانا، ومجموعة جزر التونجو في جنوب المحيط الهادي، إضافة إلى نظام الأقواس البركانية في شبه جزيرة ألاسكا، والفلبين، واليابان.

أما النوع الثاني من التقارب فهو *التقارب المحيطي القاري* (الشكل 23.22ب). وفيه، تقترب صفيحة ذات نهاية قارية مع صفيحة ذات نهاية محيطية. وبما أن الصفيحة المحيطية ذات كثافة أكبر، فإنها تغوص تحت الصفيحة القارية الأقل كثافة. يتشكل أخدود بحري عميق في البحر عند التقاء الصفائح المتقاربة. وكما هو الحال في التقارب المحيطي- المحيطي، تتكون ماجما. ولكن بما أنها ترتفع خلال القشرة القارية الأكبر سمكًا، فإنها تأخذ وقتًا أطول مما يسمح بالتبلور والإثراء بالسليكا. ومع ارتفاع الماجما خلال الصفيحة القارية العليا، يتم إدخال كميات من القشرة القارية داخل الماجما مما يؤدي إلى زيادة إثرائها بالسليكا. وتؤدي هذه الإثراءات إلى تكون ماجما تتراوح بين إنديويتية إلى جرانيتية/ ريوليتية. إن معظم اللابة المتدفقة هي أنديزيتية، ويكون الثوران شديدًا وعنيفًا. لا تثور معظم الماجما الجرانيتية بل تتصلب في باطن الأرض لتكون صخرا جرانيتيا جوفيًّا. ولكن في مراحل أخرى، قد يثور البركان وينفث الريوليت.

وفي غرب أمريكا الجنوبية، تكوّنت جبال الأنديز بالطريقة نفسها من تقارب محيطي- قاري. ولكن هناك عملية أخرى ساهمت في الارتفاع المستمر لجبال الأنديز. فمع استمرار غوص صفيحة نازكا تحت أمريكا الجنوبية، تُجلب الرسوبيات البحرية التي تراكمت على صفحية نازكا إلى الأخدود. تُكشط هذه الرسوبيات وتوضع على الجذور الجرانيتية لجبال الأنديز. تصبح المادة التي كُشطت ملتصقة بصفيحة أمريكا الجنوبية مما يزيد سمك الجبال، ويساعدها على الارتفاع بسرعة أكبر من معدل تعريتها. أما بقايا سلسلة البراكين الأصلية، فتتكون من الباثوليت والصخور المتحولة المتكشفة على حواف جبال الأنديز على الشاطىء الغربي لأمريكا الجنوبية.

يمكن رؤية مثال على هذا النشاط البركاني في غرب الولايات المتحدة في السيرانيفادا التي هي سلسلة بركانية قديمة، وفي سلسلة كاسكيد كسلسلة نشطة حاليًّا. نتجت السيرانيفادا من غوص صفيحة فرالون القديمة تحت صفيحة أمريكا الشمالية. إن باثوليت السيرانيفادا هو بقايا سلسلة البراكين الصلبة، أما سلسلة سواحل كاليفورنيا فهي بقايا الرسوبيات التي تراكمت في الأخدود.



الشّكل 25.22

تصبح الزلازل عند نطاق الغوص أعمق كثيرًا عن هذا النطاق.

تكونت سلسلة كاسكيد من غوص صفيحة جون دي فوكا (قطعة من صفيحة فرالون القديمة) تحت صفيحة أمريكا الشمالية. وتضم براكين جبل راينر، وجبل شاستا، وجبل سانت هيلينز. لقد أثبت ثوران بركان سانت هيلنز عام 1980 إلى أن سلسلة كاسيد ما زالت نشطة.

كما يمكن أن تتوقع، فإن مناطق الأخاديد العميقة الناجمة عن تقارب محيطي- محيطي أو محيطي- قاري هي مناطق نشاط زلزالي عنيف. توجد الزلازل على طول نطق الغوص بسبب طحن الصفيحة الغاطسة من الصفيحة العليا. وتصبح الزلازل أعمق في اتجاه منطقة الغوص (الشكل 25.22)

أما النوع الثالث من التقارب وهو قاري- قاري، فيحدث عندما يكون للصفائح المتقاربة قشرة قارية في مقدمتها. في هذه الحالة، تتكون القشرة المتقاربة من النوع نفسه من الصخور الجرانيتية الطافية بطبعها. ولأن الصخور في القشرتين لهما الكثافة نفسها، فلا تغوص أيّ من الصفيحتين تحت الأخرى عند التصادم، أي لا يوجد هناك غوص. بل إن التقارب بين صفيحتين قاريتين هو تصادم (شكل 23.22 جـ). يؤدي الضغط إلى تكسير الصفائح وطيّها بعضها فوق بعض بحيث يجعل القشرة سميكة. يعد وجود صخور مضغوطة ومتحولة بشدة علامة على التقاء الصفائح القارية. وبالمقارنة مع تقارب محيطي- محيطي، أو محيطي – قاري، فإن النشاط البركاني لا يعد مميزًا في التقارب القاري- القاري، ولكن هناك زلازل.

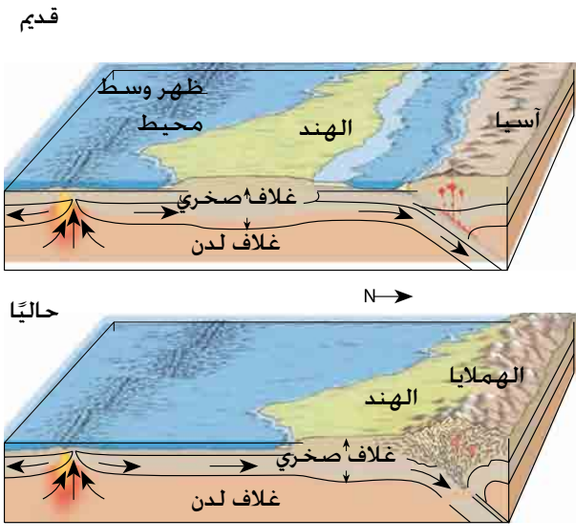
ينتج التصادم بين صفائح قارية بعض السلاسل الجبلية المشهورة مثل الهملايا، أعلى سلسلة جبلية في العالم. لا تزال هذه السلسلة ترتفع إلى الأعلى مع استمرار تصادم الهند مع آسيا (شكل 26.22). تكونت جبال الألب في أوربا بالطريقة نفسها عندما تصادم جزء من صفيحة إفريقيا مع صفيحة أوراسيا قبل 40 مليون سنة. استمر الضغط الشديد بين الصفيحتين، وهو يعمل على إغلاق البحر المتوسط ببطء. وفي أمريكا، تكونت جبال الأبلاش من تصادم قاري- قاري وهو الذي أدى في البداية إلى تكون قارة بنجايا.

لمعلوماتك

■ الفرق الرئيس بين تكوّن الماجما في منطقة الحدود المتباعدة والحدود المتقاربة هو المسافة بين مكان نشأة الماجما وسطح الأرض. نشأة الماجما في الحدود المتباعدة قريبة جدًّا من سطح الأرض، لذا تتحرك الماجما البازلتية نحو الأعلى دون عائق. أما في منطقة الحدود المتقاربة فتنشأ الماجما عميقًا في الستار، ويتم اعتراض الماجما الصاعدة من الغلاف الصخري، وهذان العاملان يؤديان إلى زيادة مسافة انتقال الماجما البازلتية المتكونة في الستار إلى السطح. زيادة الزمن تعني تبلورًا أكثر، لذا تكون أنواع مختلفة من الصخور النارية.

الشّكل 26.22

أنتج التصادم القّاري – القّاري بين الهند وآسيا – وما زال ينتج – جبال الهملايا.



الشّكل 27.22
تتكون معظم الحدود التحويلية (الجانبية) في أحواض المحيط، حيث تعمل على إزاحة ظهور المحيط عن بعضها جانبيًّا مثل مرتفع ظهر المحيط الأطلسي.

حدود الصفائح التحويلية (Transform plate boundaries)

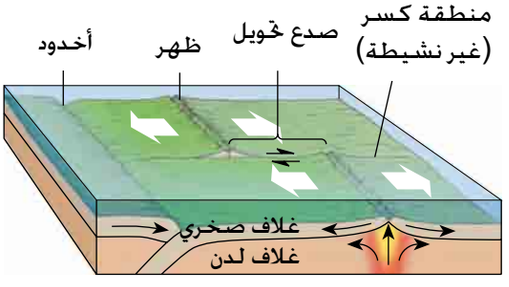
حدود الصفائح التحويلية هي مناطق تنزلق فيها صفيحتان إحداهما بجانب الأخرى أفقيًّا بحيث لا يحدث تقارب ولا تباعد. تسمى منطقة الكسر التي تكوّن الحدود *صدعًا تحويليًّا*. معظم صدوع التحويل موجودة في المحيطات، بحيث تصل الأجزاء المزاحة من ظهر المحيط. انظر إلى ظهر المحيط الأطلسي في شكل 27.22. ولاحظ كيف أنه مكسر إلى قطع. ولكن كل قطعة مزاحة جانبيًّا عن الأخرى، وموصولة بصدع يحول الحركة من قطعة ظهر المحيط إلى الأخرى. في المنطقة المحصورة بين ظهري محيط، يتحرك الغلاف الصخري على أحد جانبي الصدع بعكس الجانب الآخر (الشكل 28.22). هل تستطيع رؤية قطعتي الغلاف الصخري على أنهما على صفيحتين مختلفتين؟ انظر الآن إلى الشكل 28.22 في منطقة الكسر غير النشط. أجزاء الغلاف الصخري على جانبي الكسر هما جزء من الصفيحة نفسها لأنهما يتحركان في الاتجاه نفسه. يتحرك الغلاف الصخري على امتداد صدع التحويل في اتجاهين متعاكسين على جانبيه. هل تستطيع رؤية أن صدع التحويل هو فعليًّا حد صفيحة؟ وهل تستطيع كذلك أن ترى أن مناطق الكسر هي حدود صفائح قديمة؟

وبسبب عدم وجود ضغط أو شد بين الصفائح، فلا وجود لبناء أو هدم للغلاف الصخري. حدود الصفائح التحويلية هي مناطق أفقية مع عدم حركة أحد الجانبين إلى الأعلى أو إلى الأسفل أحدهما بالنسبة إلى الآخر. وكما سنرى في الدرس التالي، فإن الحركة في الحدود الجانبية هي نفسها في الصدوع المضربية وتسمى أيضًا صدوع التحويل.

ومع أن معظم حدود الصفائح التحويلية قصيرة وموجودة في أحواض المحيطات، فإنه يوجد بعض الصدوع الطويلة مثل سان إندرياس في كاليفورنيا (الشكل 29.2). يمتد صدع سان إندرياس 1500كم من رأس مندوسينو في شمال كاليفورنيا إلى مرتفع شرق الهادي في خليج كاليفورنيا. تتحرك صفيحة الهادي شمال غرب بمعدل 5سم/ سنة نسبة إلى صفيحة أمريكا الشمالية. يمثّل صدع سان إندرياس 70% من هذه الحركة أو ما يعادل 3.5سم/ سنة. وتحدث باقي الحركة على امتداد صدوع أخرى (مثل صدع هيوارد). يحدث التكسير والبري في أثناء حركة الصفيحتين إحداهما بجانب الأخرى. وعندما تعلق مقاطع من الصفائح معًا ولا تتحرك، يتزايد الإجهاد حتى يتحرر على شكل زلزال.

لمعلوماتك

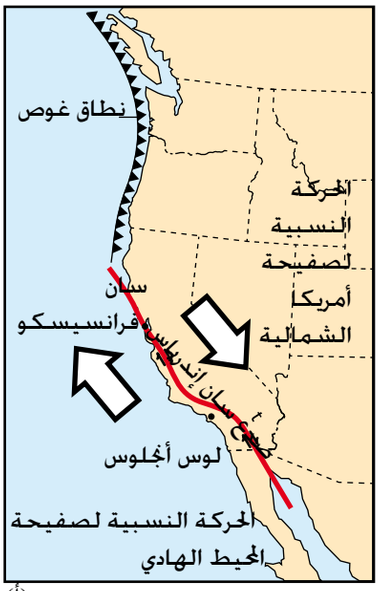
■ كانت قوة زلزال سان فرانسيسكو 1906م 8.2 على مقياس رختر. أدى هذا الزلزال إلى دمار كبير. وقد كان معظم الدمار بسبب الحرائق التي اشتعلت في المدينة بعد الزلزال. وسبب ذلك أن أنابيب المياه الرئيسة تكسّرت جميعها جراء الزلزال، ومن ثم تعذر وجود الماء اللازم لإطفاء النار.



الشّكل 28.22
تسمح صدوع التحويل لصفيحتين بالانزلاق إحداهما بجانب الزخرى في منطقة انزياح ظهري محيط جانبيًّا.

الشّكل 29.22

(أ) صدع سان إندرياس هو حدود تحويلية مشهورة بزلازلها. يقع جزء كاليفورنيا الذي يتحرك شمال غرب على صفيحة المحيط الهادي، في حين يقع باقي كاليفورنيا على صفيحة أمريكا الشمالية. (ب) في هذه الصورة لصدع سان إندرياس، لاحظ الوادي الطويل الذي نشأ عن طحن الصخور على امتداد الصدع.



(أ)

(ب)

بتاريخ 18 نيسان (إبريل) 1906. تحركت صفيحة المحيط الهادي 6م شمال غرب على امتداد 434كم من الصدع. محررة الإجهاد المخزن في زلزال سان فرانسيسكو.

لمعلوماتك

■ تستجيب الصخور بشكل مختلف للإجهاد: فبعض الصخور قوية، وبعضها الآخر ضعيف. بعض الصخور تنكسر وبعضها الآخر يتصرف بشكل لدن. تؤثر زيادة الضغط والحرارة والمحتوى المائي في استجابة الصخور للإجهادات. وتؤدي زيادة الضغط إلى تقريب حبات المعدن بعضها من بعض، فيصبح المعدن أقوى وأصعب على الكسر، وأسهل للاستجابة اللدنة. تؤدي زيادة الحرارة إلى زيادة اهتزاز الجزيئات في الصخر، فتقل قوة الصخر وتزداد قدرته على التدفق اللدن. الصخور الرطبة أضعف من الصخور الجافة- يعمل الماء على تشحيم المعدن وزيادة الانزلاق المجهري الذي يساهم في التدفق اللدن. لذا ينساب الصخر الموجود في الأعماق تحت السطح بلدونة، في حين تتكسر صخور السطح.

■ 6.22 أدلة قارية لتكتونية الصفائح (Continental evidence for plate tectonics)

تؤدي خلايا تيارات الحمل في الستار وسحب الصفيحة إلى حركة بطيئة لصفائح الغلاف الصخري ولكنها مستمرة. يولد التفاعل بين حدود الصفائح إجهادًا على الصخور. وهناك ثلاثة أنواع من الإجهادات تسبب ثلاثة أنواع من الاستجابات هي:

1- *إجهاد تضاغط*: يحدث عندما تندفع كتلتان صخريتان إحداهما في اتجاه الأخرى. وتكون الاستجابة الناتجة تقليصًا في الأجسام الصخرية.

2- *إجهاد شدّ*: يحدث عندما تتأثر كتل الصخور بقوتين متباعدتين عن الجسم. وتكون الاستجابة الناتجة تمددًا في الأجسام الصخرية.

3- *إجهاد قصّ*: يحدث عندما تتعرض الأجسام الصخرية لضغط وشدّ في آن معًا. وتكون الاستجابة الناتجة انزلاق كتلة صخرية بمحاذاة أخرى في اتجاه متعاكس دون تمدد أو تقلص.

تستجيب الصخور لهذه الإجهادات بطرق ثلاثة هي: *التّشوّه المرن* أو *الهشّ* أو *اللدن*. ولا يعني التشوه المرن أنه متمدد. ولكن المادة المرنة هي التي تعود إلى شكلها الأصلي بعد زوال الإجهاد. ويمكن رؤية التشوه المرن من خلال قضيب مطاطي بعد إزالة الإجهاد عنه، حيث يعود إلى شكله الأصلي. إذا انقطع القضيب المطاطي فإنه لا يكوّن قطعًا. هل هذا صحيح؟ فعند تجاوز حد *المرونة*، يحدث تشوه هشّ في مكان أو اثنين . ثم يرتد قضيب المطاط عائدًا إلى وضعه الأصلي (عادة يهز أصابعك). في حين يحدث ارتداد مرن لما تبقّى من المطاط. ولأن الصخور مواد مرنة، فإنها تعود إلى شكلها الأصلي بعد زوال الإجهاد- ما لم يتجاوز حدّ المرونة .

عندما يتجاوز الإجهاد حدّ المرونة للصخر. ينكسر الصخر أو جزء منه ويفقد شكله الأصلي بشكل دائم؛ فالصخر إما أن ينكسر أو ينساب. يحدث تشوّه هشّ للصخور التي تنكسر . أما الصخور التي تنساب فيحدث لها تشوّه لدن. تعتمد استجابة الصخر للإجهاد عند درجة الحرارة، والضغط، وتركيب الصخر. يحدث التّشوّه الهشّ بالقرب من سطح الأرض عند درجتي حرارة وضغط منخفضين، مما يؤدي إلى تكون الصدوع والكسور في الصخور. يحدث التّشوّه اللدن بسرعة عميقا تحت السطح، حيث الضغط والحرارة مرتفعان، ويؤدي ذلك إلى طيّ الصخر وتدفقه وانسيابه. إن التركيبة الجيولوجية التي نراها على سطح الأرض مثل الطّيّات، والصّدوع، والجبال المصاحبة هي أمثلة على استجابة الصخور لإجهادات تكتونية زادت عن قوة الصخر.

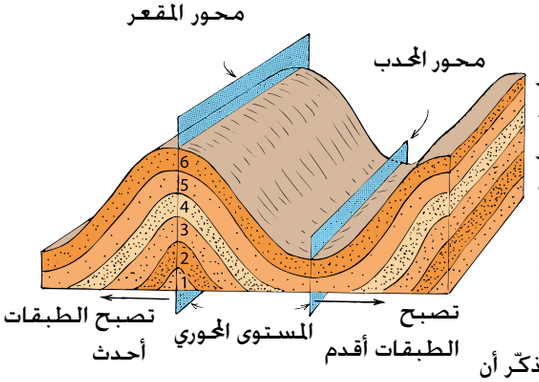
الطّيّات (Folds)

في أعماق القشرة، وتحت ظروف حرارة وضغط مرتفعة، تؤدي إجهادات التضاغط التي تدفع الصخر نحو بعضه إلى الطّيّ. وهو شبيه بالانثناء الذي يحدث في ورقة تدفعها من كلا طرفيها نحو بعضهما. ولثني مقاطع من الصخر، فإنك تحتاج إلى قوى ضخمة تأتي من حركة صفائح الغلاف الصخري. تذكّر أن الرسوبيات قد توضعت أفقيًا طبقة تلو أخرى مع ترسب الطبقة السفلى أولاً. وبالتالي فإن الطبقة السفلى هي الأقدم في الترسيب والعليا هي الأحداث.

في أعماق القشرة، وتحت ظروف حرارة وضغط مرتفعة، تؤدي إجهادات التضاغط التي تدفع الصخر بعضه نحو بعض إلى الطّيّ. وهو شبيه بالانثناء الذي يحدث في ورقة تدفعها من كلا طرفيها أحدهما نحو الآخر.

ولثني مقاطع من الصخر، فإنك تحتاج إلى قوى ضخمة تأتي من حركة صفائح الغلاف الصخري. تذكّر أن الرسوبيات قد توضّعت أفقيًّا طبقة تلو أخرى مع ترسب الطبقة السفلى أولاً. لذا فإن الطبقة السفلى هي الأقدم في الترسيب والعليا هي الأحداث.

ومع تعرض هذه الطبقات الرسوبية، الأفقية أصلاً، إلى إجهاد، فإنها تنثني لتصبح مطويّة. يمكن للصخور أن تنثني إلى الأعلى أو الأسفل. ولكل طيّة محور؛ بحيث تكون الطبقات الصخرية على أحد جانبي المحور مرآة للجانب الآخر. يمكن أن تتخيل المحور على شكل مستوى يمتد نحو باطن الأرض، كما في الشكل 30.22. عندما تنثني الطبقات نحو محور الطّيّة تسمى **طيّة مقعّرة *(Syncline)***. وتكون الصخور في مركز الطّيّة المقعرة هي الأحدث، وكلما ابتعدت أفقيًّا عن مركز الطّيّة تصبح الصخور أقدم فأقدم. أما إذا كانت الطبقات تميل بعيدًا عن محور الطية فتسمى **طيّة محدّبة *(Anticline)***. تكون الصخور في مركز الطية المحدبة هي الأقدم، وبالتوجه أفقيًّا بعيدًا عن المحور، فإن الصخور تصبح أحدث فأحدث. يمكن التفكير بطريقة أخرى، ففي الطّيّ المحدب تتقوس الطبقات نحو الأعلى على شكل قوس أما في الطّيّ المقعر فتتقوس الطبقات نحو الأسفل على شكل حوض.



الشّكل 30.22

طيّات محدبة ومقعرة. طبقة 1 هي أقدم طبقة، و طبقة 6 هي الأحداث. ينثني جناحا المحدب (إلى الأعلى) مبتعدة عن محور الطية (سوف تتدحرج كرة مبتعدة عن محور الطية)، وتكون الطبقات الأقدم في لب الطية. ينثني جناحا المقعر (إلى الأسفل) نحو محور الطية (سوف تتدحرج كرة مقتربة من محور الطية)، وتكون الطبقات الأحدث في لبّ الطّيّة.

■ نقطة فحص

لماذا تكون الصخور في مركز الطّيّ المقعر أحدث من الصخور البعيدة عن المركز، في حين يحدث عكس هذا في الطّيّ المحدب؟

هل كانت هذه إجابتك؟

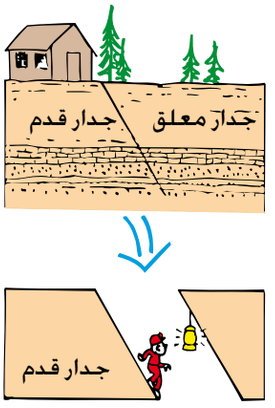
فكر في مثال الورقة. افترض وجود ورقتين إحداهما فوق الأخرى، السفلى أقدم والعليا أحدث. عندما تُدفع الورقتان، فإما أن يكون الانثناء إلى الأعلى أو إلى الأسفل. في الحالة الأولى، تكون الورقة السفلى مركز الطية، أما في الثانية فتكون الورقة العليا هي مركز الطّيّة

الصدوع(Faults)

عندما تكون الإجهادات أقوى من الصخر، والظروف ليست حارّة بما يكفي، أو أن الضغط ليس عاليًا بما يكفي للتشوه اللدن، يحدث تشوه هشّ وينكسر الصخر إلى قسمين. فإذا تحرك قسم بالنسبة إلى الآخر، فعندها يسمى الكسر **صدعًا**. قد تحدث الحركة على طول الصدع فجأة على شكل زلزال أو ببطء مع الوقت.

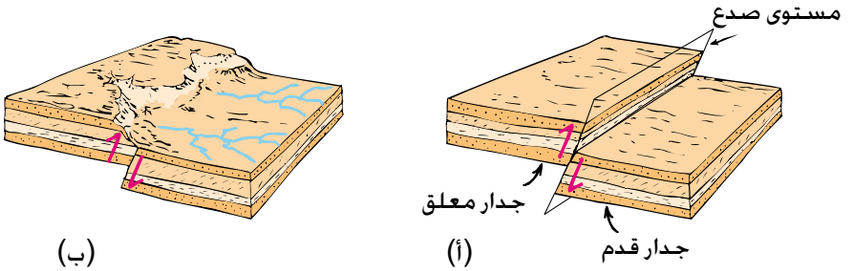
تصنف الصدوع اعتمادًا على الاتجاه النسبي للإزاحة. انظر إلى شكل 31.22 ولاحظ الخط المائل في قمة الرسم، وهذا الخط يمثل الصدع. تخيل أنك تستطيع سحب الرسم من كلا الجانبين على طول الصدع، كما في الشكل السفلي. النصف الذي يحتوي على سطح الصدع الذي يمكن أن يقف عليه أحدهم يسمى الجدار القدم. ولكن سطح الصدع النصفي الآخر مائل، ولا يمكن الوقوف عليه، ويسمى الجدار المعلق. سميت هذه الكتل من قِبَل عمال المناجم؛ لأنه يمكن تعليق ضوء على الجدار المعلق، في حين يمكن الوقوف على *الجدار القدم*. تكون الحركة على هذا النوع من الصدوع نحو الأعلى أو الأسفل- يتحرك الجداران المعلق والقدم عموديًّا على مستوى الصدع.

في الصدع الناتج عن إجهادات تضاغط، يُدفع الجدار المعلق نحو الأعلى على مستوى الصدع نسبة إلى الجدار القدم، كما في شكل 32.22. ويسمى هذا النوع *صدعًا عكسيًّا*. وقد تشكلت جبال الروكي، وجبال الروكي الكندية، وجبال الأبلاش من عملية تصدع عكسية كهذه.



الشّكل 31.22

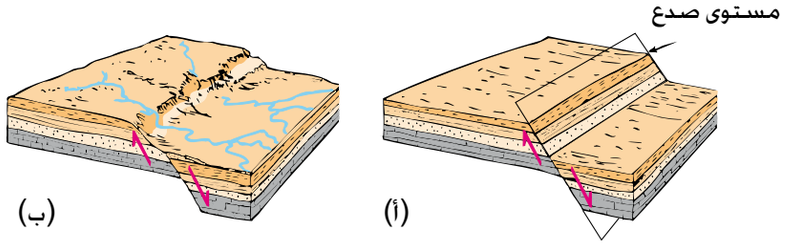
تم استخدام مصطلح *جدار معلق* و*جدار قدم* من قِبَل عمال المناجم لأن أحدهم كان يستطيع أن يعلق المصباح على الجدار المعلق ويقف على الجدار القدم.



الشّكل 32.22

صدع عكسي. في نطاق تصدع تضاغطي، يدفع الجدار المعلق إلى الأعلى بالنسبة إلى الجدار القدم (أ) صدع عكسي قبل التعرية. (ب) صدع عكسي بعد التعرية.

قد تتعرض الصخور لإجهادات شدّ. وتكون إجهادات الشّدّ التي تسحب الصخر معاكسة لإجهادات الضغط. وتؤدي إجهادات الشّدّ إلى نزول الجدار المعلق إلى الأسفل على مستوى الصدع نسبة إلى الجدار القدم فتكوّن صدعًا عاديًّا (شكل 32.22). تقريبًا، تأثرت ولاية نيفادا كلّها، وشرق كاليفورنيا، وجنوب أوريجون، وجنوب أيداهو، وغرب يوتا جميعها بعملية تصدع عادية.



الشّكل 33.22

صدع عادي. في منطقة إجهادات شدّ، ينزلق الجدار المعلق نحو الأسفل نسبة إلى الجدار القدم مشكلاً الصدع العادي. أ) صدع عادي قبل التعرية. ب) الصدع العادي نفسه بعد التعرية.

تسمى الصدوعُ التي تتعرض لحركات أفقية، بحيث تنزلق الكتل بعضها بمحاذاة بعض مع القليل من الإزاحة الرأسية، *صدوعَ المضرب* (الشكل 34.22). ويعدّ صدع سان إندرياس في كاليفورنيا أحد أشهر الصدوع في العالم، وهو صدع مضربي. عندما تعلق كتل الصخور ولا تتحرك، ثم تنزلق على امتداد سان إندرياس (فعليًّا نطاق تصدع)، فإن ذلك يولد الزلازل المشهورة بها كاليفورنيا، بما في ذلك زلزال كاليفورنيا الكبير عام 1906م.

■ **نقطة فحص**

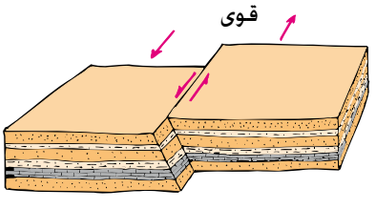
1- الصدوع العكسية هي نتاج قوى تضاغط. ماذا يحدث لقشرة الأرض في منطقة التصدع العكسية؟

2- الصدوع العادية هي نتاج الشد. ما المظاهر السطحية التي تتوقع أن تجدها في منطقة التصدع العادية؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1- تدفع إجهادات الضغط الصخور بعضها نحو بعض. لذا يحدث تقلص في القشرة في بعض مناطق الصدوع العكسية. انظر إلى الشكل 23.22. هل ترى كيف قلّصت قوى الضغط القشرة؟

2- تسحب قوة الشّدّ القشرة متباعدة بعضها عن بعض. لذا في منطقة الصدوع العادية نجد تمددًا للقشرة. انظر إلى الشكل 33.22. هل ترى كيف مدّد الشّدّ القشرة؟



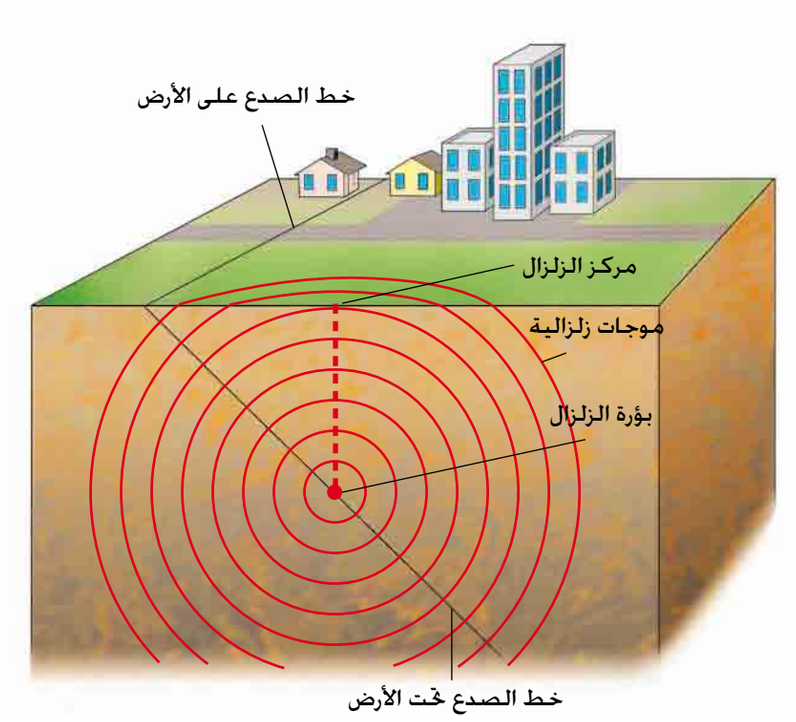
الشّكل 34.22

الحركة النسبية للصدع المضربي أفقية. لا يحدث تقلص أو تمدد للأجسام الصخرية.

الزلازل (Earthquakes)

تنتقل الطاقة المتحررة عن الزلزال على شكل موجات زلزالية في اتجاهات باطن الأرض جميعها. المكان المصدر الذي انزلقت فيه الصخور يسمى بؤرة الزلزال (الشكل 35.22). مع انتقال الطاقة إلى سطح الأرض، فإن الأرض تهتز وتتحرك.

معظم الزلازل مرتبطة بالحركات التكتونية الأرضية. يؤدي التفاعل على حدود الصفائح إلى توليد إجهادات ينشأ عنها استجابة في الصخر. تبدأ الاستجابة على شكل تشوه مرن في الأعماق. ومع زيادة الإجهاد، تقوم الصخور بتخزين الطاقة في الأعماق. وعندما تزداد الطاقة المخزنة عن الحد المرن للصخر، ينكسر الصخر فجأة وينزلق إلى مكان جديد. وعندها يتشكل الصدع. قد يحدث الشيء نفسه على امتداد صدع موجود أصلاً. وللصدوع قوة محددة لمقاومة الانزلاق؛ سطوح الصدوع ليست ملساء. ومن ثم تعلق الصخور على جانبي الصدع. وعندما يتم تجاوز قوة الصخر فإنه ينكسر فجأة.



الشّكل 35.22

البؤرة هي المكان الفعلي حيث يحدث انكسار الصخر. يقع مركز الزلزال مباشرة فوق البؤرة على سطح الأرض. تتجه الموجات الزلزالية في الاتجاهات جميعها مبتعدة عن البؤرة.

قياس الزلزال- مقياسا رختر ومركالي (Richter and mercalli scales)

تحدث مئات آلاف الزلازل سنويًّا. ومع أن معظمها صغير وغير محسوس، إلا أن خطر الزلزال الكبيرة باق. تحدث الزلالزل الكبيرة في المناطق النشطة زلزاليًّا كل 100-50 سنة.

مقياس مركالي: يقيس شدة الزلزال بناء على تأثيره في البيئة المحلية. يتراوح المقياس بين 1 (يقاس بصعوبة) إلى شدة 12 (مدمر). تعتمد شدة مركالي في أي موقع على ما يلي: 1) بعد الموقع عن مكان الزلزال. 2) طبيعة المواد تحت السطح في المكان (مثلاً إذا كانت المواد صلبة ورسوبيات غير متماسكة). وهذا المقياس معيار قيم، وبسبب اعتماده على الملاحظة فإنه لا يستطيع قياس حجم الزلزال. لذا طور علماء الزلازل طريقة أدق لتحديد الطاقة المتحررة من الزلزال وهو مقياس رختر الذي يعدّ مقياسًا لمقدار الزلزال؛ فهو يقيس شدة الزلزال بناء على مقدار الطاقة المتحررة ومقدار الاهتزاز الأرضي على بعد معين من موقع الزلزال.

يعتمد مقياس رختر على أكبر سعة لموجة الزلزال المسجلة على جهاز السيزموجراف. المقياس لوغاريتمي. ما يعني أن كل زيادة واحدة على المقياس تعني زيادة 10 أضعاف في اهتزاز الأرض. لذا فإن زلزالًا بقوة 6 يهز الأرض 10 أضعاف زلزال بقوة 5، و 100 ضعف قوة 4.

ولكن كيف يرتبط مقياس رختر بالطاقة المتحررة من الزلزال؟ الطاقة المتحررة لا تقاس فقط من خلال سعة الموجة، ولكنها تقاس أيضا عن طريق ترددها وطولها- توجد الموجات الزلزالية في مدى من السعات، والترددات والأطوال. ومن خلال دراسة متأنية لأمور الزلزال والصدوع، وجد العلماء أن الطاقة المتحررة من زلزال تزداد 30 مرة مع كل زيادة رقم على مقياس رختر. فمثلاً، زلزال ألاسكا عام 1964م كانت درجته 9.2 وقد حرر 30 ضعف الطاقة، وهز الأرض 10 أضعاف زلزال طوكيو عام 1923 الذي قو=ته 8.2 على مقياس رختر. لقد حرر زلزال آلاسكا 9.2 على مقياس رختر 900 ضعف الطاقة وهز الأرض 100 ضعف زلزال كوبي في اليابان عام 1995 الذي قوته 7.2 على مقياس رختر.

لقد طور مقياس رختر لزلزال كاليفورنيا الذي له بؤر ضحلة ومتوسطة الحجم. ينكسر المقياس عند قيمة 6.5 أو أكثر. تم تطوير مقاييس أخرى مثل مقدار العزم الذي يمكن أن يمثل الزلازل الكبيرة بدقة أكبر. تأخذ هذه المقاييس في الحسبان طول الصدع والمنطقة الموجود فيها. وللزلازل الأقل من 6.5، فإن المقياسين يعطيان القيم نفسها.

وفي كلتا الحالتين، فإن الكسر المفاجئ يحرر الطاقة المرنة المخزنة، وترتد الصخور على جانبي الصدع إلى وضعها الأصلي، وهذا الارتداد إلى الشكل الأصلي هو الزلزال. تنتقل الطاقة المتحررة بعيدًا عن الموقع الرئيس للكسر على شكل موجات زلزالية. في الموقع على سطح الأرض أعلى البؤرة تمامًا- تحدث الاستجابة عادة في صورة تشوه هش للقشرة.

ولأن الزلازل عادة تحدث الحركة على امتداد الصدوع، فإن البؤرة والمركز للزلازل تتقاطع مع منطقة زلزالية معروفة. توجد معظم الزلازل في بضعة مناطق معروفة (الشكل 36.22). مثلاً منطقة حافة المحيط الهادي هي منطقة نشاط زلزالي كبير، وكذلك منطقة ظهر وسط المحيط الأطلسي. بمقارنة شكلي 36.22 و 20.22 هل ترى أن معظم الزلازل واقعة على حدود الصفائح؟

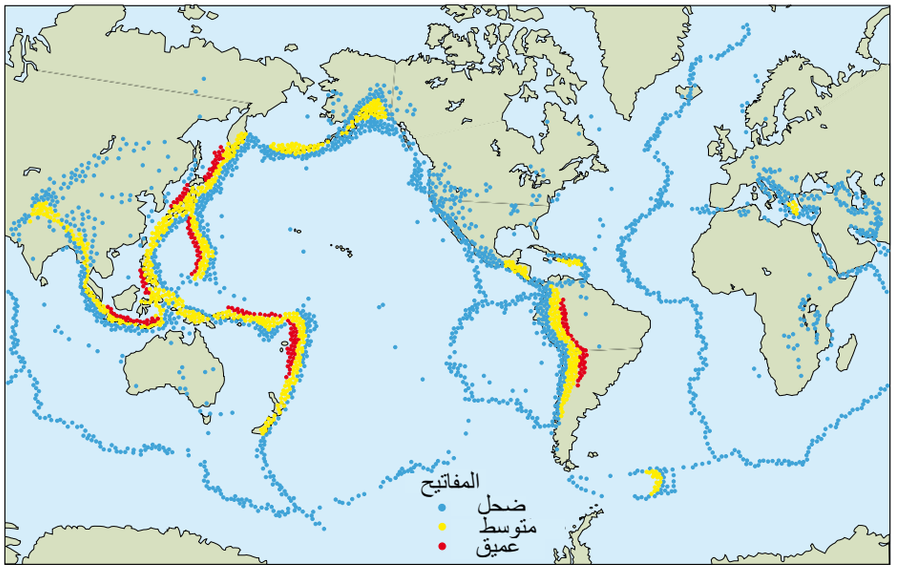
ومع ذلك، فإن الزلازل تحدث في العالم كلّه وليس على حدود الصفائح فقط. تذكر أن الأرض قديمة، وحدود الصفائح تتغير خلال الزمن الجيولوجي. لذا فإن الصدوع والزلازل المصاحبة لها يمكن وجودها داخل الصفائح- بعيدًا عن حدود الصفائح الحالية- في مناطق كانت يومًا ما حدود صفائح. وبسبب تاريخ المناطق الجيولوجية، فإن هذه المناطق بقيت مناطق ضعف. وتعد منطقة نيومدريد الزلزالية في حوض وادي المسيسبي واحدة من هذه المناطق. حدثت مجموعة من الزلازل القوية في شتاء 1811-1812 في المنطقة، وغيرت مجرى المسيسبي بمقدار 8 على مقياس رختر. كما أدّت إلى دق أجراس الكنيسة وسماعها على مسافة 1000 ميل.

لمعلوماتك

- تؤدي الزلازل إلى هز الأرض وتكسيرها. ومع هز الأرض تهتز المباني التي عليها. يقال عادة إن الزلازل لا تقتل الناس، ولكن المباني المنهارة هي التي تقتل. قد تؤدي الزلازل إلى دوران المباني، وتقليل أساسيات الحياة، وتدمير الممتلكات العامة، وموت، وخسارة تأمين الشركات، وأمراض، وانزلاقات، وتدمير الطرق والجسور، واندلاع الحرائق بسبب تكسير أنابيب الغاز والكهرباء.

مقياسا رختر ومركالي

شدة مركالي	قوة رختر	مشاهدات
1	1-2	محسوس لقليل من الناس بصعوبة.
2	2-3	محسوس لقليل من الناس خصوصًا في الطوابق العليا.
3	3-4	محسوس داخل المنزل وبخاصة في الطوابق العليا. ولكن قد لا يلاحظ أنه زلزال.
4	4	محسوس للعديد من الناس داخل المنازل وعدد قليل آخر خارج المنزل . قد يُحس به كشاحنة كبيرة تمر بالجوار.
5	4-5	محسوس من الجميع. توقظ العديد. هز الأشجار، والأعمدة والأجسام الطويلة.
6	5-6	محسوس من الجميع. يتحرك الأثاث، يسقط بعض الدهان، وتتدمر المداخن. دمار قليل في المباني.
7	6	دمار متوسط إلى قليل في المباني الجيدة، ودمار كبير في المباني الضعيفة.
8	6-7	دمار قليل في المباني المصممة جيدًا، دمار كبير في المباني العادية مع انهدام جزئي، دمار كبير في المباني الضعيفة (سقوط المداخن، والأعمدة، والآثار، والجدران).
11	8	دمار كامل. بعض المباني تبقى واقفة. دمار جسور. شقوق عريضة.
12	8 أو أكثر	دمار كامل. ترى الموجات على الأرض. الأجسام تلقى في الهواء.



الشّكل 36.22
معظم الزلازل توجد في حُزم ضيقة.

لمعلوماتك

- تسمى المنطقة المحيطة بالمحيط الهادي حزام النار. تحدث 80% من الزلازل الكبيرة في العالم في حزام النار، ولأن غوص الصفائح مصاحب للبراكين، فإن 75% من براكين العالم تحدث هناك.

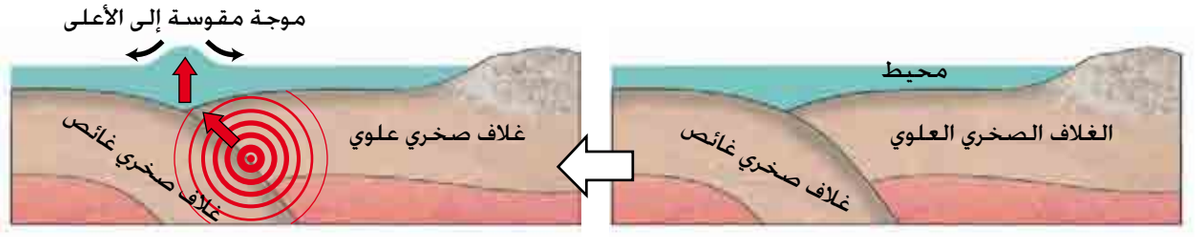
اربط مع الفيزياء

حركة الأمواج- التسونامي

التسونامي (*Tsunami*) موجة أو سلسلة موجات تولدت في جسم مائي كبير من خلال أي نوع طاقة تزيح المياه عموديًّا. تستطيع الزلازل، والانزلاقات، والانفجارات وحتى النيازك أن تولد تسونامي. عندما يتسبب زلزال في تحريك الماء، فإنه عادة ما يسمى موجات بحر زلزالية.

تحدث معظم التسونامي عند حدوث زلزال على صدع عكسي تحت الماء. تؤدي حركة قاع البحر السريعة- غالبًا إلى الأعلى- إلى دفع المياه الموجودة فوق المنطقة المرتفعة إلى الأعلى. ثم تهبط كتلة المياه الضخمة المزاحة إلى أسفل لتصبح على مستوى سطح البحر مولدة بذلك تسونامي (الشكل 37.22). لا تشبه التسونامي أمواج البحر الأخرى (فصل 24). فمثلاً، للموجات البحرية الناتجة عن الرياح طول موجي أقل من 150م، أما موجات التسونامي فذات طول 100كم أو أكثر. عمق الطاقة المنتقلة تحت موجة الماء يساوي عادة نصف طول الموجة. لذا فإن معظم أمواج البحر يؤثر فقط في الجزء العلوي من عمود الماء. ولكن نصف طول موجة التسونامي 50 كم، وهو أعمق من متوسط عمق البحر 4 كم. لذا فإن طاقة التسونامي تنتشر في كامل عمود الماء وليس في الجزء العلوي منه فقط. وهي كمية كبيرة من الطاقة. من الصعب رؤية التسونامي في البحار المفتوحة بسبب الطول الموجي الكبير. قد يرتفع المحيط مترًا واحدًا أعلى من مستواه الطبيعي، ولكن هذا المتر موزع على 100 كم، ثم إن التسونامي سريعة- فهي تسافر في البحر المفتوح بسرعة 800 كم/ ساعة.

وتظهر قوة التسونامي عند اقتراب الموجات من الشاطىء. وتعتمد سرعة هذه الموجات على عمق الماء، لذا مع اقترابها من المياه الضحلة تقل سرعتها.



الشّكل 37.22

تتكون معظم التسونامي من الزلازل في مناطق الغوص. يتم سحب طرف الصفيحة العليا في الأسفل بواسطة الصفيحة الغاطسة (أ). يتم تحرر الطاقة المرنة فجأة، مما يسبب الزلزال. عندما يرتد طرف الصفيحة المثنية إلى مكانها، فإن كامل عمود الماء يندفع إلى الأعلى (ب) ثم يعود إلى الأسفل مكونًا التسونامي.

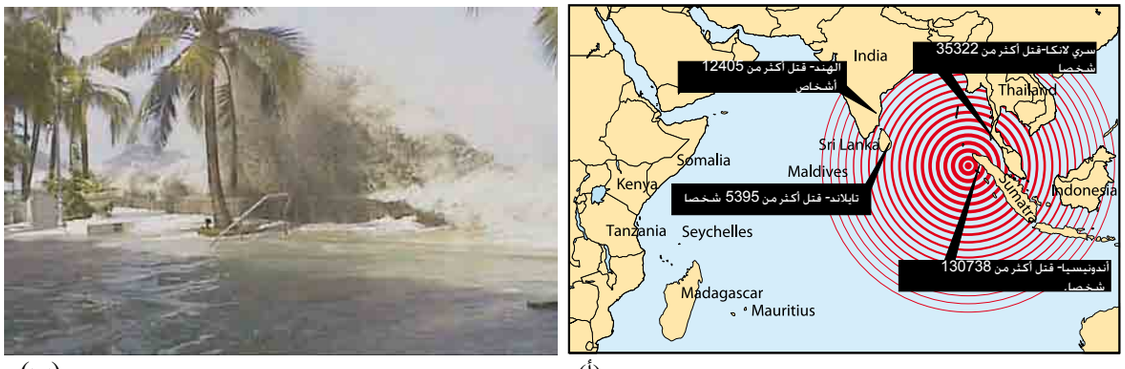
لمعلوماتك

■ في الأرض المحاذية للمحيط الهادي (حزام النار) تم وضع محطات تحذير من التسونامي منذ عام 1960م. ولسوء الحظ لم يمتد نظام التحذير للمحيط الهندي. وبعد الكارثة التي حدثت في سومطرة عام 2004 تم وضع محطة في المحيط الهندي. وهناك إمكانية لعمل نظام تحذير عالمي من التسونامي لإدخال كلّ من المحيط الأطلسي والبحر الكاريبي.

لحسن الحظ، ولأن المنطقة كانت قليلة السكان في ذلك الزمن، فإن فقدان الأرواح والممتلكات كان قليلا.

تختلف الزلازل في حجمها وقدرتها التدميرية. ففي مناطق الحدود المتباعدة، تكون الزلازل عادة ضعيفة وضحلة. أما في مناطق الصدوع التحويلية فتكون الزلازل ضعيفة إلى متوسطة. وفي مناطق الحدود المتقاربة تكون الزلازل متوسطة إلى قوية. وفي أنواع حدود الصفائح جميعها، فإن أقوى الزلازل تحدث على الحدود المتقاربة، حيث يحدث غوص الصفائح.

قد تحدث الزلازل المدمرة مع أنواع الصدوع الثلاثة: العكسية، أو العادية، أو المضربية. فقد سجّل زلزال سان فرانسسكو عام 1906م 7.8 درجة تقريبًا على مقياس رختر، ونجم عنه وفاة 700 شخص، ودمار واسع بسبب الحرائق. أما زلزال لومابريتا 1989م بالقرب من سانتا كروز كاليفورنيا، فقد سجل 7.1 درجة على مقياس رختر، وتسبب في وفاة 62 شخصا، ودمارا بقيمة 6 مليارات من الدولارات. وقد تدخل التصدع المضربي في كلا الزلزالين. لكن الطاقة التي كانت تنتشر على 4 كم انضغطت في منطقة لا تتجاوز بضع عشرات الأمتار، ثم بعد ذلك أقل. أين ذهبت هذه الطاقة؟ إلى الأعلى! قد تنمو الموجة من ارتفاع متر إلى 30 مترًا .



الشّكل 38.22

نشأ تسونامي أندونيسيا عام 2004 عن زلزال غوص شديد بالقرب من شواطىء سومطرة. ضرب التسوماني الشواطىء المجاورة بقوة كبيرة، قتل عشرات آلاف الناس ودمرت بيئات كثيرة.

ثم إن التسونامي لا تتكسر مثل الأمواج البحرية العادية. وكما تم رؤيتها من الشاطئ، تظهر التسونامي على شكل ارتفاع مفاجىء للمد- حائط مائي متحرك بسرعة. ولكن إذا وصل قاع الموجة إلى الشاطىء قبل قمتها،فإنها تبدو على شكل مد منخفض متراجع بسرعة كبيرة . ولسوء الحظ، فإن ذلك يجعل الناس تلاحظ انكشاف قاع البحر المفاجىء مع وجود الأسماك التي انحجزت مؤقتًا. ثُم تأتي قمة الموجة مباشرة فتغرق الناس المستكشفين. وبطرق عدة، فإن التسونامي على اليابسة هو مثل المطرقة الثقيلة التي تحدث ضربة شديدة.

تم توليد تسونامي سومطرة عام 2004 عن طريق غوص صفيحة الهند تحت صفيحة بورما. وبسبب حجم الزلزال (9.2 على مقياس رختر)، فإن الكمية الكبيرة من الطاقة المتحررة أدت إلى تسمية الزلزال بزلزال الدفع الضخم. تقارن كمية الطاقة المتحررة من هذا الزلزال بكمية الطاقة الناتجة عن قنبلة تزن 100 مليار طن من مادة ت ن ت (إذا كان من الممكن صنع مثل هذه القنبلة). ومع أن الزلزال تسبب في دمار كبير، فإن التسونامي بعد الزلزال كان مدمرًا أكثر. تم تدمير المناطق الشاطئية على طول المحيط الهندي، وقتل تسونامي في أندونيسيا 184000 شخص في 12 دولة (شكل 38.22) .

*إن ارتطام النيزك الذي كون حفرة تشكسولب على الحد الفاصل بين العصرين الكريتاسي و الثلاثي، قد ولد بالتأكيد تسونامي كبيرة. أما دليل التصادم - النيزك التسونامي - فقد وجد في الطبقات الصخرية في جنوب غرب الولايات المتحدة.

* التسونامي كلمة يابانية تعني" موجة الميناء" . مفردها و جمعها هو نفسه.

لقد حدثت زلازل أكبر وأكثر تدميرًا على امتداد الصدوع العكسية، خاصة تلك المصاحبة لمناطق الغوص. ومن أمثلة هذه الزلازل، زلزال ألاسكا 1964 الذي سجل 9.2 درجة على مقياس رختر. سبّب الزلزال وآثاره في قتل 131 شخصًا، وخسائر تقدر بـ 300 مليون دولار.* ومن بين أكبر المآسي في الآونة الأخيرة، زلزال تركيا في أغسطس 1999م (7.6 على مقياس رختر الذي قتل 17000 شخص)، وزلزال السلفادور في يناير 2001م، (7.7 درجة على مقياس رختر حيث قتل 844 شخصًا)، وزلزال سومطرة في ديسمبر عام 2004م (9.2 درجة على مقياس رختر حين قتل 184000 شخص). انظر الشكل 36.22 لترى كيف تمتد هذه الزلازل المدمرة مع حدود الصفائح.

لمعلوماتك

■ الزلازل شائعة جدًّا في أندونيسيا. ففي عامي 2006 و 2007م تعرضت المنطقة لأربعة زلازل أكبر من 6 درجات على مقياس رختر؛ منطقة كثيرة الاهتزاز.

* كانت الأمواج البحرية الزلزالية الكبيرة السببَ في هذه الوفيات . تسونامي. يتولد التسونامي من إزاحة الماء نتيجة الزلزال، أو انزلاق تحت الماء، أو ثوران بركان تحت بحري.

الجدول 1.22 بعض الزلازل الملحوظة

السنة	المكان	الدرجة	الوفيات	ملاحظات
1811	نيومدريد	8	قليل	
1906	سان فرانسيسكو	7.8	700	سببت الحرائق دمارًا كبيرًا.
1923	توكيو، اليابان	8.2	150000	سببت الحرائق دمارًا كبيرًا.
1960	جنوب تشيلي	9.5	5700	أكبر زلزال تم تسجيله.
1964	ألاسكا	9.2	131	دمار بأكثر من 300 مليون دولار.
1970	بيرو	7.9	66000	انزلاق صخري كبير.
1971	سان فيرناندو	6.5	65	دمار بأكثر من 5 مليار دولار.
1975	لياوننغ، الصين	7.5	قليل	أول زلزال كبير تم التنبؤ به.
1976	تانغشان، الصين	7.6	500000	
1985	مكسيكو ستي، المكسيك	8	9000	
1989	لوما بريتا، كاليفورنيا	7.1	62	دمار بأكثر من 6 مليار دولار.
1994	نورثبردج، كاليفورنيا	6.7	57	دمار بأكثر من 25 مليار دولار.
1995	كوبي، اليابان	7.2	5500	دمار بين 95 - 147 مليار دولار.
1999	إزمت، تركيا	7.6	17000	
2001	الهند	7.6	20000	
2001	السلفادور	7.7	1000	
2003	بام، إيران	6.6	أكثرمن 30000	
2004	سومطرة	9.2	184000	دمار أكثر من 12 دولة بسبب التسونامي.
2007	سومطرة	6.4	70	

يعدّ فهم الزلزال أمرًا مهمًّا للمجتمع. ولسوء الحظ، تحدث الزلازل وحركة الصدوع مع تحذير قليل أو دونه. لذا من الصعب التنبؤ به. إن أفضل ما يمكن عمله هو حساب احتمالية حدوث زلزال مع الزمن. وهذه الاحتمالية معتمدة على وجود الزلازل في ماضي المنطقة نفسها. يدون جدول 1.22 بعض الزلازل الملحوظة في العالم بناء على أثرها في المجتمع.

7.22 النظرية التي تفسر الغلاف الأرضي

قبل وضع نظرية الصفائح التكتونية، كان فهم سبب بناء الجبال، والطّيّ، والصدوع ضعيفًا جدًّا. تفسر تكتونية الصفائح مكان حدوث العديد من المظاهر الجيولوجية وسببها. وفي الواقع، يمكن النظر إليها على أنها النظرية الوحيدة التي تربط السبب بالأثر.

لماذا وجدت جبال الأبلاش في ذلك المكان؟ ماذا عن السيرانيفادا؟ جبال روكي؟ سنجد الجواب في نموذج تكتونية الصفائح التي تفيد أن أحداث بناء السلاسل الجبلية الكبيرة جميعها تحدث بالقرب من حدود الصفائح المتقاربة.

ويمكننا أيضًا ربط تكون ثلاثة أنواع من الصخور بنظرية الصفائح التكتونية. ومع أننا سنسهل النقاش التالي من أجل توضيح تشكل الصخور، إلا أن الصخور جميعها مرتبطة بتفاعل الصفائح بطريقة أو بأخرى. أولًا، وفيما يتعلق بالصخر الناري البركاني الأكثر شيوعًا، فإن تكوّن كميات كبيرة من البازلت مرتبط بالحدود المتباعدة للصفائح؛ حيث تنصهر صخور الستار جزئيًّا لتكوين قشرة محيطية بازلتية جديدة.

وفي مناطق الغوص، يجري تسخين الصفيحة الغاطسة، وتحرير السوائل التي تؤدي إلى صهر جزئي لجزء الستار الذي يعلوها.. فتتولد ماجما بازلتية تبدأ بالتبلور. تذكّر من الفصل 20 أن عملية التبلور مستمرة، فيصبح السائل المتبقي محتويًا على نسبة من السليكا أعلى مما كان موجودًا في الماجما الأم. لذا يتكون الأنديزيت من ماجما بازلتية، ونجد حزامًا من براكين قمعية مركبة كالتي في جبال الأنديز وسلسلة كاسكيد رينج. ولكن، كيف يتكون الجرانيت؟ لا تندفع الكميات الكبيرة من الماجما الأنديزيتية في الوقت نفسه، ولكنها تتراكم في قشرة الأرض. يتم صهر بعض القشرة القارية المحيطة جزئيًّا، وتنضم إلى الماجما فتزيد من نسبة السليكا. ومع تعرض الأجسام النارية المتبردة إلى التبلور، فإن السائل المتبقي يكون مشبعًا أكثر بالسليكا. عندما تتصلب هذه الماجما المشبعة بالسليكا فإنها تكوّن الجرانيت. جبال السيرانيفادا في كاليفورنيا جرانيتية وتكونت بالطريقة نفسها. الباثوليت الكبير من الصخور الجرانيتية هو جذور أو أجسام الماجما المتصلبة من حزام بركاني قديم نتج عن الغوص. وفي النهاية، فإن الضغط والحرارة المرتفعة الناجمة عن الغوص والتصادم القاري تؤدي إلى تحوّل واسع للصخور الموجودة سابقًا- ونجد صخورًا متحوّلة تحوّلًا إقليميًّا.

يرتبط معظم الصخور الرسوبية بحركة الصفائح. ومع نمو الجبال من تصادم هذه الصفائح فإنها تبدأ تتأثر بالتجوية والتعرية، يتم نقل الرسوبيات المتكونة إلى المناطق المنخفضة حيث تترسب طبقة تلو الأخرى مكونة في النهاية صخرًا رسوبيًّا.

وفي النهاية، فإنّ الزلازل كلها والنشاط البركاني يمكن ربطها مباشرة بتكتونية الصفائح. هذه الاستجابات القوية لتفاعل الصفائح نجدها عند تفاعل الصفائح بشكل دائم تقريبًا؛ نجد الزلازل على امتداد أنواع حدود الصفائح جميعها، في حين تتركّز البراكين عند الحدود المتباعدة أو المتقاربة.

لذا فإن التفاعل التكتوني بين صفائح الغلاف الصخري الذي يحدث دائمًا على حدود الصفائح يفسر أصل السلاسل الجبلية، وتكوّن قاع المحيط وتدمره ، ووجود الأنواع الثلاثة من الصخور الموجودة على الأرض، والتوزع العالمي للزلازل والبراكين. تحدث الحركات الداخلية التي تغير سطح الأرض بشكل دوري. وباستخدام مبدأ النسقية- الحاضر مفتاح الماضي- يمكن لعلماء الأرض استخدام الاكتشافات في الخمسين سنة الماضية في بناء تاريخ الأرض.

ملخّص المصطلحات

الزلزال *(Earthquake)*: أو الاهتزاز أو الارتعاش للأرض عندما تتحرك صخور تحت الأرض أو تنكسر.

موجة جسمية *(Body wave)*: نوع من الموجات الزلزالية تتنقل داخل الأرض.

موجة سطحية *(Surface wave)*: نوع من الموجات الزلزالية تتنقل على سطح الأرض.

موجة أولية *(Primary wave)* (موجات *P*): موجات طولية جسمية تضغط وتمدد المادة التي تنتقل خلالها سواء أكانت صلبة أم سائلة أم غازية، وهي أسرع الموجات.

موجة ثانوية (Secondary wave): (موجات S) موجات جسمية مستعرضة تهتز من جانب إلى آخر، أو من أعلى إلى أسفل خلال المادة التي تتنقل فيها. ولا تسير في السوائل. لذا لا تسير في لب الأرض الخارجي.

انقطاع موهوروفتشك (Mohorovicic discontinuity) (موهو): الحد بين القشرة والستار. وهو علامة على زيادة سرعة موجات P في أثناء انتقالها نحو باطن الأرض.

اللبّ (Core): الجزء المركزي من باطن الأرض، ويقسم إلى لبّ داخلي صلب ولبّ خارجيّ سائل.
الستار (Mantle): الطبقة الوسطى من الأرض بين القشرة واللبّ.
الغلاف اللدن (Asthenosphere): قسم من الستار العلوي يقع تحت الغلاف الصخري وهو نطاق لدن سهل التّشوّه.
الغلاف الصخري (lithosphere): القشرة والجزء من الستار الذي يعلو الغلاف اللدن.
القشرة (Crust): طبقة الأرض الخارجية.
الاتزان (Isostasy): العملية التي تؤدي إلى حدوث توازن بين القشرة القارية والمحيطية بالنسبة إلى الستار- فالقشرة المحيطة العالية الكثافة تكون أعمق في الستار مقارنة بالقشرة القارية القليلة الكثافة.
الانجراف القاري (Continental drift): فرضية لألفرد فيجنر تنص على أن قارات الأرض متحركة، ووصلت إلى مواقعها الحالية نتيجة انقسام قارة بنجايا.
المغناطيسية القديمة (Paleomagnetism): مغناطيسية صخر قديمة تستخدم لمعرفة قطبية مجال الأرض المغناطيسي وموقع الصخر. وعند تكون الغلاف الصخري واستهلاكه.
توسع قاري المحيط (Seafloor spreading): ابتعاد صفيحتين محيطتين إحداهما عن الآخر على خط الانهدام في قاع المحيط.
تكتونية الصفائح (Plate tectonics): نظرية تنص على أن الغلاف الصخري مقسم إلى قطع (صفائح) تطفو فوق الغلاف اللدن؛ معظم الزلازل والبراكين توجد عند حدود الصفائح

حدود الصفائح المتباعدة (Divergent plate boundary): مكان تبتعد فيه صفائح الغلاف الصخري بعضها عن بعض؛ مركز توسع منطقة إجهاد شد؛ حيث يتم تكوين غلاف صخري جديد.
انهدام (حفرة انهدام) (Rift): فجوة طويلة رفيعة تتشكل نتيجة تباعد صفيحتين إحداهما عن الآخر.
حدود صفائح متقاربة (Convergent plate boundary): حدود صفائح، تتحرك الصفائح فيها بعضها نحو بعض، منطقة إجهاد ضغط حيث يتم استهلاك الغلاف الصخري في الستار أو تقليصه بالطّيّ والصدوع.
غوص (Subduction): عملية انحناء صفيحة تكتونية ونزولها تحت صفيحة أخرى عند الحدود المتقاربة.
حدود صفائح تحويلية (Transform plate boundary): حدود صفائح؛ حيث تتحرك صفيحتان أفقيًّا إحداهما بمحاذاة الأخرى دون حركة رأسية ملحوظة.
طيّة مقعرة (مقعّر) (Syncline): صخور مطوية حيث توجد الطبقات الأحدث في المركز، ويزداد عمر الصخور بالابتعاد عن المركز أفقيًّا.
طيّة محدّبة (محدّب) (Anticline): طيّ في الصخور بحيث تكون الصخور الأقدم في المركز، ويقل العمر بالابتعاد عن المركز أفقيًّا.
صدع (Fault): كسر تحدث عليه إزاحة ملحوظة لجانب من الصدع بالنسبة إلى الجانب الآخر.

أسئلة مراجعة

1.22 الموجات الزلزالية

1 . كيف تنتقل كلّ من موجات P و S في باطن الأرض؟
2 . هل تنتقل موجات S في السوائل؟
3 . اذكر اسم نوعي الموجات السطحية مع وصف حركة كل واحدة.

2.22 طبقات الأرض الداخلية

4 . ما مساهمة أندريه موهوروفتشك في علم الأرض؟
5 . كيف ساهمت الموجات الزلزالية في اكتشاف لبّ الأرض؟
6. ما الدليل على أن لبّ الأرض الداخلي صلب؟
7. ما الدليل على أن لبّ الأرض الخارجي سائل؟
8. صف الغلافين الصخري واللدن. ما الفرق بينهما؟
9. كيف تختلف القشرة القارية عن المحيطية؟
10. لماذا ترتفع القشرة القارية في الستار أعلى من القشرة المحيطية؟

3.22 الانجراف القاري – فكرة سبقت عصرها

11. ما الدليل الرئيس الذي استخدمه فيجنر لدعم فرضيته؟
12. افترض فيجنر أن قارات الأرض كانت مجتمعة في قارة واحدة. ما اسم هذه القارة؟

4.22 قبول فرضية الانجراف القاري

13. ما الدور الذي قامت به المغناطيسية القديمة لدعم الانجراف القاري؟
14. أين تقع أعمق مناطق المحيط؟
15. ما الاكتشاف الرئيس في قاع المحيط الذي حققه هيس؟
16. كيف يشبه قاع المحيط شريطًا مغناطيسيًّا بطيئًا؟
17. ما أوجه دعم توسع قاع المحيط لانجراف القارات؟

5.22 نظرية تكتونية الصفائح

18. صف أنواع الحدود الصفائحية الثلاثة.
19. ما أسباب حركة صفائح الغلاف الصخري؟
20. ما الانهدام؟
21 . ما نوع الحدود الفاصلة بين صفيحتي أمريكا الجنوبية وإفريقيا؟

22 -صف الأنواع الثلاثة من تقارب الصفائح.
23 -ما لصدع التحويلي؟

6.22 أدلة قارية لتكتونية الصفائح

24 -ما القوى التي تسبب الصخور المطوية: الضغط أم الشّدّ؟
25 -ميز بين الطيتين المحدبة والمقعرة.
26 -ما الفرق بين الصدعين العادي والعكسي؟
27 -أي أنواع الصدوع يتكوّن أساسًا من الشّدّ في القشرة الأرضية؟ وأيها ينتج عن ضغط القشرة؟
28 -ما التشوه المرن؟ ماذا يحدث عندما يتجاوز الإجهاد حدّ المرونة؟
29 -أين تتكون معظم براكين الأرض؟
30 -ما مصدر الطاقة الكبيرة في التسونامي؟

تمارين

لا تعبأ بالعدد الكبير من التمارين في هذا الفصل وفي غيره. إذا كان عليك تغطية العديد من الفصول، فإن مرشدك سيختار بعضها.

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● قارن بين كل من سرعة الموجات الأولية والثانوية. ما نوع المادة التي ينتقل خلالها كل نوع؟
2. ● اشرح كيف تدل الموجات الزلزالية على أن الوسط صلب أو سائل.
3. ● كيف تدل الموجات الزلزالية على التطبّق في باطن الأرض؟
4. ♦ ما الدليل على أن لبّ الأرض الداخلي صلب؟
5. ■ اشرح لماذا يكون الجزء السفلي من الغلاف الصخري صلبًا والغلاف اللدن لدنا، مع أنهما جزء من الستار؟
6. ■ مع أن اللبّين الخارجي والداخلي مكونان من حديد ونيكل إلا أن اللبّ الداخلي صلب والخارجي سائل. لماذا؟
7. ■ بماذا تخبرنا منطقة ظل الموجات المتكون بين 105 - 145 درجة الناتج عن الزلازل، عن مكونات الأرض؟
8. ● إذا كان الستار مكونًا من صخور، فكيف نقول إن القشرة تطفو فوق الستار؟
9. ■ لماذا يزداد سمك القشرة تحت الجبال؟
10. ■ أي القشرتين تمتد أكبر في الستار: القارية أم المحيطية؟
11. ♦ كيف تؤثر تعرية الجبال في عمقها في الستار؟
12. ■ صف كيف ساعدت منحنيات تجوّل القطب الظاهري على إثبات حركة القارات مع الزمن؟
13. ● لماذا تحدث معظم الزلازل على حدود الأنديز؟
15. ● ما نوع حدود الصفائح التي كونت جبال الأبلاش؟
16. ♦ لماذا تتكون الجبال في مناطق ضيقة طولية؟
17. ■ ما نوع حدود الصفائح التي تفصل صفيحة أمريكا الشمالية عن صفيحة إفريقيا؟
18. ♦ اربط تكون الصخور المتحولة بحدود الصفائح. هل تتوقع وجود صخور متحولة في الأنواع الثلاثة من حدود الصفائح؟ لماذا؟
19. ■ لماذا يتكون الجرانيت أكثر عند حدود التقارب المحيطي- القاري وأقل احتمالاً عند التقارب المحيطي- المحيطي؟
20. ♦ اذكر دليلاً على أن الغوص قد حدث مرة بعيدًا عن شاطىء كاليفورنيا.
21. ■ ميز بين الانجراف القاري وتوسع قاع المحيط.
22. ♦ هل أحواض المحيط الحالية مظاهر ثابتة؟ اشرح السبب.
23. ♦ هل القارات مظاهر ثابتة على كوكبنا؟ اشرح السبب.
24. ■ عند التبلور، فإن معادن محددة (الماجنتيت) ترتب نفسها في اتجاه المجال المغناطيسي الموجود في ذلك الوقت، موفرة أدلة مغناطيسية أحفورية. كيف دعمت مغناطيسية قاع المحيط انجراف القارات؟
25. ● عند تكون البلورات تصطف بعض المعادن، وأهمها المغناتيت، بجانب بعضها في اتجاه المجال المغناطيسي المحيط بها، وبالتالي تكون بقايا أحفورة مغناطيسية. كيف تدعم المحفوظات المغناطيسية في قعر البحار نظرية الانجراف القاري؟
26. ■ كيف يتم دعم الانجراف القاري وتوسع قاع المحيط عن طريق المغناطيسية القديمة؟
27. ● ما نوع الحدود المصاحبة لمراكز توسع قاع المحيط؟
28. ■ ماذا نقصد بانقلابات القطبية المغناطيسية؟ ما المعلومات المفيدة التي تقدمها لنا عن تاريخ الأرض؟
29. ● ما الشبه بين قشرة الأرض والحزام المتحرك؟
30. ● تنشأ الزلازل عن تحرر مفاجىء لطاقة تخزنت ببطء، وتسبب انكسار الصخور والصدوع، وتكون صدوعًا جديدة. اربط عملية التصدع هذه بحركة الانزلاق الأفقية بين صفيحتين. أين يحدث هذا النوع من الحركات؟
31. ● ما نوع الصدع المصاحب لزلزال ألاسكا 1964؟
32. ♦ يقيس مقياس مركالي شدة الزلزال، في حين يقيس مقياس رختر قوته. أيهما أدق؟ ولماذا؟

33. ■ ما السبب الأكثر احتمالًا لوجود المجال المغناطيسي للأرض؟
34. ■ يتم بناء صخور الغلاف الصخري وهدمها باستمرار. أين يحدث هذا البناء والهدم؟ هل معدل حدوث العمليتين متقارب؟
35. ● الغوص عملية نزول صفيحة تحت أخرى. لماذا يغوص الجزء المحيطي، أما القاري فلا يغوص ؟
36. ■ ما المظاهر التي يتم تفسيرها بتكتونية الصفائح؟
37. ● ضرب تسونامي كبير عام 1960م جزر هاواي دون تحذير؛ حيث دمر مدينة هاواي الساحلية. ومنذ ذلك الوقت، تم وضع محطات تحذير في المحيط الهادي. لماذا وُضعت هذه المحطات في المحيط الهادي؟
38. ■ كيف نشأت جبال الهملايا؟ كيف تكونت جبال الأنديز؟
39. ● ما المصدر الرئيس للزلازل في جنوب كاليفورنيا؟
40. ■ صف كيف يدعم وجود الصدوع والطّيّات أن صفائح الغلاف الصخري متحركة؟
41. ● تتكون الصدوع العكسية من قوى ضغط. أين نجد في أمريكا دليلاً على هذه الصدوع العكسية؟
42. ● تتكون الصدوع العادية من قوى شد. أين نجد في أمريكا دليلاً على هذه الصدوع العادية؟
43. ● تتكون صدوع المضرب من حركة أفقية. أين نجد في أمريكا دليلًا على هذه الصدع المضربية؟
44. ♦ إذا وجدت طبقات رسوبية في الميدان. فما الأدلة التي تبحث عنها لمعرفة ما إذا كان طيّة محدبة أم مقعرة؟
45. ■ هل حقيقة أن الستار تحت القشرة دليل على أن الستار أعلى كثافة من القشرة؟ اشرح.
46. ♦ اربط نشأة الماجما بحدود الصفائح. ما نوع الماجما المتكونة عند كل نوع حدود؟ كيف تكونت الماجما؟
47. ● اين توجد أطول سلسلة جبلية؟
48. ■ ما عمر المحيط الأطلسي؟
49. ■ ما نوع اللابة المتدفقة عند كلّ من الحدود المتباعدة والمتقاربة؟
50. ♦ ما الدلائل التي تبحث عنها لتعلم أن هذه كانت حدود صفائح قديمة ولكنها ليست كذلك الآن؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ♦ يزداد وزن قاع المحيط المؤثر في الغلاف الصخري بزيادة وزن مياه المحيط. ما الذي يسهم فيه وزن مياه عمقها 3 كم (كثافة 1 جم/سم^3) نسبة إلى وزن بازلت المحيط بسُمك 10 كم (كثافة 3جم/ سم^3)؟ وضح إجابتك بصورة نسبة مئوية من وزن القشرة.
2. ■ مقياس رختر لوغاريتمي، أي أن كل زيادة بمقدار 1 على مقياس رختر تقابلها زيادة بمقدار 10 في سعة الموجات الزلزالية المسجلة على السيزموجراف. ما عدد المرات في تأثير اهتزاز الأرض لزلزال بقوة 8 درجات على مقياس رختر مقارنة بزلزال قوته 6؟
3. ■ إذا علمت معدل الحركة على امتداد صدع، فإن مقدار الإزاحة في زمن معين يمكن حسابها من العلاقة:
السرعة = المسافة/الزمن
الحركة على صدع سان إندرياس هي 3.5 كم / سنة تقريبًا. فإذا بُني سياج عبر الصدع عام 1990م، فما المسافة بين جزأي السياج المنفصلين في عام 2010م؟
4. ■ يفصل صدع سان إندرياس صفيحة المحيط الهادي المتحركة شمال غرب، حيث توجد لوس أنجلوس عند صفيحة أمريكا الشمالية حيث توجد سان فرانسيسكو. إذا انزلقت الصفيحة بمعدل 3.5 سم/سنة، فكم سنة تحتاج المدينتان لتندمجا في مدينة واحدة كبيرة؟ (المسافة بين لوس أنجلوس وسان فرانسيسكو 600 كم)

أنشطة استكشافية

انظر إلى نافذة قديمة جدًّا، ولاحظ التأثير العدسي في الجزء السفلي من الزجاج. للزجاج خصائص صلبة وسائلة، وفي الواقع، كان يعتقد أنه سائل لزج جدًّا. ومع مرور الكثير من السنين، فإنه ينساب إلى أسفل بسبب الجاذبية بدليل زيادة سمك لوح الزجاج عند نهايته السفلى.

اربط هذه المشاهدة من السلوك اللدن في نقاشنا لتكتونية الصفائح. أي أجزاء الأرض يتصرف بلدونة؟ ما الأجزاء التي تعدّ قاسية؟ ما علاقة هذه الأفكار مع تكتونية الصفائح؟

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدًا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10. ولكن، إذا أجبت عن أقل من ذلك، فعليك القراءة أكثر قبل التقدم إلى الأمام.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤالٍ مما يلي:

1. تنشأ الماجما البازلتية في منطقة الحدود المتباعدة عن:
(أ) تبلور ماجما الستار.
(ب) الانصهار الجزئي للقشرة القارية.
(ج) الانصهار الجزئي لصخور الستار.
(د) إضافة الماء إلى صخور الستار.

2. فرضية الانجراف القاري غير مدعومة بـ:
(أ) توسع قاع المحيط.
(ب) المغناطيسية القديمة.
(ج) الاتزان.
(د) خدوش الجليد.

3. واحدة من الجمل التالية غير صحيحة:
(أ) يحوي الستار جزءًا من القشرة.
(ب) يحوي الغلاف الصخري القشرة كلّها.
(ج) يحوي الستار جزءًا من الغلاف الصخري.
(د) يحوي الستار الغلاف اللدن كلّه.

4. تزداد سرعة الموجات الزلزالية عندما:
(أ) تعبر سائلا.
(ب) تصبح الصخور أكثر كثافة وأقل قساوة.
(ج) تشكل منطقة ظل.
(د) تزداد مرونة الصخر.

5. الجزء من قشرة الأرض الأكثر كثافة هو:
(أ) القشرة المحيطية.
(ب) القشرة القارية.
(ج) الغلاف اللدن.
(د) الغلاف الصخري.

6. مصدر التسونامي عادة هو:
(أ) صفائح تكتونية متباعدة.
(ب) زلزال.
(ج) صفائح تكتونية متقاربة.
(د) بركان.

7. أسرع أنواع الموجات الزلزالية هي:
(أ) موجات لوف.
(ب) موجات *S*.
(ج) موجات *P*.
(د) موجات رالي.

8. سبب الزلازل هو:
(أ) الاحتكاك بين الصفائح المتباعدة.
(ب) التحرر المفاجىء للطاقة الذي خُزّن بشكل مرن في الصخور المشوهة.
(ج) تمدد قشرة الأرض
(د) الحركة الكلية للصفائح التكتونية.

9. يقدم توسع قاع المحيط القوة المحركة لانجراف القارات لأن:
(أ) أحدث قاع محيط يوجد بالقرب من القارات.
(ب) توسع المحيط يدفع القارات بعيدًا.
(ج) تيارات الحمل في الستار تسبب الانزلاق.
(د) الغوص يكوّن أحدث قيعان المحيطات.

10. يتم بناء غلاف صخري عند الحدود---- ويتم استهلاكه عند الحدود-----.
(أ) المتقاربة، المتباعدة.
(ب) المتباعدة، المتقاربة
(ج) المتباعدة، التحويلية.
(د) المتقاربة، التحويلية.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

1ج، 2ج، 3أ، 4ب، 5أ، 6ب، 7أ، 8ب، 9ج، 10ب

اكتشف المزيد

ما كفي، جون تجميع، كاليفونيا، نيويورك فرّار تراوس وجيروكس، 1993 سلسلة رودس ايد جيولوجي. (كثير من العناوين تغطي اجزاء مختلفة من أفريقيا الشمالية.) ميسواد، مونتانا: ماونتن برس.

http://pubs.usgs.gov/pv=ublications/text/dynamic.html

يشرح هذا الموقع، الحدث بصورة مستمرة، برعاية الولايات المتحدة، يشرح الصفائح التكتونية، والبراكين، والهزات الأرضية يوضع مفصل مع الرسومات، والصور. ويعتبر الموقع مصدر ممتاز للمعلومات التاريخية والنظرية العملية.

http://scign.jpl.nasa.gov/learn/pleat1.htm

الصفحة الرئيسة تحليل قسم الارض من جنوب كاليفورنيا المتكامل مع شبكة خدمات المسح الجوي العالمي لنموذج التربية. حيث توفر نموذج تربوي وأنشطة لطلاب المدرسة الثانوية وطلاب الكليات غير الجامعية. يغطي هذا الموقع المميز التفاعلي الصفائح التكتونية والهزات والأرضية.

http://www.tinynet.com/faults.html

يصف هذا الموقع أربعة أنواع مختلفة من الصدوع. كما يتضمن قوائم شاملة الروابط لمواقع جيولوجية مصفوفتاً المواقع المرتبطة بالهزات الأرضية.

http://earth.leeds.sa.uk/faults

يعتبر هذا الرابط مصدر جيد للمعلومات المفصلة حول انواع الصدوع المختلفة. يتضن الروابط معرض صور كبير للصدوع المختلفة. انقر أيقونة تعرف على الهيكل لتصفح الأقسام المختلفة من الموقع.

http://www.ucmp.berkeley.edu/geology/tectonics.html

يتضمن موقع القسم الجيولوجي من متحف جامعة بيركلي للأحافير في كاليفورنيا تاريخ الصفائح التكتونية.

الفصل 22 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 22.3

دروس تعليمية

- ستار الحمل الحراري والانتشار في قاع البحر
- الصفائح والحدود التكتونية

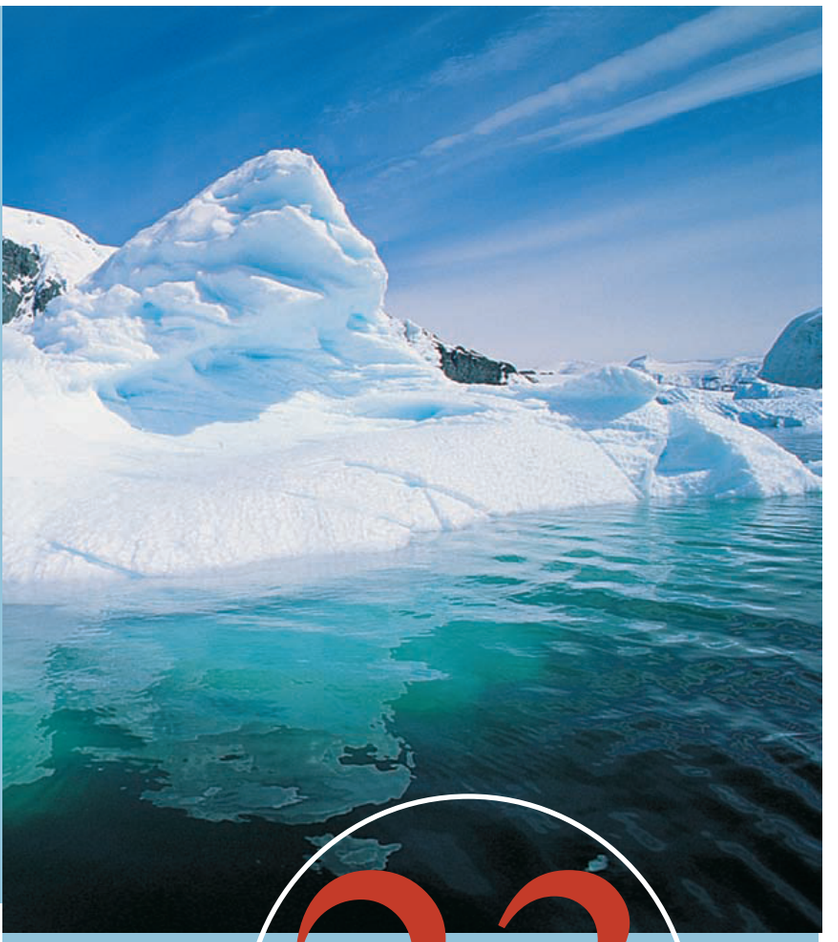
أشرطة فيديو

- الستار والقشرة
- مطيحة تكتونية
- الطيات والصدوع في القشرة الأرضية
- قصة صدع سان اندريا

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط



تشكيل سطح الأرض

23

1.23 دورة المياه

2.23 المياه الجوفيّة

3.23 عمل المياه الجوفيّة

4.23 المياه السّطحيّة وأنظمة التّصريف

5.23 عمل المياه السّطحيّة

6.23 الجليد والجليديّات

7.23 عمل الجليديّات

8.23 عمل الرّيح

■ تخيَّل نفسك تنظر إلى الأرض من الفضاء، وتستكشف سطحها. فماذا سترى؟ إنّ أول ما ستراه وتلاحظه أنّ معظم سطح الأرض مغطًّى بالماء (71%). وأمّا النسبة المتبقية 29% فهي عبارة عن قارات، تشكّلت سطوحها جرّاء عمليات التّعرية والنقل والتّرسيب.

يقوم الغلاف المائيّ والجوّيّ بدور في تشكيل سطح الأرض؛ فالماء والرّيح والجليد عوامل تقوم بمعظم هذا الدور. وسندخل لبحثنا عن سطح الأرض من خلال استكشاف كيفية تدفق هذه العوامل أولًا. ومن ثمَّ نتناول تأثيرها في سطح الأرض.

1.23 دورة المياه

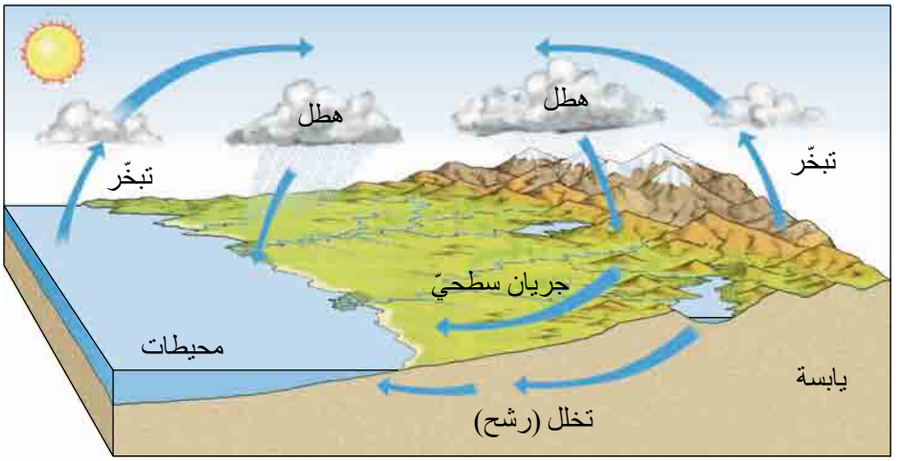
إنّ أكثر من 97% من مياه الأرض موجودة في المحيطات، وما يقارب من 2% متجمد عند الأقطاب. أما الباقي، وهو أقلّ من 1% فيتكون من بخار الماء في الغلاف الجوّيّ، والمياه الجوفيّة، ومياه الأنهار، والبحيرات.

تدور المياه على الأرض بشكل ثابت بفعل حرارة الشّمس وقوة الجاذبية. تقوم الطّاقة الشّمسيّة بتبخير مياه المحيطات، فتبدأ الدورة (الشّكل 2.23). يعمل التبخّر على نقل جزيئات الماء من سطح الأرض إلى الغلاف الجوّيّ، وقد يتم نقل الهواء الرطب مسافات طويلة بواسطة الرّياح. تتكثف بعض جزيئات الماء لتكوّن الغيوم، ثم تهطل على شكل مطر أو ثلج. وإذا نزل الهطل على المحيطات فقد اكتملت الدورة من المحيط إلى المحيط.

يكون اكتمال الدورة أكثر تعقيدًا عندما تسقط الأمطار على اليابسة؛ لأنّ الماء قد ينصرف إلى الجداول ثم الأنهار في رحلة العودة إلى المحيط. أو قد تتخلل المياه إلى جوف الأرض، أو تتبخّر عائدة إلى الغلاف الجوّيّ قبل عودتها إلى المحيط. كما أنّ المياه الهاطلة على اليابسة قد تصبح جزءًا من الجليديّات. ومع أنّ الجليد يحجز الماء لعدة سنين، إلّا أنّه ينصهر أو يتبخّر في النهاية ويعود إلى الدورة. هذه هي الدورة الطّبيعيّة للماء: من المحيطات إلى الهواء، ثمّ إلى الأرض، ثمّ إلى المحيطات، ومن ثم إلى الغلاف الجوّيّ؛ تلك هي **دورة المياه***.

يقوم بخار الماء بدور مهم في دورة المياه. تبقى الكمية الكلية لبخار الماء في الغلاف الجوّيّ ثابتة مع أن الغيوم تتشكّل باستمرار. وهذا يحدث إذا توازن التبخّر مع الهطل. ولأنّ معظم سطح الأرض محيطات، فمن المنطقي إذن أن يكون التبخّر والهطل أكبر فوق المحيطات. وفي الواقع، فإنّ 85% من بخار الماء في الغلاف الجوّيّ هو ماء تبخّر من المحيطات، و75% من بخار الماء في الغلاف الجوّيّ يهطل مرة أخرى على المحيطات. أما على اليابسة، فيزيد معدل الهطل على معدل التبخّر. إنّ 15% من بخار الماء في الغلاف الجوّيّ هو ماء تبخّر من اليابسة، و 25% منه هو ماء هطل على اليابسة مرة أخرى. وعليه، يبقى التوازن بين الماء الذي يدخل الغلاف الجوّيّ (85% من المحيطات و 15% من اليابسة)، والكمية التي تهطل من الغلاف الجوّيّ (75% إلى المحيطات و 25% إلى اليابسة)*.

الشّكل 1.23
توزع مصادر المياه في الأرض.



الشّكل 2.23
دورة المياه: يدخل الماءُ المتبخّر من سطح الأرض الغلافَ الجوّيّ على شكل بخار ماء، ثم يتكاثف إلى غيوم، ثم يهطل على شكل مطر أو ثلج، ومن ثمَّ يعود إلى السّطح، فيتبخّر مرة ثانية ويعود إلى الدورة مرة أخرى.

* هذا المبدأ من مبادئ الوقاية. تذكر في الفصل 3 أننا تعلمنا المحافظة على الآثار والطّاقة، وفي الفصل 9 تعلمنا المحافظة على الشحنات الكهربائية، في حين تعلمنا في الفصل 13 المحافظة على التفاعلات النووية. أما الآن، فنتعلم أنّ كمية الماء في الأرض محفوظة، وأنّ نقصها في مكان يعني توافرها في مكان آخر، وهو غالبًا المحيط.

الجدول 1.23 زمن إقامة مصادر الماء

الموقع	معدل مدة القامة
الغلاف الجوّيّ	1 – 2 أسبوع
المحيط	
أعماق ضحلة	100 – 150 سنة
أعماق كبيرة	30000 – 40000 سنة
القارات	
أنهار	2 – 3 أسابيع
بحيرات	10 – 100 سنة
مياه جوفيّة ضحلة	مئات السنين
مياه جوفيّة عميقة	آلاف السنين
جليديّات	10000 – 20000 سنة

يعدّ المطرُ أو الثّلج الذي يسقط على اليابسة المصدرَ الوحيدَ للمياه العذبة على الأرض. وقد حُجز أكثر من ثلاثة أرباع المياه العذبة في جليد الأقطاب. ومن المدهش أنّ المياه العذبة المتدفقة بحرية ليست موجودة في البحيرات والأنهار، ولكنها تحت سطح الأرض. وعند هطل المطر وتخلله داخل الأرض فإنه ينزل إلى الأسفل. بعض الماء المتخلل يعبئ المسامات بين حبيبات الرواسب. ويسمى المياه الجوفيّة (*Ground water*).

■ **نقطة فحص**

1. ما نسبة مصادر المياه العذبة على سطح الأرض؟
2. حجم الماء المتبخّر من اليابسة كلها 60,000 كم^3/ سنة، ولكن حجم المياه الهاطلة على اليابسة 96,000 كم^3/ سنة. إنّ كمية الماء الهاطلة أكبر بـ 36,000 كم^3/ سنة من المياه المتبخّرة . لماذا لا تحدث فيضانات على اليابسة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. أقلّ من 3% كما سترى عند جمعك للمصادر العذبة في الشّكل 1.23: جليديات 2.14% + مياه جوفيّة 0.61% + مياه سطحية 0.009% + رطوبة تربة 0.005% = 2.74%
2. الماء الزائد يأخذ طريقة إلى المحيط، وهو لا يسبب ارتفاع مستوى البحر؛ لأنّ نسبة التبخّر 85% أكثر من نسبة الهطل 75% بنسبة 10%. يبقى التوازن بين كمية الماء المتبخّرة والهاطلة فوق المحيطات (85% - 75% = 10%) والكمية المتبخّرة والهاطلة فوق اليابسة (25% - 15% = 10%).

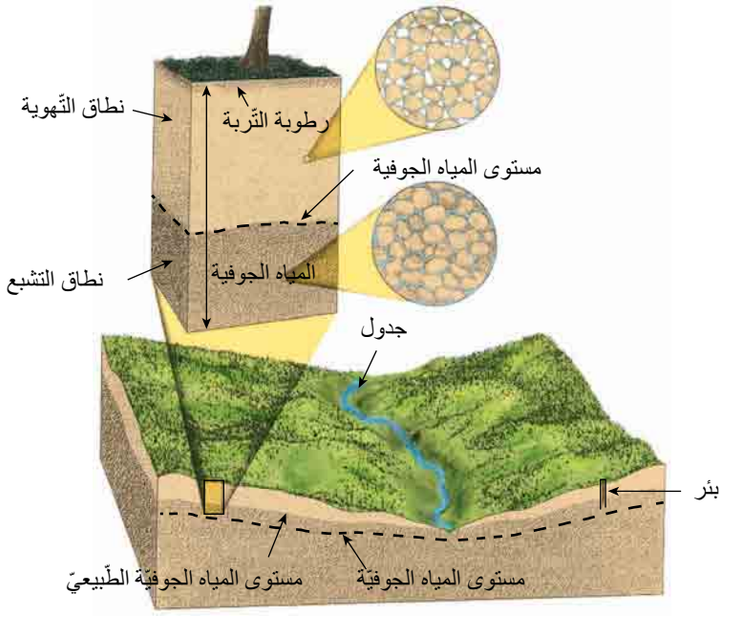
■ 2.23 المياه الجوفيّة

الماء السّائل في البحيرات، والبرك، والأنهار، والجداول، والينابيع، وبرك الوحل، هي المياه الوحيدة العذبة التي تراها بعينيك، ولكن هذه المصادر جميعها تشكّل 1.5% من الماء العذب غير الجليدي. وما تبقى وهو 98.5% موجود في المسامات تحت سطح الأرض.

يوجد الماء تحت السّطح في صورة مياه جوفيّة *ورطوبة تربة*. وتوجد هذه المياه الجوفيّة في *نطاق التشبع*، وهي المنطقة تحت السّطحيّة حيث المسامات جميعها مليئة بالماء (الشّكل 3.23).

لمعلوماتك

■ زمن إكمال كمية معينة من الماء للدورة يسمى *مدة الإقامة*: أي متوسط الزّمن الذي يمكن لجزيء ماء أن يقضيه في منطقة محددة. للماء في الجليديّات والأقطاب مدة إقامة طويلة. ولأهداف عملية، فإنّ مدة إقامة آلاف السنين للمياه الجوفيّة العميقة تعني أننا إذا استنزفناها فإنها لن تعود؛ الماء مصدر طبيعي ثمين.



الشّكل 3.23

يقع نطاق التّهوية فوق نطاق التشبع.
لا يملأ الماء الفراغات كليًّا في نطاق التّهوية. ويسمى رطوبة التربة. أمّا الماء في نطاق التشبع فيملأ المسامات كليًّا ويسمى المياه الجوفيّة.

لمعلوماتك

- كما سترى، فإنّ الماء والرّيح والجليد عوامل مهمة في تشكيل سطح الأرض. كما تؤدي الجاذبية دورًا مهمًّا في تغيير الأرض. تسمى حركة الصخور والتربة بتأثير الجاذبية *انزلاقًا أرضيًّا*. يؤدي تضافر الانزلاقات الأرضية وحركة المياه إلى تكوين المجاري المائيّة؛ المياه تحفر المجرى، والانزلاقات توسعه. ومن الأمثلة الرئيسة على ذلك الأخدود العظيم Grand Canyon. لقد ساعدت المياه على حدوث الانزلاقات، ولكن الجاذبية بقيت القوة المسيطرة.

يقع نطاق التّهوية *فوق نطاق التشبع*، حيث توجد رطوبة التربة. الفراغات في نطاق التّهوية غير مملوءة بالماء تمامًا؛ لأنها تحوي كمية كبيرة من الهواء. وكما هو حال الماء في بركة سباحة، فإنّ الضّغط في المياه الجوفيّة يزداد مع العمق. وكما يمكننا ضخّ الماء من بركة السباحة، فإنه يمكننا ضخّ الماء من المياه الجوفيّة أيضًا. إلا أنّ وجود الهواء في المسامات يمنع سحب الماء من نطاق التّهوية.

هل لاحظت في أثناء نزول المطر أنّ الأرض الرملية تمتص الماء كالإسفنج؟ في الواقع، يختفي الماء في الأرض. تؤثر نوعية المادة السّطحيّة في كمية الماء التي تذهب إلى داخل الأرض. فبعض أنواع التربة، كالرمل، تمرر المياه إلى جوف الأرض بسهولة. ولكن هناك أنواع ترب أخرى، كالتربة الطينية مثلًا، لا تسمح للماء بالمرور. إنّ السّطوح الصّخريّة التي تحوي تربة قليلة أو لا تحوي هي أضعف السّطوح امتصاصًا للماء، حيث يتخلل الماء فقط من الشقوق في الصخر. ويتدفق الماء الذي لا يرشح إلى الأرض حيث يجد طريقه أخيرًا إلى الأجسام المائيّة كالبحيرات أو الأنهار، أو قد يتبخّر.

تعتمد كمية الماء التي يمكن جمعها تحت الأرض على مسامية التربة أو الصخر في ذلك المكان. المسامية(*Porosity*) هي حجم الفراغات في التربة، أو الرّسوبيّات، أو الصخر مقارنة بالحجم الكلي للصخر والمسامات. تعتمد المسامية على حجم حبيبات التربة أو الرّسوبيّات وشكلها ومدى تراصها. فمثلاً، التربة المكونة من حبيبات دائرية صغيرة تحوي مسامية أكبر من التربة المكونة من حبيبات دائرية مختلفة الأحجام؛ لأنّ الحبيبات الصغيرة تملأ الفراغات بين الحبيبات الكبيرة، وعليه تقلّل المسامية الكلية للتربة.

المسامية هي مقياس لحجم الفراغات تحت سطح الأرض. لذا، فإنها تمثل الكمية الأكبر من المياه الجوفيّة في منطقة معينة. ولكن المسامية لا تخبرنا عن كيفية حركة المياه الجوفيّة. **الموصليّة الهيدروليكية *(Hydraulic conductivity)*** – وهي مقياس للنفاذية- هي التي تخبرنا عن درجة قدرة مادة جيولوجية على تمرير الماء. فإذا كانت الفراغات صغيرة جدًّا وغير متصلة جيدًا (كما هو حال حبيبات الطين المسطحة) فإنّ الماء يتحرك بصعوبة. وللمقارنة: فكّر في هذا كما يلي:

فهم العلوم الطّبيعيّة

■ **المسامية**

تخبرنا المسامية عن نسبة الفراغات إلى كامل حجم التربة، أو الرّسوبيّات أو الصخر.

$$\text{المسامية} = \frac{\text{حجم الفراغات}}{\text{حجم الفراغات + حجم المادة الصلبة}}$$

مسألة

إذا كان حجم المادة الصلبة في الرّسوبيّات 975 سم^3، وحجم الفراغات 325سم^3. فما المسامية؟

الحل:

$$\text{المسامية} = \frac{325 \text{ سم}^3}{325 \text{ سم}^3 + 975 \text{ سم}^3}$$

$$= 0.25$$

لذا، فإنّ حجمَ الفراغات ربعُ الحجم الكلي فقط.

تساوي الموصليّة الهيدروليكية – أو النفاذية- للطين صفرًا تقريبًا. على الرغم من أن مسامية معظم أنواع الطين عالية. وعلى النقيض من ذلك، فإنّ الرمل والحصى لهما مسامات كبيرة مفتوحة ومتصلة جيدًا. ويتحرك الماء بحرية من فراغ إلى آخر. لذلك، فإنّ للرمل والحصى مسامية ونفاذية عاليتين (الشّكل 4.23).

■ **نقطة فحص**

لماذا تعدّ التربة الرملية أفضل لسريان الماء من التربة الطينية؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يتحرك الماء بسهولة خلال التربة الرملية لأنها مكونة عادة من حبيبات دائرية. وتحوي مسامات كبيرة متصلة. لذا، فإنّ التربة الرملية ذات نفاذية كبيرة. ونقول الشيء نفسه عند الحديث عن الموصليّة. لا يتحرك الماء بسهولة في التربة الطينية؛ لأنّ الطين يتكوّن من حبيبات مسطحة مع مسامات صغيرة غير متصلة. ولهذا، فإنّ للتربة الطينية موصلية مائية ضعيفة. إنّ جريان الماء أسهل في التربة ذات الموصليّة المائيّة العالية.

(أ)

(ب)

الشّكل 4.23

المسامية والنفاذيّة

(أ) حبيبات الرّسوبيّات في الطين صغيرة وفراغاتها ضعيفة التواصل. وعليه، فإنّ للطين مسامية عالية ونفاذية قليلة (توصيل مائيّ ضعيف).

(ب) حبيبات الرّسوبيّات في الرمل أو الحصى ذات شكل وحجم متناسق تقريبًا مع مسامات كبيرة متصلة. يسمح ذلك للماء بالتدفق بسهولة. لذا فإنّ مسامية ونفاذية الرمل والحصى مرتفعتان.

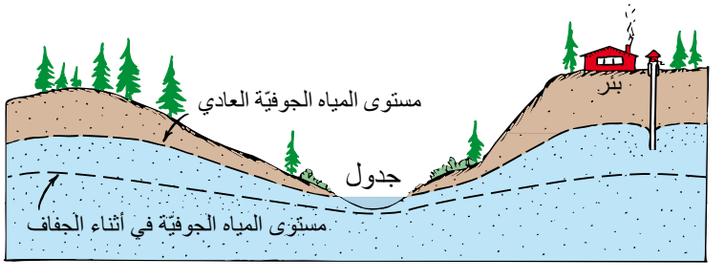
مستوى المياه الجوفيّة (The water table)

عند حفر حفرة في الأرض، فسنجد أنّ رطوبة التربة تختلف مع العمق. تحت السّطح مباشرة، يوجد نطاق التّهوية؛ حيث المسامات مملوءة جزئيًّا بالماء (الشّكل 3.23). ومع النزول أكثر، فإننا نصل نطاق التشبع حيث المسامات مملوءة كليًّا بالماء. إذا كانت الحفرة في نطاق التّهوية فإنها لا تمتلئ بالماء. أما إذا كانت الحفرة أعمق وفي نطاق التشبع فإنها تُملأ بالماء جزئيًّا. يسمى الحد العلوي لنطاق التشبع مستوى **المياه الجوفيّة** (الشّكل 3.23). يمثل مستوى الماء في الحفرة مستوى المياه الجوفيّة. وفي الواقع، فإنّ مستوى المياه في الحفرة هو مستوى المياه الجوفيّة في المنطقة.

يختلف عمق مستوى المياه الجوفيّة تحت سطح الأرض مع الهطل والمُناخ. ويتراوح بين صفر في المستنقعات إلى مئات الأمتار في بعض أماكن الصحراء. كما أنّ مستوى المياه الجوفيّة يرتفع وينخفض مع طبوغرافية سطح الأرض (الشّكل 5.23). وفي البحيرات والجداول الدائمة الجريان يكون مستوى المياه الجوفيّة فوق سطح الأرض.

الشّكل 5.23

يوازي مستوى المياه الجوفيّة سطح الأرض تقريبًا. في وقت الجفاف، ينخفض مستوى المياه الجوفيّة مما يقلل تدفق الجداول ويجفف الآبار. كما ينخفض مستوى المياه الجوفيّة إذا كان معدل ضخّ الماء من البئر أكبر من معدل تعويض المياه الجوفيّة.



الخزّانات الجوفيّة والينابيع (Aquifers and springs)

تسمّى أيُّ منطقة تحوي ماء تحت الأرض حيث يمكن للماء أن يتحرك *خزّانًا جوفيًّا*. توجد هذه الخزّانات تحت سطح الأرض في العديد من المناطق. وتحوي كميات جيدة من الماء. أكثر من نصف مساحة اليابسة في أمريكا تحوي خزّانات مائية تحت السّطح. ومن هذه الخزّانات خزّان أوجالالا الذي يمتد من جنوب داكوتا إلى تكساس، ومن كولورادو إلى أركنساس.

حتى الآن، فإننا نناقش *الخزّانات غير المحصورة*. في الخزّانات غير المحصورة، تكون التربةُ والرّسوبيّات فوق مستوى المياه الجوفيّة ذات نفاذية عالية، *مما يسمح بالمياه بالتغذية* – عملية تخلل الماء إلى أسفل الأرض- ومن ثمّ إلى الخزّان. وعلى الأقل، فإنّ الخزّانات جميعها غير محصورة جزئيًّا، كما في الشّكل 6.23.

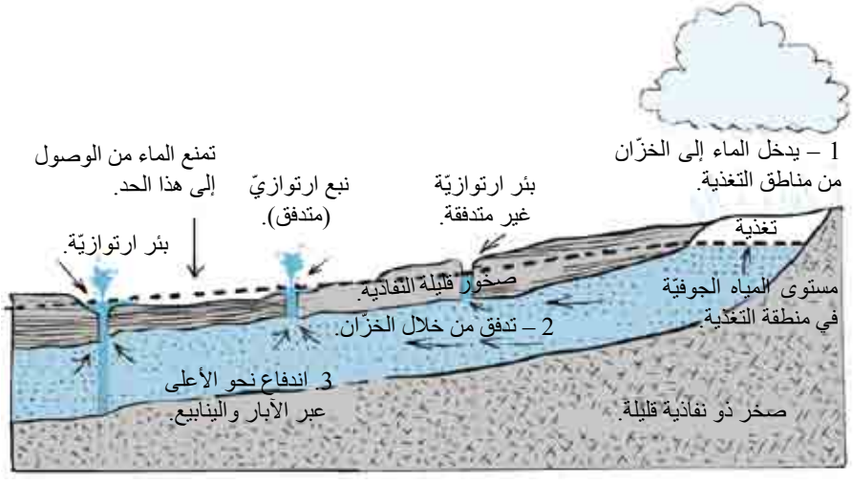
أما النوع الآخر من الخزّانات فهو الخزّان *المحصور*. يعدّ الخزّان محصورًا إذا كان بين طبقتين مستمرتين بنفاذية منخفضة (الشّكل 6.23). توجد الطبقات المحصورة في الرّسوبيّات الحاوية على تتابع طبقات رمل وطين، أو تتابع حجر رملي وغضار. في الخزّانات المحصورة لا تتم التغذية من الأعلى مباشرة ؛ لأنّ الماء لا يتخلل الطبقة الحاجزة. ولكن التغذية الطّبيعيّة للخزّانات المحصورة تأتي فقط من الجزء غير المحصور من الخزّان على ارتفاعات عالية.

وكما تعلمنا في الفصل 5، فإنّ الضّغط في الماء يعتمد على ارتفاع الماء فوقه. ويكون الماء في كلّ مكان في الجزء المحصور من الخزّان تحت مستوى المياه الجوفيّة في منطقة التغذية. لذا فإنّ المياه الجوفيّة في الخزّان المحصور – تحت ضغط المياه فوقه- يتدفق من خلال الفتحات في الارتفاعات المنخفضة.

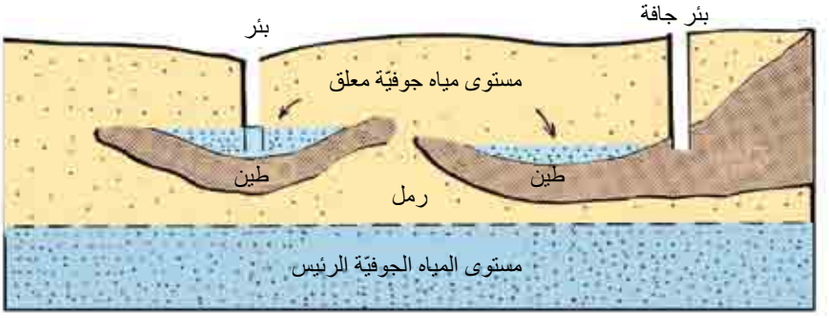
هل تريد رؤية مستوى المياه الجوفيّة؟ معظم البحيرات والبرك هي مناطق يكون فيها سطح الأرض تحت مستوى المياه الجوفيّة.

الشّكل 6.23

يتكون النّظام الأرتيزي (التلقائيّ التّدفّق) عندما ترتفع المياه الجوفيّة في خزّان محصور إلى السّطح من خلال فتحة فيه. يتدفق الماء بحرية إذا كان مستوى المياه الجوفيّة في منطقة التغذية أعلى من مستوى الفتحة (بئر ارتوازيّة متدفقة وينبوع ارتوازيّ). إذا كان ارتفاع الفتحة أعلى من ارتفاع مستوى المياه الجوفيّة في منطقة التغذية فإنّ الماء لا يتدفق (بئر ارتوازيّة غير متدفقة).



* يطلق الجيولوجيون على هذه الطبقات أكيوترز.



الشّكل 7.23
مستوى المياه الجوفيّة المعلق مفصول عن مستوى المياه الجوفيّة الرئيس من خلال طبقة عازلة، هي الطين في هذه الحالة.

هذا هو *النّظام الارتوازيّ (Artesian system)*. إذا كانت الفتحة طبيعية، وكان تدفق الماء إلى السّطح فيسمى *نبعًا ارتوازيًا*. ولكن إذا حُفرت الفتحة فتسمى بئرًا ارتوازيّة. بعض الآبار الارتوازيّة تدفع الماء عشرات الأمتار في الهواء عند حفرها أول مرة.

قد تعترض طبقات غير متصلة وقليلة النفاذية في خزّان غير محصور حركة المياه الهابطة فوق مستوى المياه الجوفيّة. وفي هذه الحالة يتكون الخزّان الجوفيّ المعلق (الشّكل 7.23).

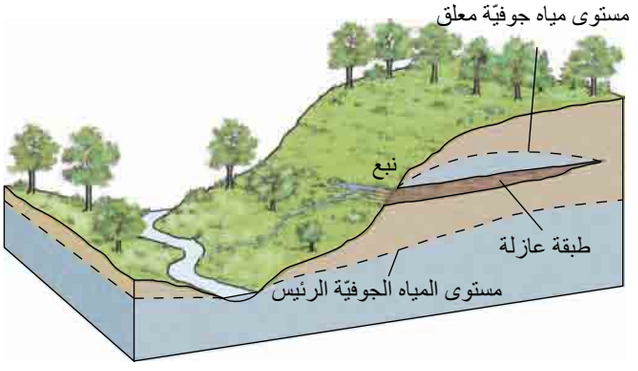
عند تقاطع سطح الأرض مع مستوى المياه الجوفيّة، فإنّ المياه الجوفيّة تظهر من الخزّان على شكل نبع، أو جدول، أو بحيرة (الشّكل 8.23). وقد توجد الينابيع عند تقاطع مستوى المياه الجوفيّة (أو المستوى المعلق) مع السّطح فجأة كجانب جبل، أو جرف على الشّاطىء. ولأنّ الماء يميل إلى أن يتسرب خلال الشقوق والكسور في الصخور، فإنّ الينابيع عادة ما تصاحب الصدوع. وفي الواقع، يحدد الجيولوجيون الصّدوع في الميدان من خلال تحديد مواقع الينابيع.

■ نقطة فحص

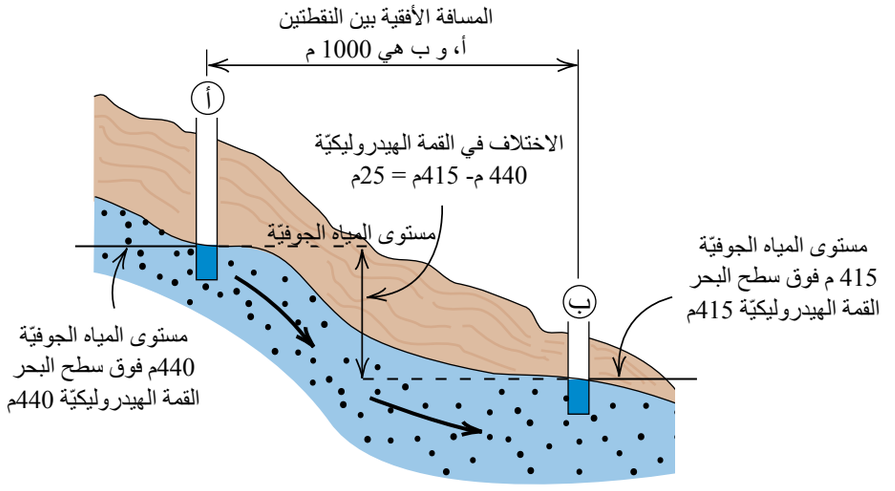
1. ما الخزّان الجوفيّ؟
2. ما الظروف الرئيسة اللازمة لتكوّن نظام ارتوازي؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. الخزّان الجوفيّ هو جسم صخريّ أو جسم رسوبيّ تتحرك خلاله المياه بسهولة.
2. الظرف الرئيس اللازم لوجود نظام ارتوازي هو وجود طبقات عازلة. تسمح هذه الطبقات العازلة للمياه الجوفيّة الموجودة في الخزّانات المحصورة أنْ تصبح تحت ضغط أعلى من الخزّان غير المحصور. ويؤدي هذا إلى ارتفاع الماء فوق أعلى الخزّان المحصور في الفتحات الطّبيعيّة أو التي من صنع الإنسان.



الشّكل 8.23
عند تقاطع مستوى المياه الجوفيّة مع سطح الأرض، فإنّ المياه الجوفيّة تتحرر. تتحرر المياه من مستوى المياه الجوفيّة المعلق على شكل ينبوع؛ أما من مستوى المياه الجوفيّة الرئيس فتخرج المياه على شكل جدول.



الشّكل 9.23

الممال الهيدروليكيّ هو الفرق بين الارتفاع الهيدروليكيّ بين موقعين مقسومًا على المسافة الأفقية بين الموقعين. في هذا المثال لدينا:

$$\frac{\text{440م-415م}}{\text{1000م}}$$

حركة المياه الجوفية (Ground Water Movement)

إنّ ارتفاع مستوى المياه الجوفيّة فوق مستوى معين- عادة مستوى سطح البحر- يسمى *القمة الهيدروليكية*. وهذا هو الارتفاع نفسه الذي ترتفع إليه المياه في بئر محفورة في خزّان غير محصور (الشّكل 9.23). وتذكر في الفصل 5 أنّ ضغط السوائل مكافئ لعمق السّائل. وعليه، كلما زاد ارتفاع القمة الهيدروليكية فوق مستوى معين، زاد ضغط الماء في هذا الموقع. يدعى الانحدار في مستوى المياه الجوفيّة *الممال الهيدروليكي*. ويمكن تمثيله كأيّ منحدر "الارتفاع على المسافة" أو في هذه الحالة الفرق بين القمة الهيدروليكية في نقطتين مقسومًا على المسافة الأفقية بينهما.

تتحرك المياه الجوفيّة استجابة لاختلاف الضغط – تتحرك من القمة العالية إلى القمة المنخفضة. لذا، فإنّ حركة المياه الجوفيّة في خزّان جوفيّ تعتمد على الممال الهيدروليكي. ويمكن تمثيل ذلك بـ:

معدل حركة المياه الجوفيّة ~ الممال الهيدروليكي (Hydraulic gradient)

كما يعتمد معدل الحركة على التوصيل الهيدروليكي للتربة والمقطع المساحي للخزّان. يكون المقطع المساحي للخزّان دائمًا متعامدًا مع اتجاه الحركة. (مثل أنبوب الماء، حيث إن المقطع المساحي هو دائرة تمثل قطر الأنبوب). تكون قيم التوصيل الهيدروليكي مرتفعة في الحصى ومنخفضة في الرمل الناعم أو الغرين. وعند إيجاد التوصيل الهيدروليكي والمقطع المساحي، فيمكن التعبير عن العلاقة السابقة بدقة من خلال المعادلة الآتية:

معدل حركة المياه الجوفيّة = التوصيل الهيدروليكيّ × المقطع المساحيّ × الممال الهيدروليكيّ

وقد وُضعت هذه المعادلة من قبل المهندس الفرنسي هنري دارسي عام 1856م، وتسمى *قانون دارسي*.

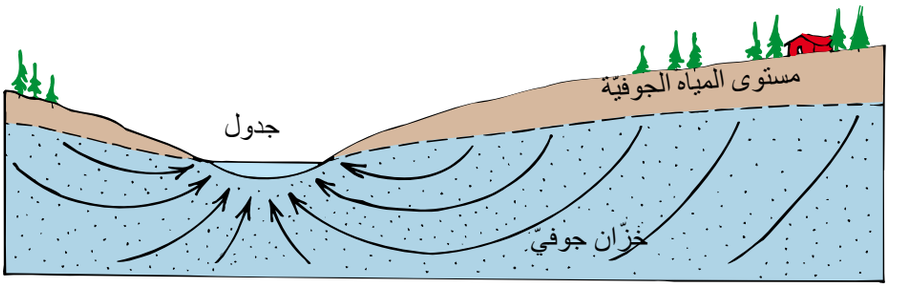
تؤدي الطبوغرافية دورًا رئيسًا في حركة المياه الجوفيّة؛ لأنها تخلق الممال الهيدروليكي. تتحرك المياه الجوفيّة من المناطق التي يكون فيها مستوى المياه الجوفيّة مرتفعًا إلى المناطق التي يكون فيها المستوى منخفضًا، أي أنها تتحدّر (الشّكل 10.23).

إنّ سرعة حركة المياه الجوفيّة، بصورة عامة، بطيئة جدًّا مقارنة بسرعة حركة الأنهار والجداول. وكلما زادت نفاذية الخزّان الجوفيّ زادت السّرعة، وكلما زاد الممال الهيدروليكي زادت السّرعة أيضًا.

لمعلوماتك

- تتحرك حركة المياه الجوفيّة، والحرارة، وتيار الكهرباء كلّها استجابة لاختلاف الضّغط.

يعدّ اتصال مفاهيم مختلفة بالمفهوم نفسه أمرًا مناسبًا.



الشّكل 10.23
تتحرك المياه الجوفيّة من مناطق القمة الهيدروليكية العالية كقاعدة جبل مثلًا، إلى مناطق القمة الهيدروليكية المنخفضة كأسفل مجرى جدول مثلًا. الأسهم المنحنية تدلّ على الحركة، مما يوضح أنّ النّهر يُغذّى من أسفل.

يمكن قياس سرعة حركة المياه الجوفيّة ومسارها عن طريق وضع صبغة في بئر، ومراقبة الزمن الذي تحتاج إليه للانتقال إلى البئر المجاورة. في معظم الخزّانات الجوفيّة، تكون سرعة المياه الجوفيّة عدة سنتمترات في اليوم، مما يكفي لإبقاء الخزّان الجوفيّ ممتلئًا.

3.23 عمل المياه الجوفيّة

تسبب المياه الجوفيّة المتحركة – بصرف النظر عن مقدار بطئها – تغيرات كبيرة في الأرض. ويمكن لهذه التغيرات أن تحدث بسبب تدخّل البشر أكثر من حدوثها في حال عدم تدخّلهم.

هبوط الأرض

تحفر معظم الآبار بحيث يمكن ضخّ المياه الجوفيّة من الأرض. في المناطق التي يكون فيها ضخّ المياه الجوفيّة كبيرًا، فإنّ سطح الأرض ينخفض – يهبط.

فهم العلوم الطّبيعيّة

قانون دارسي

بمعرفة أبعاد الخزّان الجوفيّ، وتوصيله الهيدروليكي، والقمة الهيدروليكية في بداية الخزّان ونهايته ، فإنه يمكن استخدام قانون دارسي لحساب معدل حركة المياه الجوفيّة. مرة أخرى، ينصّ قانون دارسي على أنّ

معدل حركة المياه الجوفيّة = التوصيل الهيدروليكي × المقطع المساحي × الممال الهيدروليكي.

افترض وجود خزّان جوفيّ طوله 10كم بين بحيرتين. تم قياس مقطع متعامد مع الطول، أي مقطع مساحي 200000 م^2. ارتفاع المياه في بحيرة أ 215 م فوق سطح البحر. وارتفاع سطح المياه في بحيرة ب 210م فوق سطح البحر. التوصيل الهيدروليكي للخزّان 10م/ اليوم.

السّؤال الأول:
ما الممال الهيدروليكي للخزّان؟

السّؤال الثاني:
ما معدل حركة المياه الجوفيّة في الخزّان؟

حلّ السّؤال الأول:
سطح البحيرة يعطينا موقعين نعرف منهما القمة الهيدروليكية. في البداية، علينا معرفة المسافة والارتفاع الهيدروليكي بوحدات القياس نفسها.

$$10 \text{ كم} \times \frac{1000 \text{م}}{1 \text{كم}} = 10000 \text{م}$$

$$\text{ثم الممال الهيدروليكي} = \frac{210 \text{م} - 215 \text{م}}{1000 \text{م}} = 0.0005 \text{ (يتم حذف الوحدات)}$$

حل السّؤال الثاني:
معدل حركة المياه الجوفيّة =
$10 \text{م/يوم} \times 200000 \text{ م}^2 \times 0.0005 = 1000 \text{ م}^3\text{/يوم}$

الشّكل 11.23
برج بيزا المائل. بدأ البناء فيه عام 1173، ثم توقف عندما لاحظوا أنّ الأساسات غير مناسبة. ومن ثمّ استكمل العمل به والانتهاء من بنائه بارتفاع 60 م بعد 200 سنة. الانحراف عن العمودي هو 4.6 م. ثبتت أساسات البرج من خلال إدارة معدل سحب المياه الجوفيّة، لذا فإنّ البرج الآن سيبقى ثابتًا لسنوات.

إنّ مشكلة الهبوط تكون أبرز ما يمكن عندما تتكوّن المواد تحت السّطح من تتابع سميك من رسوبيات غير متماسكة جيدًا وليس صخرًا. ومثل هذا التتابع عادة ما يحوي طبقات طينية حاملة للماء وقليلة التّراصّ، محصورة بين طبقات رملية متتابعة في خزّان جوفيّ رمليّ. تذكّر أنّ الطين له توصيل هيدروليكي منخفض. ومع ضخّ الماء من الخزّان، فإنّ الماء يتسرب ببطء من طبقات الطين ليعوض الخزّان بعض مائه الذي تستمر منه عملية الضّخ. ومع فقدان الطين للماء، فإنه ينكمش ويؤدي إلى هبوط سطح الأرض.

إنّ برج بيزا المائل في إيطاليا هو أشهر مثال معروف عن هبوط الأرض؛ حيث بني على رسوبيات غير متماسكة من نهر أرنو. وبمرور السّنين، أدت عملية ضخّ المياه الجوفيّة إلى الهبوط وزيادة ميل البرج (الشّكل 11.23). وفي الولايات المتحدة، ضُخّت كمية كبيرة من المياه الجوفيّة للرّي في وادي سان جوكوين في كاليفورنيا. وقد أدت هذه العملية إلى انخفاض مستوى المياه الجوفيّة 75م في 20 سنة، مما أدى إلى انخفاظ سطح الأرض 9م (الشّكل 12.23). ولأنّ مياه الرّي أصبحت الآن توزع بالقنوات، فإنّ الخزّانات الرّملية بدأت تتغذى ببطء، غير أنّ معظم الهبوط الناجم عن تراصّ طبقات الطين على الطبقات الطينية لا يمكن عكسه.

الشّكل 12.23
سطح الأرض في وادي سان جوكين في كاليفورنيا انخفض 9 م (30 قدمًا) خلال 50 سنة بسبب ضخّ المياه الجوفيّة ورصّ الرّسوبيّات.

■ **نقطة فحص**

لماذا تهبط الأرض في المناطق التي تحتوي على طبقات طينية تحت الأرض بين طبقات خزّان رملي؟

هل كانت هذه إجابتك؟

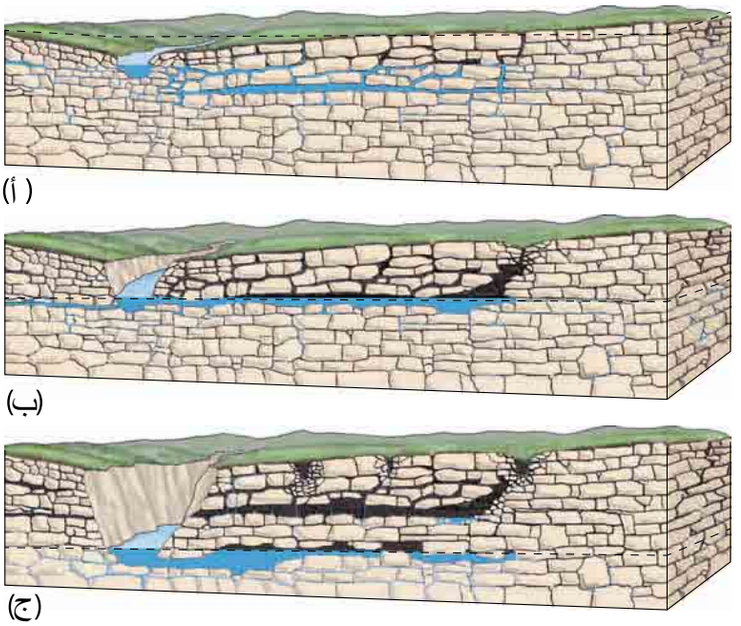
تخسر الطبقات الطينية الماء، وتتراصّ مع ضخّ المياه من الخزّانات المجاورة. ويؤدي هذا التّراصّ إلى هبوط الأرض.

ذوبان الكربونات (Carbonate dissolution)

يتم تخزين المياه الجوفيّة في رسوبيات حجارة جيرية كثيرة توجد تحت ملايين الكيلومترات المربعة من سطح الأرض. ولكن المياه الجوفيّة تأكل ببطء الحجر الجيري المستضيف لها. وتذكر من الفصل 20 أنّ الحجر الجيري مكوّن من معدن الكالسيت $CaCO_3$. تتفاعل مياه الأمطار مع ثاني أكسيد الكربون في الهواء والتربة فتكوّن حمض الكربونيك. وعندما ترشح إلى الحجر الجيري أسفل، فإنّ المياه الجوفيّة الحمضية قليلا تبدأ في إذابة الصخر جزئيًّا.ومع استمرار إذابة الحجر الجيري، فإنه يكوّن مظاهر حتّ غير عادية مثل الحفر الغائرة sinkhole والكهوف. لا توجد الأنهار تحت السّطحيّة إلا في الحجر الجيري. أمّا في الصخور الأخرى والتربة، فإنّ المياه الجوفيّة توجد في المسامات، وليس في قنوات كبيرة مفتوحة.

الكهوف والمغارات لقد نحتت عملية الإذابة بالمياه الجوفيّة كهوفًا ومغارات أخّاذة. تتحرك المياه الجوفيّة في خزّانات الحجر الجيري غالبًا خلال الشقوق في الصخر وليس خلال المسامات. تتحرك مياه الأمطار (الغنية بحمض الكربونيك) المترشحة إلى الحجر الجيري نحو الأسفل خلال الشّقوق لتصل منسوب المياه الجوفيّة. وتذيب الصّخور خلال طريقها. ومع حركة المياه الجوفيّة إلى مخرجها، فإنّ المياه الحمضية نسبيًّا تذيب الحجر الجيري المحيط. فتوسع الشّقوق، وتكوّن كهوفًا وقنوات تحت الأرض (الشّكل 13.23 أ).

ماء النّهر حمضي أيضًا، ويعمل على إذابة قناة النّهر وتعميقها، في حين تعمل المياه الجوفيّة على توسعة الكهوف. ومَعَ نزول مستوى كلّ من المياه الجوفيّة والنّهر، فإنّ الماء يتمّ تصريفه من المجموعة الأولى من القنوات والكهوف.



الشّكل 13.23

يبدأ تكون الكهوف بطبقة من الصخور الكربونية ومياه جوفيّة حمضية قليلًا وفترة زمنية طويلة. (أ) تأخذ المياه الجوفيّة طريقها إلى جدول. (ب) ينخفض منسوب المياه الجوفيّة مع تعمق الوادي النّهري بسبب التعرية. يتم تآكل صخور الكربونات بسبب تعرضها للتعرية في المياه الحمضية، وتبدأ الشقوق الموجودة تكبر بحيث تتحول إلى كهوف صغيرة. (جـ) ومع تعمق الوادي أكثر، ينخفض منسوب المياه الجوفيّة أكثر وتتخلل المياه نحو الأسفل تاركة كهفًا فارغًا فوق مستوى مياه جوفيّة منخفض.

تستمر المياه الجوفيّة بإذابة الحجر الجيريّ مكونة قنوات وكهوفًا جديدة على مستوى أكثر انخفاضًا (الشّكل 13.23 ب، 13.23 جـ).

يكون الماء الذي يقطر من سقف الكهف غنيًّا بكربونات الكالسيوم؛ لذا فإنه يكوّن هوابط ذات شكل قمعيّ عند تبخّر الماء وترسب كربونات الكالسيوم. ويقطر بعض السّائل المائيّ من نهاية الهوابط ليبني صواعد ذات شكل قمعيّ على الأرض (الشّكل 14.23).

الحفر الغائرة هي فجوات ذات شكل قمعي في الأرض تكون مفتوحة نحو السماء. تتشكّل بالطريقة نفسها التي تتشكّل بها الكهوف. تعمل المياه الجوفيّة على إذابة الحجر الجيري، وفي النهاية ينهار السّطح. بعض الحفر الغائرة عبارة عن كهوف انهار سقفها. في حين تشكّل بعضها الآخر من ظروف جفاف، أو ضخّ جائر للمياه الجوفيّة.

أقاليم الكارست: عند توزع الحفر الغائرة والكهوف والمغارات على سطح الأرض، فإنّ المنطقة تسمى *طبوغرافية كارستية*. وقد سميت بهذا نسبة إلى منطقة كارست في يوغوسلافيا؛ حيث إنّ تجوية الحجر الجيري وتعريته هي المميزة لسطح الأرض. إنّ نمط الجداول في هذا النوع من الأرض غير منتظم، وتختفي الأنهار والجداول في الأرض، وتظهر على شكل ينابيع. بعض مناطق الكهوف تبدو رطبة، فتكون على شكل تلة كروية مع هبوط كبير في الوسط. يكون الهبوط عبارة عن حفر غائرة قديمة مغطاة بالنباتات الآن (الشّكل 15.23). وعمومًا تتميز المناطق الكارستية بسطوح حادة وقاسية، مع وجود تربة رقيقة أو دون تربة بسبب الجريان السّطحي العالي، وذوبان المواد السّطحيّة.

الشّكل 14.23

تشكّل صخور القطرات في الكهوف.

لمعلوماتك

- كهوف ومغارات جميلة موجودة في المكسيك، (كارلسباد)، ينابيع بلا نشادر في أركنساس، كهوف الماموث في كنتاكي، وكهف ادلسبيرج في النمسا، وكهف الحظ الجيد في بورنيو.

الشّكل 15.23

طبوغرافية الكارست مغطاة بالنباتات تكوّن التلال الكروية في جنوب وسط كنتاكي.

4.23 المياه السّطحيّة وأنظمة التّصريف

الجداول –المياه السّطحيّة المتدفقة جميعها، من أكبرها كنهر المسيسبي إلى أصغر قناة ضحلة في الغابة- هي أنظمة ديناميكية تؤثر في سطح الأرض والناس التي تعيش هناك. وللجداول فوائد كثيرة، منها: توليد الطّاقة، والرّي، ووسيلة مواصلات.

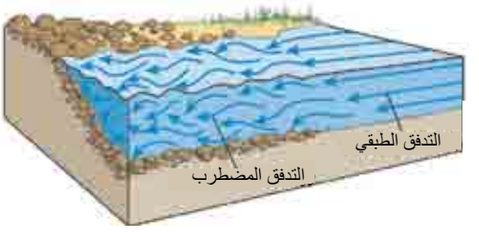
الشّكل 16.23
مظاهر الكارست في الصّين كانت موضع إلهام لفناني الرّسم الصينيين على مدى عصور.

لمعلوماتك

■ يمكن رؤية الأقاليم الكارستية حول العالم. في حوض المتوسط في بعض مقاطع جبال الألب والبرينيس في جنوب الصين، وفي أمريكا في كنتاكي، ميسوري فلوريدا وتينسي.

تعمل الجداول على نحت المشاهد الأرضية وتغييرها. ويعدّ الأخدود العظيم شاهدًا على قوة الحتّ العظيمة لنهر كولورادو؛ فقد عمل هذا النّهر على نحت جدران الوادي وتعميقه داخل الصخور خلال طريقه إلى المحيط عبر ملايين السنين. ومع ذلك، تقوم المياه السّطحيّة بدور آخر مناقض في أثناء تغيير المشاهد الأرضية-فهي تُوضّع الرّسوبيّات. وبهذه الطريقة، تكون المياه السّطحيّة مدمرة، ومكوّنة للرسوبيات والصّخور الرسوبية في آن معًا.

ينجم تغيّر المشاهد الأرضية – تغير مستمر لسطح الأرض- عن خصائص الجريان السّطحي للماء. ولطريقة التدفق تأثير كبير في كيفية تغيير الماء للمشاهد الأرضية. إنّ خصائص تدفق الماء الجاري على نوعين: مضطرب ورقائقيّ (الشّكل 17.23). فعندما تتحرك المياه نحو أسفل النّهر دون انتظام، وتحرك كلّ شيء تلامسه، فالتّدفق يكون **مضطربًا** ***(Turbulent)***. ولكن عندما تتدفق المياه نحو أسفل النّهر بثبات دون تحريك للرسوبيات، فإنّ التّدفق يكون رقائقيًّا. وعمومًا فإنّ التّدفّق البطيء الضّحل يكون رقائقيًّا (*Laminar*). أمّا التدفق السّريع فعادة ما يكون **مضطربًا**. وكيفما يكون التّدفق رقائقيًّا أو مضطربًا، فإنّ هذا يعتمد على طبيعة المجرى، وشكله الهندسيّ، وسرعة جريانه.



الشّكل 17.23
التدفق الطبقي بطيء وثابت دون خلط لرسوبيات القناة. التدفق المضطرب سريع يخلط كلّ شيء في التدفق.

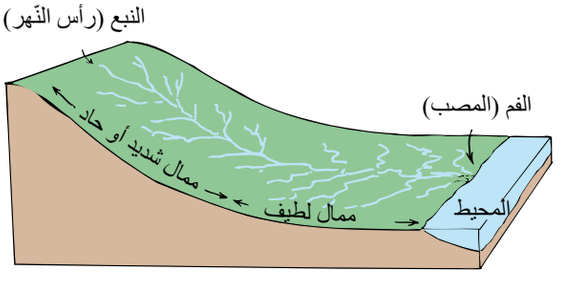
هيئة تدفق النّهر (Stream flow geometry)

تأتي الأنهار بعدة أشكال هي: مستقيم أو منحن، وسريع أو بطيء. في بداية مجرى النّهر، تكون قناة النّهر ضيقة، ويتحرك الماء بسرعة خلال أودية عميقة لها شكل حرف V. ومع التوجه نحو أسفل النّهر، يتسع المجرى، ثمّ يتحرك الماء في مجار عريضة ومنخفضة وعلى امتدادها.

وهناك ثلاثة متغيرات تؤثر في سرعة الماء في النّهر هي: *مال النّهر، وصببه، وشكل القناة*. **فالمال** ***(Gradient)*** هو الانخفاض العمودي في المجرى مقسومًا على المسافة الأفقية لهذا الانخفاض. فإذا نظرنا إلى مقطع طوليّ لنهر (الشّكل 18.23)، فسنرى أنّ المال يكون شديدًا عند بداية النّهر وبطيئًا قريبًا من الأفقيّ عند مصب النّهر. وبسبب الجاذبية، تميل سرعة النّهر إلى أن تكون أعلى عندما يكون المال شديدًا.

أما **الصبيب** ***(Discharge)***، فهو حجم الماء الذي يمر من نقطة معينة في القناة في فترة زمنية محددة. ويتناسب مباشرة مع مساحة مقطع القناة العرضيّ- العمق × عرض القناة- ومعدل سرعة النّهر:

الصبيب = مساحة المقطع × معدل سرعة النّهر



الشّكل 18.23
مقطع طولي لنهر. يكون المالُ عند رأس النّهر شديدًا، والقناة ضيقة وضحلة، وسرعة التدفق كبيرة. ولكن مع تقدم النّهر نحو الأسفل، يقلّ الانحدار، ويزداد عرض القناة، ويزداد الصبيب.

وبصيغة أخرى:

معدل سرعة النّهر = الصّبيب/ مساحة المقطع

وعادة ما تكون سرعة النّهر غير ثابتة على طول امتداده. فعند منبع النّهر، يكون المال شديدًا. لذا، تكون السرعة مرتفعة. وفي الواقع، فإنّ هذه المقاطع المرتفعة من الأنهار تسمى "المسرّعات/rapids". ومع تقدم النّهر نحو أسفل مجراه، يقل المال تدريجيًّا، ويزداد عرض القناة. ولأنّ روافد النّهر تغذّيه فإنّ صبيبه يزداد.

وبما أنّ سرعة النّهر تعتمد على ثلاثة متغيرات، فإنّ تغير سرعته أسفل المنحدر مضاد للبديهة. تخيل نهرًا يزداد صبيبه إلى الضعف أسفل المنحدر، ولكن حجم القناة وشكلها يبقيان كما هما. فبالنظر إلى معادلة سرعة النّهر، نرى أنّ سرعة النّهر تتضاعف. الآن، افترض وجود نهر ازداد صبيبه إلى الضعف أسفل المنحدر، وازدادت مساحة مقطعه إلى الضعف أيضًا. عندما يكون الاحتكاك ثانويًّا، فإنّ سرعة النّهر لا تتغير، مع أنّ الصبيب قد ازداد. وتزداد مساحة المقطع بنسبة زيادة الصبيب نفسها. لذا فإنها تعمل كبديل للكمية الإضافية من الماء دون زيادة سرعة النّهر. هل ترى أنّ سرعة النّهر أسفل المنحدر يمكن أن تقلّ؟

أما المتغير الثالث الذي يؤثر في سرعة النّهر فهو شكل القناة. الآن افترض نهرين لهما مساحة المقطع نفسها. وأنّ الماء المتدفق يلامس قاع القناة وجوانبها. يؤدي الاحتكاك بين الماء والقناة إلى إبطاء سرعة النّهر. ويحدد شكل مقطع القناة كمية الماء المتصلة بها. فكلما ازدادت مساحة منطقة الاتصال زاد الاحتكاك (الشّكل 19.23). وإذا كانت قناة النّهر دائرية وعميقة، فستكون السرعة عالية لأنّ الماء أقلّ احتكاكًا.

لمعلوماتك

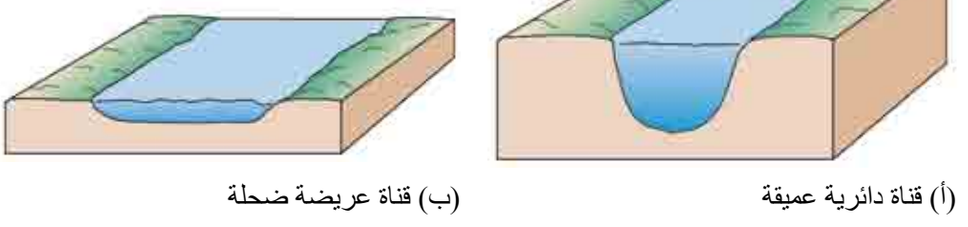
■ إذا ضغطت نهاية أنبوب ماء الحديقة البلاستيكي، فسترى ازدياد سرعة الماء المتدفق عندما تصبح الممرات ضيقة. تمامًا كما يحدث عند تدفق الأنهار.

■ نقطة فحص

1. افترض نهرًا تزداد حمولته إلى الضعف أسفل المنحدر، ولكن شكله وحجمه يظلان كما هما. الآن، انظر إلى معادلة سرعة النّهر. فماذا يحدث لسُرعته؟
2. افترض نهرًا يتضاعف صبيبه وتتضاعف مساحة مقطعه. وافترض كذلك عدم وجود مياه تدخل من الروافد وأنّ الاحتكاك غير مهم. فماذا يحدث لسرعة النّهر؟
3. إذا قلّ الانحدار، وبقيت مساحة مقطع النّهر كما هي، فهل يبقى الصبيب هو نفسه؟ افترض عدم دخول الماء من الروافد، وأنّ الاحتكاك غير مهم.

هل كانت هذه إجابتك؟

1. تزداد السّرعة إلى الضعف.
2. تزداد مساحة المقطع والصبيب بالنسبة نفسها. لذا فإنّ السرعة لا تزداد.
3. لا؛ لأنّ الانخفاض في المال يقلل سرعة النّهر. والصبيب يزداد.



(أ) قناة دائرية عميقة (ب) قناة عريضة ضحلة

الشّكل 19.23

(أ) في القناة الدائرية العميقة، تكون سرعة تدفق الماء عالية نسبيًّا؛ لأنّ الكمية الملامسة للقناة قليلة (احتكاك أقلّ). (ب) في القنوات العريضة الضحلة يكون تدفق الماء بطيئًا؛ لأنّ كمية الماء الملامسة للقناة كثيرة (احتكاك أكثر).

أحواض التّصريف وشبكاته (Drainage basins and networks)

النّهر جزء صغير من نظام أكبر يسمى *حوض التّصريف*. يعرف حوض التّصريف بأنه المساحة الكلية التي تسهم في تغذية نهر معين بالماء. وقد يغطي حوض التّصريف منطقة شاسعة أو صغيرة بمقدار 1كم^2. تفصل أحواض التّصريف بعضها عن بعض *بخطوط التقسيم*، وهي خطوط تصل بين أعلى النقاط بين الأحواض. وفي معظم الأحيان، يكون الفصل تامًّا؛ فالمطر الذي يهطل على جانب من خط التقسيم لا يمكن أن يسيل إلى الحوض المجاور. وقد يكون خطّ التقسيم طويلًا جدّا عندما يفصل بين حوضي تصريف كبيرين، أو أن يكون مجرد مرتفع صغير يفصل جدولين. *إنّ خطّ التقسيم القاريّ* هو خطٌّ متصل يمتد من الشّمال إلى الجنوب على طول أمريكا الشّمالية، ويفصل حوض المحيط الهادي في الغرب عن حوض المحيط الأطلسي في الشّرق. وفي النهاية، يذهب الماء في غرب الفاصل إلى المحيط الهادي، أما الماء في شرقه فيسير إلى المحيط الأطلسي (الشّكل 20.23).

كما ذكرنا، تتحد الأنهار بعضها مع بعض في أثناء جريانها إلى الأسفل لتصبح أكبر وأكبر. تسمى مجموعة الأنهار التي تصرف منطقة معينة *شبكة التّصريف* التي قد تتصف بالنسق المتفرع لأنهارها (الشّكل 21.23). ولأنّ الأنهار تعرّي سطح الأرض، لذا تعرّي الصّخور والمواد الصّخرية على الأرض. إنّ أشكال التّصريف تتأثر بنوع الصّخور ونوع المادة الصّخريّ المعراة.

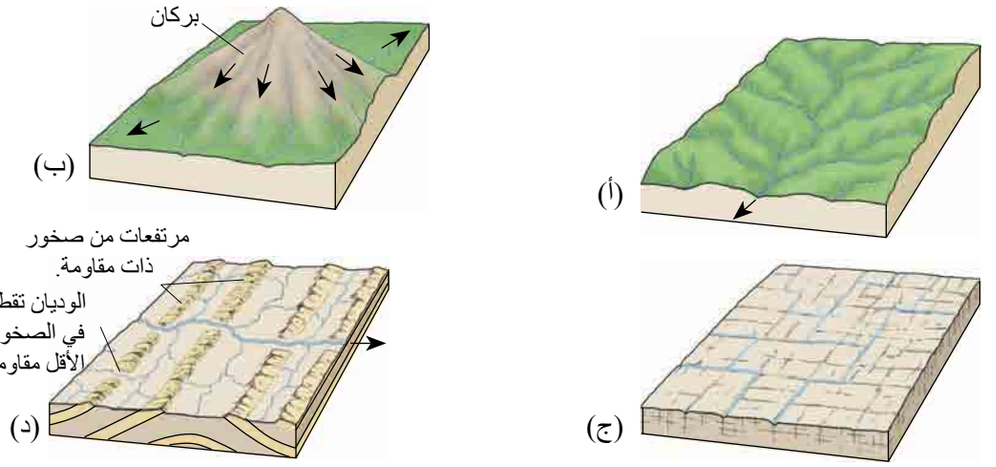
■ نقطة فحص

ما الفرق بين حوض التّصريف وشبكة التّصريف؟

هل كانت هذه إجابتك؟

حوض التّصريف هو مجموع المساحة التي تسهم في تغذية النّهر بالماء. وتتضمن الأنهار جميعها. أما شبكة التّصريف فتتضمن الأنهار التي تصرف الماء في الحوض فقط. لذا فإنّ شبكة التّصريف هي جزء من حوض التّصريف.

الشّكل 20.23
يفصل خطُّ التقسيم القاريّ في أمريكا الشمالية حوضَ الهادي في الغرب عن حوضِ الأطلسي في الشّرق.



الشّكل 21.23
أنماط تصريف مختلفة تتطور اعتمادًا على المادة السّطحيّة والتركيب السّطحي.
(أ) شجري. (ب) شعاعي. (جـ) مستطيل. (د) متواز.

5.23 عمل المياه السّطحيّة

يشكّل الماء السّطحي المتدفق سطح الأرض وينحته بطرق متعددة اعتمادًا على *البيئة الجيولوجية*. تتميز بعض البيئات بالتعرية، في حين يتميز بعضها الآخر بالتّرسيب. وبعض هذه البيئات هادئ، أما بعضها الآخر فهائج.

تعرية الرّسوبيّات ونقلها (Erosion and Transport of Sediment)

تعلمنا في الفصل 20 أنّ التجوية والتعرية تحركان الرّسوبيّات. وأنّ التعرية بالماء هي أكثر الطرق شيوعًا لنقل الرّسوبيّات الفتاتية بعيدًا عن مناطق تشكّلها. تعمل المياه السّطحيّة على تعرية الرّسوبيّات والصّخور، ونقلها إلى أسفل المجرى، وفي النهاية ترسيبها في مكان آخر. وبهذه الطريقة، يساعد الماء على تشكيل المشاهد الأرضية.

يعمل الماء المتدفق على تعرية قناة النّهر بطرق عدة. في البداية، يحتوي ماء النّهر على العديد من المواد الذائبة التي تُحوّي كيميائيًّا وتعرّي الصّخور التي تواجهها. إنّ الآلية القوية الأخرى للتعرية هي *الفعل الهيدروليكيّ*: أي قوة المياه الجارية. فالأنهار سريعة الجريان، ولها قوة تعرية كبيرة في مرحلة الفيضان، فهي تكسر كميات كبيرة من الرّسوبيّات والصّخور وتفككها. إنّ أكثر أنواع التعرية فاعلية هو البري *abrasion*. يحدث البري عندما تصقل الحبيبات والرّسوبيّات قناة، مثلما يصقل ورق الصنفرة الخشب. وعندما تقوى بالماء الهائج، فإنّ حبات الصّخر تدور كالمثقب فتحفر فتحات عميقة (الشّكل 22.23). وكلما زادت سرعة التيار، زاد كلّ من الاضطراب والبري.

إنّ التعرية هي بداية قصة تغيير الماء السّطحي لسطح الأرض. فالأنهار لا تحمل الماء فقط . بل إنها تنقل كميات كبيرة من الرّسوبيّات من مكان إلى آخر. وعمومًا فإنّ التدفق الرقائقي يمكن أن يحمل الحبات الصغيرة والخفيفة فقط. أمّا التدفق المضطرب واعتمادًا على سرعته، فباستطاعته حمل وتحريك مدًى كبير من الحبات؛ من حبات صغيرة بحجم الطين إلى حبات الحصى الكبيرة والصغيرة. يجمع التيار المضطرب الحبات ويحركها نحو أسفل النّهر عن طريق حملها أو دحرجتها وانزلاقها على قاع القناة. يمكن حمل الحبات الصغيرة الناعمة بسهولة، وتبقى معلقة لتجعل الماء عكرًا.

كما يمكن توقّع أنّه كلما ازدادت سرعة التيار، ازداد حجم الحبات التي يحملها. إضافة إلى أنه كلما زاد حجم الماء زاد حجم الرّسوبيّات التي يمكن حملها. لذا فالأنهار التي لها صبيب أكبر تستطيع حمل كميات أكبر من الرّسوبيّات، والأنهار التي تتحرك بسرعة يمكن أن تحمل حبات أكبر من الرّسوبيّات.

الشّكل 22.23
عند تقوية الحبات باضطراب الماء، فإنّها تدور كالمثقب، وتحفر في الصّخور.

لمعلوماتك

- تعمل أبعاد النّهر وماله وصبيبه وحمولته الرّسوبيّة وسرعته مجتمعة على التأثير في جريانه. وبالمثل فإنّ النّهر نظام متداخل: بحيث يؤدي أيُّ تغيّر في أيّ متغير إلى تغيّر في النّظام كله.

إن البري المتواصل للرسوبيات في قناة النّهر يفتتها، ويؤدي إلى نقصان نهائي في حجم الحبات أسفل النّهر. وعند فم النّهر، تبقى الحبات الناعمة من الرمل، والغرين، والطين فقط. وكما سنرى قريبًا، فإنّ هذه الحبات الصغرة تترسب لتكوّن دلتا عندما يفقد النّهر سرعته حال دخوله البحر.

■ **نقطة فحص**

أيّ التدفقين أكثر فاعلية في نقل الرّسوبيّات: الرقائقيّ أم المضطرب؟ وضّح إجابتك.

هل كانت هذه إجابتك؟

التدفق المضطرب أكثر فاعلية؛ لأنّ حركة الماء غير منتظمة، وتبقى الرّسوبيّات معلقة. يحمل التدفق المضطرب هذه الرّسوبيّات بسبب قوة مياهه. أمّا في التدفق الرقائقي، فإنّ الماء يتحرك بثبات في خطّ مستقيم دون خلط للرسوبيات في القناة.

بيئات الحتّ والتّرسيب (Erosion and Despotional Enviroments)

وفي النهاية، تسقط الحبات التي نقلت بالمياه السّطحيّة وتترسب. ويحدث هذا عندما يفقد الماء طاقته وتقل سرعته. ومع فقدان النّهر لطاقته بالتدريج، تبدأ الحبات الكبيرة في التّرسيب أولًا، ومن ثَمَّ الحبات الأصغر، مما يجعل فرز الرّسوبيات جيدًا.

المظهر السائد للتوضّعات المترسبة هي الطريقة التي تتوضّع بها حبات الرّسوبيّات: طبقة فوق أخرى أفقيًّا. وتسمى هذه *طبقات*. تختلف الطبقات بعضها عن بعض في السّمك والمساحة، وتمثل كلّ طبقة فترة زمنية من التّرسيب. فمثلًا، قد تنتج عن فيضان في سنة معينة طبقةٌ من الرّسوبيّات بجانب النّهر، ثم يرسّب الفيضانُ في أيّ وقت بعدها طبقةً فوقها. وتمثّل بعض الطبقات ترسيبًا قد حدث على مدى أكثر من 1000 سنة.

يحدث توضّع الرّسوبيّات وتعريتها في بيئات مختلفة، منها: المحيطات، والشواطئ، والأنهار، والجداول، والصحارى، والدّلتا. إنّ كلّ بيئة تتضمن تعرية، ونقلًا، وترسيبًا. كما أنّ لكلّ بيئة خصائص محدّدة.

الشّكل 23.23

في منطقة منبع النّهر، يساهم الممال في تكوّن المسرعات المتحركة. وعند وجود تغير مفاجئ في الممال فإننا نرى شلالات جميلة.

مجاري الأنهار والسّهول الفيضية (Stream Valley and Flood Plains)

عندما ترتطم مياه الأمطار بالأرض، تعمل على تفتيت التربة وغسلها بعيدًا. ومع هطل أمطار أكثر على الأرض، يستمر فقدان التربة وتتشكّل المجاري الصغيرة. وعندما تبدأ حبات التربة والماء التحرك في المجرى تنشأ حينها قناة الجدول. وقد تكون هذه التعرية سريعة، كما في تعرية الرّسوبيّات غير المتماسكة، أو بطيئة كما في تعرية الصّخور الصّلبة. هذا، وتساعد قوة التعرية في الماء على توسيع القناة وتعميقها، وكذلك على نقل الرّسوبيّات بعيدًا. ومع الزمن تؤدي إلى تكوّن وادٍ. أما في مناطق الجبال العالية، فتعمل تعرية الجدول على قطع الصّخور السفلى لتكوين وادٍ بحرف (V). ولأنّ الوادي ضيق، فإنّ قناته تكوّن قاع الوادي جميعه. وتعد المسرّعات والشلالات الجميلة مميزة لأودية الجبال ذات الشّكل (V) الشّكل (23.23).

عندما يغادر جدول سريع جبلي واديه الضيق فإنه يظهر على سطح واسع منبسط. تقل سرعته فجأة، ويطرح الجدول حمولته من الرّسوبيّات. وفي العادة، فإنّ هذا النوع الجداول لا يجري أكثر من ذلك. تكون الرّسوبيّات عادة على هيئة مروحة، وتنمو نحو الخارج مع إضافة الرّسوبيّات (الشّكل 24.23). تسود الجلاميد والحصى الكبير والصغير في الجزء العلوي للمنحدر من هذه الرّسوبيّات، في حين يتكون القاع والمناطق المحيطة من رمل، وغرين، وطين.

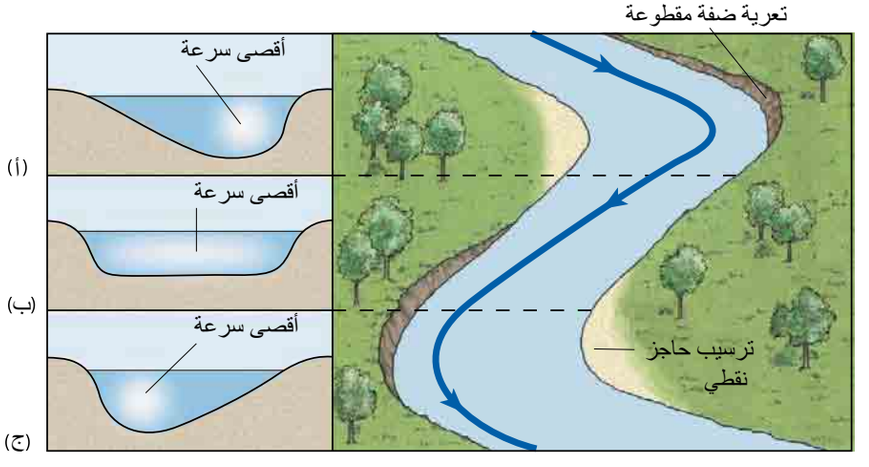
أما الأنهار التي تستمر، فإنّ سرعة الجدول تؤدي دورًا مهمًّا في الحتّ والتّرسيب. وبالإضافة إلى التغيرات التي ناقشناها سابقًا، فإنّ سرعة النّهر تختلف في القناة من ضفّة إلى أخرى.

الشّكل 24.23
رسوبيات فتاتية على هيئة مروحة ترسبت في وادي الموت، كاليفورنيا.

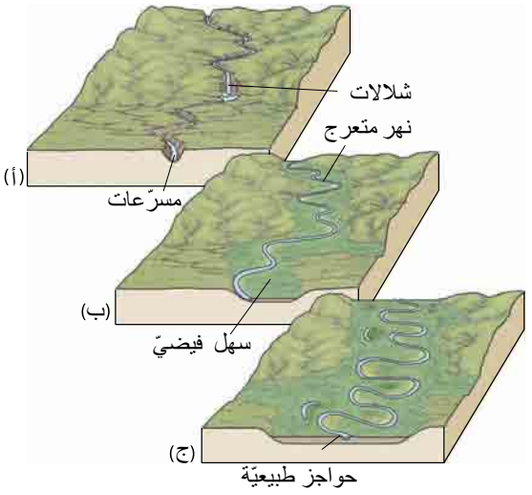
تكون سرعة الجريان أقلّ في قاع المجدول، حيث يكون الماء على تواصل مع القناة، مما يؤدي إلى الاحتكاك، وتكون سرعة الجريان أعلى ما يمكن بالقرب من سطح الماء. وفي مجدول كبير ذي قناة مستقيمة، تكون أعلى سرعة جريان في وسط القناة (الشّكل 25.23 ب). أما النّهر الذي يسير في قناة متعرجة، فإنّ أقصى سرعة له تكون على الجانب الخارجي في كلّ انحناء في التّعرّج (الشّكل 25.23 أ، 25.23 جـ).

ومع جريان النّهر نحو أسفل مجراه ونقصان ماله وسرعته، يتغير تركيز طاقته من الحتّ إلى أسفل (تعميق القناة) إلى الحتّ الأفقي في حركته من جانب إلى آخر. ونتيجة لهذا العمل الجانبي، يطوّر النّهر شكلًا *أكثر تعرّجًا meandering* (الشّكل 26.23). ومَعَ تعرّج النّهر وانحنائه، تنحرف سرعة الجريان في القناة بحيث تكون أكبر سرعة في الجهة الخارجية من كلّ انحناءة (الشّكل 25.23). تكون المياه السريعة الجريان ذات فاعلية في تعرية المواد من الجانب الخارجي لكلّ انحناءة، مكونة بذلك ضفة شديدة الانحدار تسمى *ضفة مقطوعة cut bank* . وتنقل المواد التي يتم تعريتها من الضفة المقطوعة إلى أسفل النّهر، وقد تترسب في النهاية في مناطق تقل فيها سرعة النّهر. وبهذه الطريقة، تتكون حواجز *رملية نقطية point bars* في الجانب الداخلي من التّعرّج.

ومع استمرار جريان النّهر نحو أسفل مجراه، فإنّ النّهر يذهب ويجيء بعرض هذا المجرى، مرسبًا في طريقه الرّسوبيّات (الشّكل 27.23).



الشّكل 25.23
في نهر متعرج (أ، جـ)، تكون أقصى سرعة تدفق في اتجاه المنطقة الخارجية من التعرج وتحت سطح الماء. وفي قناة مستقيمة (ب)، تكون أقصى سرعة في وسط القناة بالقرب من سطح الماء. تحدث تعرية القناة في أقصى سرعة (ضفة مقطوعة) والتّرسيب في منطقة أقلّ سرعة (حاجز نقطي).



الشّكل 26.23

تغيّر مجرى نهر وتكوّن سهل فيضي. (أ) في منطقة المنبع، يتميز المجرى الذي له شكل حرف V بمال حاد، وماء سريع يحفر مجرى النّهر. تتضمن المظاهر في هذه المناطق المسرعات والشلالات.(ب) نحو أسفل مجرى النّهر، ومع نقصان المال، يركز النّهر تعريته في الجدران من جانب إلى آخر بطريقة متعرجة. وعليه، يزداد عرض مجرى النّهر. (جـ) وبالتقدم أكثر نحو أسفل مجرى النّهر، يزداد التعرج، ويزداد عرض الوادي أكثر ليكوّن سهلا فيضيًّا.

لمعلوماتك

■ لا بد أنك سمعت بمصطلح فيضان الـ 100 سنة. هل هذا يعني أنه يحدث كلّ 100 سنة؟ الجواب: ليس بالضبط. في الواقع، وكما تعلم، فإنّ فيضانًا ضخمًا قد يحدث في أيّ سنة. إنّ فيضان الـ 100 سنة هو مصطلح إحصائيّ معناه أنّ هناك فرصة واحدة من 100 فرصة تهيىء لحدوث فيضان بهذا الحجم في أيّ السنة. وقد يكون المصطلح الأفضل هو «فيضانا محتملا بنسبة 1%)

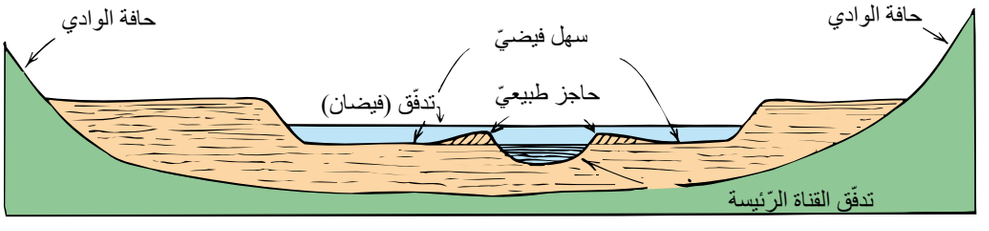
وينشأ عن هذه الحركة المتعرجة حزامًا عريضًا من أرض تكاد تكون منبسطة يسمى **السّهل الفيضيّ**. وكما يوحي بذلك الاسم، فإنّ هذا المقطع من وادي النّهر يتعرض للفيضان بالماء والرّسوبيّات عندما يفيض النّهر على ضفافه. وبسبب زيادة الصبيب وسرعة الجريان في أثناء الفيضان، تزداد قابلية النّهر على حمل الرّسوبيّات. ولهذا، عندما يفيض نهر على ضفافه، فإنّ مياهًا غنية بالرّسوبيّات تتدفق على السّهل الفيضيّ. تقلّ سرعة النّهر بسرعة مع انتشار الماء فوق سهل فيضي منبسط واسع، وترسب حبيبات متدرجة كبيرة إلى صغيرة الحجم. وكما هو متوقع، تتوضّع رسوبيّات كبيرة الحبات نسبيًّا على امتداد حواف القناة، في حين تتوضع رسوبيات ناعمة الحبيبات بعيدًا عن قناة النّهر على السّهل الفيضيّ. وتكوّن الحبيبات الكبيرة المترسبة قريبًا من قناة النّهر *رصيفًا* (*حاجزا*) *طبيعيًّا* يساعد في حصر مياه فيضانات مستقبلية (الشّكل 28.23). يحدث توسع للمجرى، كما هو موضّح في الشّكل 27.23، لأن الرّسوبيّات المتوضعة من النّهر، وخصوصًا في أثناء الفيضان، تملأ المجرى.

■ **نقطة فحص**

إنّ السّهول الفيضية مناطق زراعة جيدة. لماذا يتوجّه الناس للسكن والعمل في مناطق تميل إلى حدوث الفيضانات فيها؟

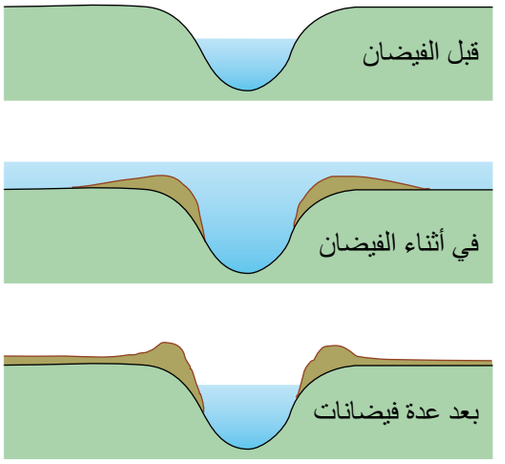
هل كانت هذه إجابتك؟

يعيش الناس ويعملون في مناطق السّهول الفيضية؛ لأنّ هذه السّهول تكون مجاورة لنهر يوفر الماء والطعام ويساعد على المواصلات. كما أنه بسبب الفيضان المتتابع، فإنّ تربة السّهل الفيضيّ تكون خصبة لذا تعد أرضًا خصبة زراعيًّا. أمّا بالنسبة لعامل الخطورة، أفلا ترى أنّ معظم الناس تربط الخطورة بأيّ شيء، ولكنهم يستبعدون دورهم في هذه الخطورة!



الشّكل 27.23

مقطع مجرى نهر. يتكون السّهل الفيضيّ عندما يتدفق نهر على ضفافه. تترسب الرمال والحصى أولًا، وتكوّن رصيفًا (حاجزًا) طبيعيًّا لحصر النّهر. ولأنّ الرمل والغرين تبقى معلقة، فإنها تتحرك خلف الرصيف وتترسب فوق السّهل الفيضيّ.



الشّكل 28.23
في أثناء الفيضان، يساعد الصبيبُ والسرعةُ النّهرَ على حمل الحبات الكبيرة وليس على حمولة كبيرة من الرّسوبيّات فقط. تترسب الحبات الكبيرة بالقرب من قناة النّهر مكونة رصيفًا طبيعيًّا يحصر النّهر بين حدين. تعمل الفيضانات على زيادة ارتفاع الرصيف، وقد تزيد ارتفاع طبقة القناة لتصبح أعلى من السّهول الفيضية حولها.

الدّلتا(Delta): نهاية خط النّهر

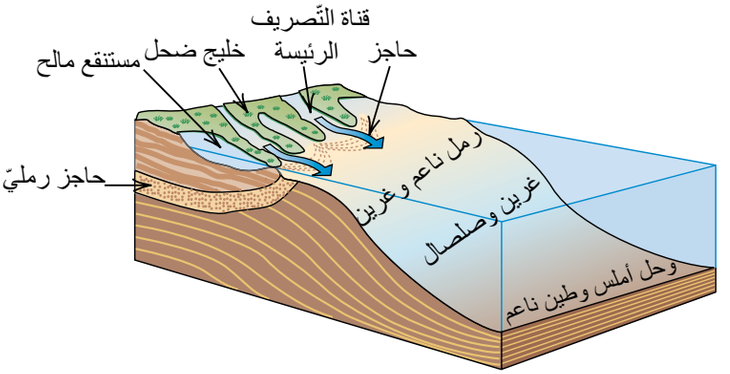
عندما يصل النّهر إلى جسم مائي ساكن مثل البحر أو الخليج أو البحيرة، فإنّ الماء المتحرك يفقد طاقته تدريجيًّا. ومع فقدان الطّاقة تقلّ سرعة النّهر، ويفقد قدرته على حمل الرّسوبيّات. وتؤدي هذه التغيرات إلى إنزال حمولته. وبهذه الطريقة تصبح منطقة النّهر والمنطقة القريبة من الشاطئ مليئة بالرّسوبيّات. تكون الرّسوبيّات المتوضّعة مروحية الشكل وتسمى **دلتا**. تتوضّع الرّسوبيّات بترتيب معين تبعًا لتناقص الوزن؛ حيث تترسّب الحبات الثقيلة الكبيرة أولًا قرب الشاطئ، أما الحبات الناعمة فتترسّب بعيدًا عنه. ومع استمرار وصول الرّسوبيّات من القارة، تتقدم الدّلتا وتبني نفسها نحو الخارج في صورة أرض إضافية داخل الماء.

تبدأ الدّلتا بالتّشكّل تحت سطح الماء، ولكن إضافة الرّسوبيّات تؤدّي في النهاية إلى ظهور الدّلتا على هيئة يابسة جديدة. عندما يصطدم النّهر بالرّسوبيّات، فإنه يحتاج إلى طاقة أكبر للدفع خلال الرّسوبيّات المتراكمة مقارنة بالدوران حولها. لذا تتكوّن قنوات صغيرة من القناة الرئيسة كفروع الشجرة. تسمح هذه الفروع للمياه بالتدفق إلى البحر. ومع استمرار تكوّن الدّلتا نحو الخارج، فإنّ الفروع أيضًا تعاق في الحركة مع استمرار وصول الرّسوبيّات. لذا فإنّ أول مجموعة من الفروع تأخذ شكل أصابع اليد (الشّكل 29.23). وعندما تغلق الأصابع، فإنّ التفرع يتكرر مع استمرار تدفق النّهر إلى البحر والتوسع نحو الخارج (الشّكل 30.23). ولهذا فإن بيئة الدّلتا هي منطقة تتشكّل فيها أرض جديدة باستمرار.

لمعلوماتك

■ بعض الأنهار الضخمة لها دلتا كبيرة عند فمها. فقبل ملايين السنين، كان فم نهر المسيسبي حيث مدينة القاهرة، إلينوي اليوم. ومنذ ذلك اليوم اتسعت الدّلتا 1600 كم جنوبًا إلى مدينة نيوأورليانز. وقبل أقل من 5000 سنة كان موقع نيوأورليانز تحت الماء في خليج المكسيك.

ما نهاية المياه المتدفقة كلّها؟ وما هو مستقر معظم الرّسوبيّات؟ تجري المياه في النهاية إلى المحيط، وتستقر الرّسوبيّات في قاع المحيط.



الشّكل 29.23
الدّلتا منطقة تتكون على اليابسة. ومع جريان النّهر إلى البحر فإنه يحمل الرّسوبيّات. تترسّب هذه الرّسوبيّات بترتيب معين بحسب تناقص الوزن، حيث تترسّب الحبات الثقيلة قرب الشاطئ، أما الحبات الناعمة فتترسب أبعد في اتجاه البحر. وتنشأ الدّلتا من توضّع هذه الرّسوبيّات طبقة فوق أخرى.

الشّكل 30.23
صورة أقمار صناعية لدلتا نهر المسيسبي.
لاحظ كيف أنّ الجداول الصغيرة تكون متفرعة عن النّهر الرّئيس.

6.23 الجليد والجليديّات

إنّ أكبر الأنهار على الأرض هي أنهار صلبة متجمدة، وحركتها بطيئة لا تزيد على بضعة سنتمترات في اليوم. تسمى هذه الأنهار الجيليدية بالجليديّات. لقد غطت هذه الجليديّات نسبة عالية من الأرض عدة مرات في الماضي البعيد. ولا يزال الجليد يعمل في مناطق كثيرة من العالم، منها جليديات ألبية صغيرة في الجبال، وحقول جليدية ألبية كبيرة، ومسطحات جليد قارية ضخمة في القطبين الشّماليّ والجنوبيّ.

تشكّل الجليد وحركته

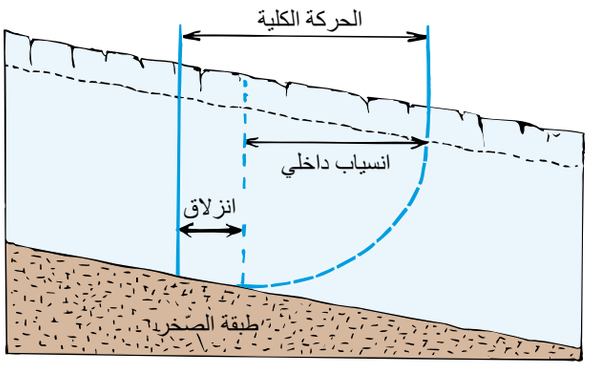
يتكون الجليد في الجليديّات من ثلج متبلور. بعد هطل الثّلج، فإنّ تراكمه يغير شكل رقائقة المنفردة تدريجيًّا إلى كتلة كروية من الجليد. ومع استمرار هطله فإنّ الضّغط المتولّد على طبقة الجليد السّفلى يرصّها ويعيد تبلورها إلى جليد.
لا يصبح هذا الجليد جليدية حقيقية حتى يتحرك تحت تأثير وزنه. وعندما تصل كتلة الجليد إلى سمك 50 م تقريبًا، فإنّ الضغط يؤدي بطبقة الجليد السفلى إلى أن تتشوه تشوهًا لدنًا وتنساب نحو أسفل المنحدر. ويشبه هذا التشوه اللدن ما يحدث لورق اللعب. عند دفع ورق اللعب من جانب، كما في الشّكل 31.23، تنزلق الأوراق بعضها بالنسبة إلى بعض، فتنزلق الأوراق جميعها. والتشوه اللدن في الجليديّات يكون أكبر في قاعدة الجليد حيث يكون الضغط مرتفعًا.
إنّ الانسياب اللدن الناجم عن انزلاق بلورات الجليد، لا يعدّ المكوّنَ الوحيد لحركة الجليد. تقل درجة انصهار الجليد مع زيادة الضغط. وعند تكوّن الجليد المصهور — *ماء الانصهار* - عند قاع الجليدية، تحدث *عملية انزلاق القاعدة**. وهذه هي الآلية الثانية لحركة الجليد التي تؤدي إلى انزلاق كامل الجليدية نحو أسفل المنحدر، حيث يعمل الماء المنصهر كمادة زَلِقة. تزداد سرعة الجليدية من القاعدة إلى السّطح حيث أعلى سرعة لها (الشّكل 32.23). تحمل الطبقات العليا كالحمل على الكتفين عند حدوث التشوه اللدن، في حين يحدث الانزلاق القاعدي في الطبقة السفلى.

لمعلوماتك

■ تتحرك الجليديّات عند تسخين الرّسوبيّات أسفلها من خلال حرارة الأرض الداخلية. ويبقى الدفء؛ لأنّ عملية العزل عن الغلاف الجوّيّ البارد تحدث بسبب وجود غطاء سميك من الجليد. يحدث الانصهار عند تخلل الماء المنصهر إلى الرّسوبيّات، مما يجعلها رطبة، وتتحرك بسهولة تحت تأثير وزن الجليد فوقها.

الشّكل 31.23
عند دفع مجموعة من ورق اللعب من جانب، تنزلق الأوراق فوق بعضها، وعليه تنزاح المجموعة كلها.

* قد ينتج الماء المنصهر من ضغط الجليد العلوي (تقل درجة الانصهار مع زيادة الضغط)، أو من حرارة الأرض الباطنة، أو من توليد الحرارة باحتكاك الجليد. ومهما يكن سبب الحرارة، فإنّ الماء المنصهر يسهم في حركة الجليدية.



الشّكل 32.23
مقطع عرضي في جليدية. لحركة الجليدية مركّبتان هما: التدفق الداخلي والانزلاق الناجم عن التشحيم من الماء المنصهر. تكون الحركة بطيئة في القاع بسبب الاحتكاك، ولكنها سريعة على السّطح. الجزء العلوي من الجليدية محمول كأنه على الظهر من قبل التدفق اللدن في الجليد.

يُحمل أعلى جزء من الجليدية من قِبَل انزلاق القاعدة والتشوه اللدن الداخلي. ويتصرف ككتلة قاسية هشة قد تتكسر. وقد تتولد شقوق كبيرة تسمى *هوة* crevasse في سطح الجليد (الشّكل 33.23). ومن الممكن أن تمتد الهوة إلى أعماق كبيرة. وعليه، فهي ذات خطورة على من يعبر هذه الجليدية.

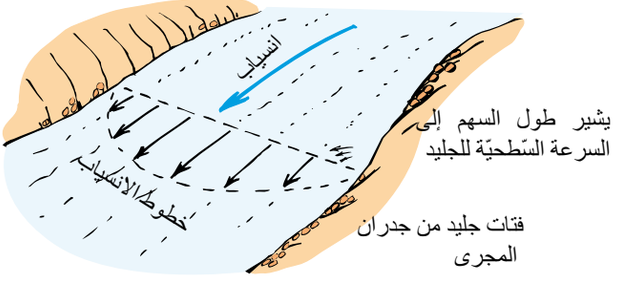
تختلف سرعة الجليدية من واحدة إلى أخرى، وقد تتراوح من عدة سنتمترات إلى مئات السنتمترات في اليوم. ويتم قياس هذه السرعة البطيئة عن طريق وضع علامات على شكل خط على الجليد. وملاحظة تغيره في الموقع خلال أيام إلى سنوات. يتحرك الجليد بمعدل أسرع في الوسط، ولكنه يسير بمعدل أبطأ على الأطراف بسبب الاحتكاك (الشّكل 34.23). تتعرض بعض الجليديّات لفترة حركة سريعة بسبب انصهار القاعدة والحركة المفاجئة للكتلة. وقد يكون معدل التدفق في هذه الأوقات 100 ضعف المعدل الطبيعي. وبالنظر من أعلى، فإنّ الحزم المتدفقة من الفئات والجليد ذات طابع متواز، ولكن خلال الحركات السريعة يصبح التدفق مطويًّا (الشّكل 35.23).

الشّكل 33.23
قد تمتد الهوة إلى أعماق كبيرة وقد تكون خطيرة للعبور.

توازن كتل الجليد

تتغيَّر كتلة الجليد من فصل إلى آخر، وخلال فترة طويلة من الزمن. يزداد حجم الجليديّات في الشّتاء مع تراكم الثّلج على سطحه. وتسمّى كميةُ الثّلج المضاف، وعمليةُ إضافة ثلج إلى جليديات **تراكمًا** (***Accumulation***).

ومع تراكم الجليد، وبدء تحركه أسفل المنحدر، فإنه قد يتحرك إلى خطوط عرض أعلى حرارة. وعندما يبدأ الجليد في الانصهار، فإنه يفقد بعض كتلته. كما قد يفقد بعض كتلته في أثناء حركته أسفل المنحدر إلى الشاطئ؛ حيث يتكسر ليكون قطعًا تطفو على سطح البحر. يعدّ الانصهار والتجزئة الآليتين الرئيستين اللتين يفقد بهما الجليد جزءًا من كتلته. ومع أنها غير ملاحظة، إلا أنّ الجليد قد يفقد جزءًا من كتلته عندما يتسامى إلى بخار. وتسمّى الكميةُ الكلية التي يفقدها الجليد وعمليةُ الفقدان تآكلا (*Ablation*)(الشّكل 23.36).



الشّكل 34.23
مشهد علوي لجليدية. تكون السرعة الأكبر في وسط الجليدية، وتقل تدريجيًّا على طول الحواف بسبب الاحتكاك.

(أ) (ب)

الشّكل 35.23
تدفّقا الجليد: (أ) طبيعي. (ب) سريع.

لمعلوماتك

■ يكون التآكل أكبر من التّراكم في مناطق متزايدة بسبب الاحترار العالمي. ومع تقطّع الجليديّات إلى البحر، ومع انصهار مسطحات الجليد القاري، فإنّ مستوى البحر سيرتفع.

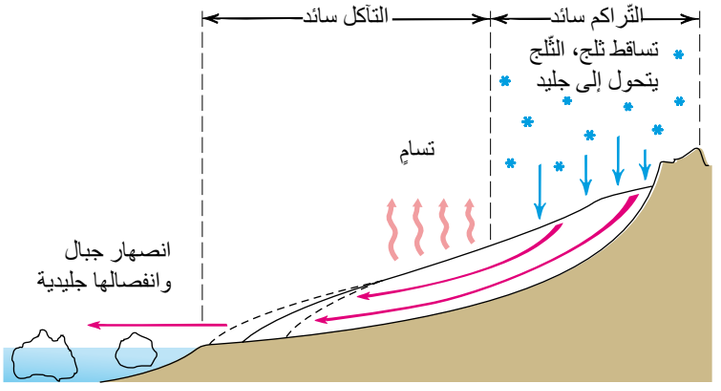
عندما يكون التّراكم مساويًا للتآكل، فإنّ حجم الجليدية يبقى ثابتًا. فمثلًا في جبل جليدي يحدث التّراكم مع هطل الثّلج في الشّتاء في المناطق الخلفية العليا من الجليد. ويحدث التآكل في الأجزاء السفلى حيث يحدث الانصهار الأعظم في الصّيف والربيع. وعندما يتساوى معدلا التّراكم والتآكل، فإنّ انصهار الأجزاء السفلى؛ يُعوّض بانسياب الأجزاء العليا نحو أسفل المنحدر. ونتيجة لذلك، فإنّ مقدمة الجليدية لا يتغيَّر مكانها. وعندما يكون التّراكم أكبر من التآكل، فسيزداد الجليد. ولكن عندما يكون التآكل أكبر من التّراكم، فإنّ الجليد يقلّ. وفي هذه الحالات جميعها، يتدفق الجليد نحو أسفل المنحدر.

■ **نقطة فحص**

ما الظروف التي تجعل مقدمة الجليدية في الموقع نفسه من سنة إلى أخرى؟

هل كانت هذه إجابتك؟

تبقى مقدمة الجليدية في المكان نفسه عندما يتساوى معدلا التّراكم (النمو) والتآكل (التقلص). ففي الربيع، وبسبب انصهار الجليد في المقدمة، فإنّ الجليدية تتراجع نحو أعلى المنحدر. وفي الوقت نفسه، تكون الكتل المضافة من تراكم الشّتاء السابق السبب في تقدم الجليدية نحو الأمام. وعندما يتساوى معدل التقدم إلى الأمام مع معدل الانصهار، فإنّ موقع الحافة الأمامية لا يتغير.



الشّكل 36.23
يحدث التّراكم على الجليدية في ارتفاعات عالية بسبب سقوط الثّلج وتحوله إلى جليد. أما التآكل، فيحدث في ارتفاعات منخفضة مع انصهار الجليد وتجُزئه إلى جبال جليدية تطفو على الماء أو بسبب التسامي.

7.23 عمل الجليديّات

تمامًا كما تعمل المياه الجارية في الأنهار، فإنّ الجليديّات يمكنها تعرية الرّسوبيّات وترسيبها. تكوّن كلتا العمليتين أشكالًا أرضية مميزة تعدّ دلائل على جليديات قديمة مندثرة.

تعرية الجليد وأشكال الحتّ الجليدية

تعدّ الجليديّات عامل تعرية فاعل. قامت عمليات الجليديّات بتكوين الأراضي الجميلة في التبت، ونيبال، وبوتان في آسيا، وجبال الألب في سويسرا، والفيوردات في النرويج، ووادي اليوسميت والبحيرات العظيمة في أمريكا الشمالية. تشبه الجليديّات المحراث بعدة صور؛ حيث تكشط وتقتلع الرّسوبيّات والصخور. كما أنها كالمزلاج؛ لأنها تحمل حمولتها الثقيلة لمسافات بعيدة. ومع حركة الجليديّات على سطح الأرض، فإنها تفتت كتلًا من الصخور وتحملها، وتضمها إلى الجليد. تكشط القطعُ الصخرية الكبيرة المحمولة في قاع الجليدية الطبقاتِ الصخريةَ السفلى، وتترك خدوشًا طويلة متوازية (مثل أثر الزّلّاجة) تشير إلى اتجاه تدفق الجليد (الشّكل 37.23). تسمى هذه الخدوش *حزوزًا*.

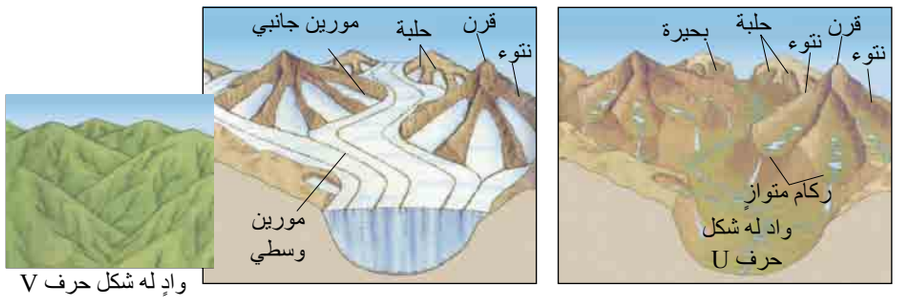
ينتج عن نوعي الجليديّات؛ *الألبيّة والقارّيّة* تأثيرات تعرية مختلفة. وتكوين أشكال أرضية متنوعة. تتكون الجليديّات الألبية في المناطق الجبلية، وعادة ما تكون محصورة في مجارٍ محددة. في حين تغطي جليديات القارات مساحات أوسع. تحدث الجليديّات الألبية في معظم السلاسل الجبلية العالية في العالم مثل جبال الروكي، والأنديز، والهملايا. يوضح الشّكل 38.23 مظاهر التعرية في الجليديّات الألبية.

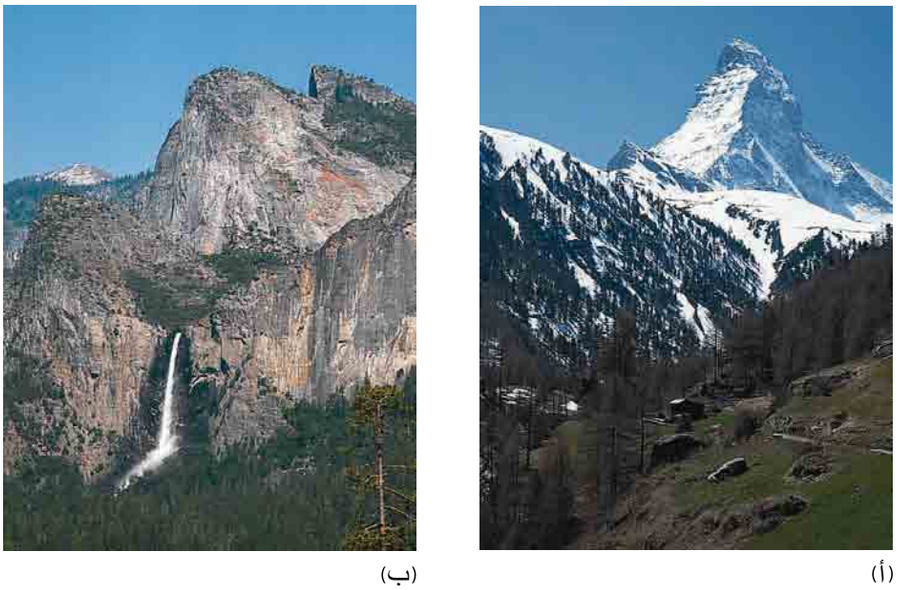
الشّكل 37.23

علامات تحزيز تدلّ على وجود جليديات قديمة.

لمعلوماتك

■ قد تتذكر أنّ ألفرد فيجنر قد استعمل الحزوز الجليدية لإعادة تركيب الكتل القارية القديمة. أثبتت الأدلة من حزوز الجليد أنّ الجليديّات تحركت في إفريقيا نحو المحيط الأطلسي، ومن المحيط الأطلسي إلى أمريكا الجنوبية. وقد اقترح فيجنر عدم إمكانية وجود هذه الجليديّات، إلا إذا كان المحيط الأطلسي غير موجود، والقارات متصلة.

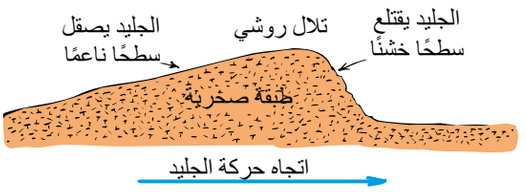




(أ) (ب)

الشّكل 38.23

المظاهر العديدة للجليديات الألبية. (أ) القرن: سمي لمظهره الذي يشبه القرن. (ب) الوديان المعلقة مظاهر توجد في مناطق تشكلت من تعرية الجليديّات الألبية. شلالات برايدافيل في حديقة يوسميت تتدفق من وادٍ معلق إلى الوادي الأكبر الذي كانت تحتله الجليدية الرئيسة.



الشّكل 39.23
تلال صغيرة غير متناظرة تبين اتجاه حركة *الجليديّات القارية*. يكون الانحدار ناعمًا وبسيطًا في جانب التل المواجه لحركة الجليديّات. أمّا في الجانب البعيد من الجليديّات المتقدمة، فيكون الانحدار خشنًا وحادًّا مع مظاهر اقتلاع.

تنتشر الجليديّات القارية فوق سطح اليابسة. وتعمل على تنعيم الطبوغرافية تحتها وتدويرها. ومع أنّ الحزوز تنتج عن الجليديّات الألبية والقارية، إلا أنّ لها دورًا كبيرًا في دراسة جليديات القارات القديمة. ولأنّ الجليديّات القارية تعمل على صقل مساحات واسعة من الأرض، فإنها تترك خلفها القليل من الوديان الواضحة (مما يجعل من الصعب معرفة اتجاه تدفق الجليد). ومن رسم خرائط الحزوز على الأرض التي كانت مغطاة بالجليديّات، يستطيع الجيولوجي تحديد اتجاه تدفق هذه الجليديّات. يعرف اتجاه تدفق الجليد أيضًا من خلال تلال صغيرة غير متناظرة الجوانب (الشّكل 39.23) تعرف باسم *تلال روشي*. في الجانب المقابل لتدفق الجليد، يكون ميل التل قليلًا ومحززًا من بري الجليد على الطبقة الصخرية. أما في الجانب السفلي لحركة الجليد فيكون الميل حادًّا وخشنًا؛ لأنّ الجليد المتحرك يقتلع الصخور من شقوق في الطبقة.

الجيولوجي بوب إبرامز يراقب عظمة مسطح جونو الجليدي في ألاسكا.

التّرسيب الجليدي وأشكاله

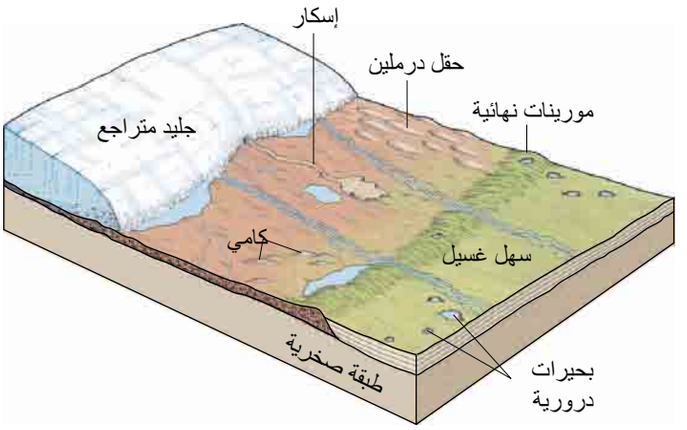
مع تقدم جليديات عبر اليابسة، فإنها تنقل كميات كبيرة في الفتات. ومع تراجع الجليديّات، فإنها تترك الفتات خلفها بسبب انصهار الجليد. ولأنّ الجليدية تبري وتلتقط كلّ شيء في طريقها، فإنّ رسوبيات الجليديّات تتكون من قطع صخرية ذات حواف حادة ورديئة الفرز بعدة أشكال وأحجام. تسمى الرّسوبيّات الجليدية باسم عام هو **"المنجرفات" *(Drift)***. وهو مصطلح يعود إلى القرن التاسع عشر عندما اعتُقِدَ أنّ الفتات جميعه قد انجرف من الفيضان التوراتي.

تحتوي بعض البيئات الجليدية على عناصر من عدة بيئات رسوبية أخرى، ويعود ذلك إلى العديد من العمليات العاملة المدفوعة بالماء والرّيح والجليد. مثال ذلك، يكوّن ماء الجليدية المنصهر أنهارًا تنتهي على شكل دلتا في البحيرات أو الخلجان أو البحار. ولرسوبيات الجليد مظاهر فريدة؛ فعندما ينصهر الجليد، فإنه يرسب مجموعة غير مفروزة من الحمولة المنوعة المكونة من جلاميد، وحصى، ورمل، وطين. يعدّ وجودُ مدى كبير من أحجام الحبات علامةً مميزة لرسوبيات الجليد عن المواد الأحسن فرزًا المترسّبة من الأنهار والرّيح.

تترسّب المجروفات بطريقتين؛ عندما تتحرر رسوبيات الجليدية إلى الماء المنصهر، فإنها تنقل وترسب كأيّ رسوبيات مائية فتكون جيدة الفرز. أمّا المواد المترسبة مباشرة من صهر الجليد، فتكون خليطًا من الفتات الطيني والجلاميد. وقد وجد أنّ العديدَ من الجدران الحجرية القديمة في بعض مناطق نيوإنجلاند مكونةٌ من حجارة مأخوذة من رسوبيات جليدية. لقد أزال السكان الذين حاولوا زراعة الأرض الجلاميد الكبيرة كلها قبل الحراثة، وجمعوها على حوافّ حقولهم. وعادة ما توجد الجلاميد الكبيرة التي تختلف جذريًّا عن الصخور المحلية في رسوبيات الجليد. توفر الجلاميد الكبيرة دليلًا على إمكانية الجليد في نقل الحمولات الثقيلة لمسافات طويلة. وإن أمكن العثور على الطبقة المصدرة للجلمود، فيمكن تقدير المسافة والاتجاه الذي تحركه الجليد.

إنّ أكثر الأشكال الأرضية الناتجة عن الجليديّات شيوعًا هي *المورينات* (*Moraine*). وهي مظاهر أرضية على شكل ظهور (جمع ظهر) تبين حدود التدفق الجليدي. ومن أنواع المورينات المختلفة كلها، فإنّ أكثرَها أهميةً *المورينات* النهائية؛ لأنها تحدد أبعد نقطة وصل إليها الجليد (الشّكل 40.23).

تلاحظ المظاهر الجيولوجية بشكل أفضل من الطائرة. في المرة القادمة عندما تسافر بالطائرة، اطلب مقعدًا بجانب النافذة وتمتع بالجيولوجيا أسفل منك.



الشّكل 40.23
أشكال التّرسيب الجليدي. أهمها المورينات النهائية التي تحدد أبعد نقطة وصلها تقدم الجليد.

من أشكال الأرض الأخرى المميزة للرسوبيات الجليدية *الكثيب الجليدي*. وهو ,l, تل طويل يشبه ظهر الحوت. تتشكّل بواسطة الجيليديات القارية، وتصطفّ في اتجاه التدفق الجليدي، ولها نهاية شديدة الانحدار على الجانب الذي يأتي منه الجليد. أما جانبها الآخر، فله ميل متدرج لطيف (الشّكل 41.23). وقد يكون أشهر درملين في الولايات المتحدة هو تل بنكر في مساشوسيت.

إنّ العديد من بحيرات العالم الصغيرة والكبيرة هي نتاج فعل الجليديّات. تعمل هذه الجليديّات على تعميق الوديان، وترسيب رسوبيات تكون كحدود تحجز تصريف النّهر في بعض الوديان مكونة بحيرات. وتعدّ بحيراتُ فنجر في نيويورك، و 10000 بحيرة في مينوسوتا، والبحيرات العظيمة في أمريكا شاهدًا على نتاج فعل الجليديات.

الشّكل 41.23
خريطة طبوغرافية تبين الشّكل البيضويّ المميز للكثيب الجليدي في نيويورك. الكثيب ذو ميل حادّ من الجانب الذي يأتي منه الجليد، وذو ميل تدريجي لطيف من الجانب الآخر. بالنظر إلى الخريطة، هل يمكن أن تحدد اتجاه تدفق الجليد القاري؟

لمعلوماتك

■ من المظاهر الفريدة لتكوّن الكثبان الرملية التطبق المتقاطع الموجود على الجانب الخلفي من الكثيب (بالنسبة إلى الرّيح).. يشير اتجاه التطبق المتقاطع إلى اتجاه الرّيح (أو تيار الماء) الذي رسّب هذه الرّسوبيّات. ومن أفضل الأماكن لرؤية تطبق متقاطع قديمة حديقة زيون في يوتا. التطبق المتقاطع مظهر شائع في دلتا الأنهار ورسوبيات الأنهار.

لمعلوماتك

■ مع أنّ بيئة الصحراء تفتقر إلى الرطوبة، فما يزال الماء هو العامل الرئيس لتعرية الرّسوبيّات ونقلها. كما يندر وجود الماء في الصحراء، يندر المطر الغزير، وعند حدوثه لا يجد فرصة للتخلل في الأرض، مما يؤدي إلى فيضان لحظيّ قويّ. تحمل هذه الفيضانات ثم ترسب كميات كبيرة من الفتات والرّسوبيّات نحو أسفل منحدرات الجبال، أو على قاع الوديان العريضة والأحواض.

■ **نقطة فحص**

ما أشكال الأرض التي يمكن استخدامها لمعرفة اتجاه حركة الجليد؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يمكن معرفة اتجاه حركة الجليد من الحزوز (خدوش طولية متوازية في اتجاه حركة الجليد)، *وتلال روشي* (تلال صغيرة غير متكافئة)، *والكثيب الجليدي* (تلال طولية الشّكل، شكلها مثل ظهر الحوت).

■ 8.23 عمل الرّيح

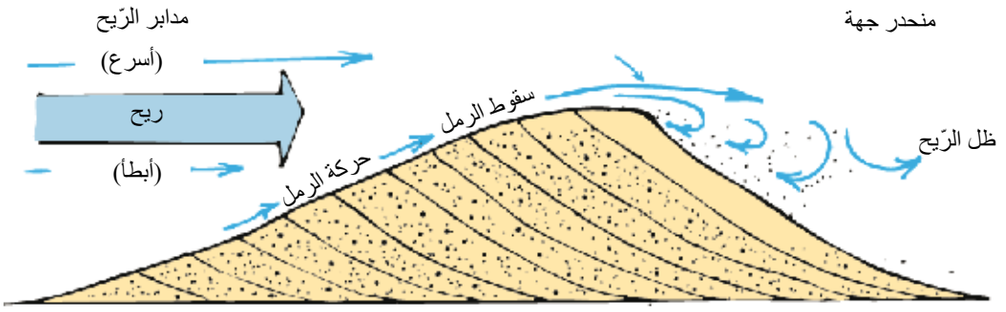
الماء هو العامل السّائد بين عوامل التغير الذي يغير شكل الأرض، إضافة إلى الهواء الذي يقوم بدور كذلك. إذا كنت يومًا في ريح عاصفة، أو على الشاطئ في يوم عاصف، فقد تكون شعرت بتأثير العسف الرملي للرياح التي تحمل الحبيبات في الهواء إلى مسافات بعيدة. ولقد عُثر على غبار أحمر من الصحراء الكبرى في شمال إفريقيا على جليديات الألب في سويسرا، وعلى جزر في المحيط الكاريبي. وتُحمل حبات ناعمة من الكوارتز من أواسط وسط آسيا إلى جزر هاواي.

تتحرك الرّياح في الصحراء فوق سطح رمليّ جاف. فتحمل الحبات الصغيرة سهلة النقل، وتترك الحبات الكبيرة الصعبة التحريك خلفها. تنتقل الحبات الصغيرة على امتداد أرض الصحراء، فتضرب حبات أكثر إلى الهواء لتكوّن *علامات النيم (Ripple Marks)* والتي هي كثبان رملية صغيرة (الشّكل 42.23). يمكن لعلامات النيم أن تتكون بحركة حبات الرمل في تيارات الماء كما ترى في الأنهار الضحلة، أو تحت الأمواج عند الشواطئ.

تبدأ **الكثبان الرملية *(Sand Dunes)*** في التشكّل عند وجود عائق أمام تيار الهواء مثل صخرة أو تجمع نباتات (الشّكل 42.23). ومع حركة الرّيح فوق الجسم وحوله، تقل سرعة الرّيح، فتهبط حبات الرمل من الهواء في منطقة ظل الرّيح (الشّكل 43.23). يشكّل الرمل الهابط كومة، ويحجز تيار الهواء أكثر. ومع زيادة الرمل وزيادة الرّيح، تنمو الكومة لتصبح كثيبًا. ومع استمرار نمو هذا الكثيب فإنه يبدأ بالتحرك مع الرّيح.

الشّكل 42.23

علامات النيم المكونة من هبوب الرّيح هي مرتفعات ضيقة من الرمال مفصولة بقيعان أعرض. وتعدّ كثبانا رملية صغيرة طولية. يمكن رؤية الكثبان الرملية الكبيرة في خلفية الصورة.



الشّكل 43.23
تكوّن الكثبان الرملية عند اعتراض جريان الرّيح تقلّ سرعتها، فتنزل حبات الرمل في منطقة ظلّها. ومع استمرار هذه الرّيح، تترسب حبات الرمل أكثر ويتكون الكثيب. ومع نمو الكثيب، تتحرك حبات الرمل في جهة الرّيح نحو أعلى المنحدر حتى القمة، ثم تسقط في جهة مدابر الرّيح الذي يؤدي إلى حركة الكثيب كله مع الرّيح.

يتحرك الكثيب الرملي؛ لأنّ الحبات في منطقة جهة الرّيح على المنحدر تتحرك نحو الأعلى وفوق قمة الكثيب، وتسقط على جهة مدابر الرّيح. وبهذه الطريقة، يحرك الرّيح الرمل من مؤخرة الكثيب ويرسبه في مقدمته. ومع الزمن تؤدي هذه العملية إلى تحريك الكثيب كله.

ملخّص المصطلحات

دورة المياه Hydrologic cycle: الدورة الطّبيعيّة لحالات الماء جميعها: من المحيط، إلى الغلاف الجوّيّ ثمَّ إلى اليابسة، وأخيرًا إلى المحيط.
المياه الجوفيّة Groundwater: المياه تحت الأرض من نطاق الإشباع.
المسامية Porosity: حجم الفراغات في الصخر أو الرّسوبيّات مقارنة حجم المادة الصلبة كلها مع الفراغات.
الموصليّة الهيدروليكية Hydraulic conductivity: قياس قابلية صخر أو راسب مسامّي على تمرير سائل.
مستوى الماء الجوفيّ Water table: الحدّ العلوي لنطاق التشبع الذي تكون المسامات تحته مملوءة بالماء كليًّا.
النظام الارتوازي Artesian system: نظام يكون فيه الماءُ الجوفيّ المحصور تحت ضغطٍ قادرًا على الارتفاع فوق منسوب الماء الجوفيّ العلوي.
تدفق مضطرب Turbulent flow: الماء المتدفق عشوائيًّا وبسرعة فيحرك كلّ شيء.
التدفق الرقائقي Laminar flow: تدفق الماء بسهولة وببطء في خطوط مستقيمة دون خلط للرسوبيات.
الممال Gradient: النقصان العمودي في الارتفاع لقناة النّهر مقسومًا على المسافة الأفقية للنقصان، انحدار الميل.
الصبيب Discharge: كمية الماء التي تعبر موقعًا محددًا في قناة النّهر خلال فترة زمنية محددة.
ضفة مقطوعة Cut bank: ضفة حادة في الانثناء الخارجي لقناة النّهر؛ منطقة تعرية.
حاجز نقطي Point bar: ضفّة رملية متدرجة في الانثناء الداخلي لقناة النّهر؛ منطقة ترسيب.
سهل فيضي Floodplain: سهل عريض من أرض تقريبًا منبسطة على جانبي قناة النّهر تغمر في أثناء الفيضان. السهل مكون من رسوبيات نقلت في أثناء الفيضان.
دلتا Delta: تراكم رسوبيات، وغالبًا ما تشكّل سهلًا مثلث الشّكل، أو كالمروحة تترسّب عند وصول النّهر إلى جسم مائي ثابت.
جليديات Glacier: كتلة كبيرة من الجليد تشكّلت من تراص الثّلج وإعادة تبلوره. وتتحرك نحو أسفل المنحدر تحت تأثير وزنها.
تراكم Accumulation: كمية الثّلج المضاعفة وعملية إضافة الثّلج إلى جليديات.
تآكل Ablation: كمية الجليد المفقودة وعملية فقدان الجليد من جليديات.
مجروفات Drift: مصطلح عام لرسوبيات الجليديّات.
كثيب رملي Sand dune: شكل أرضي تكوّن عند اعتراض جسم جريان التيار فتقل سرعة الهواء ويترسّب الرمل المنقول.

1.23 دورة المياه

1. أين يحدث معظم هطل الأمطار على الأرض؟
2. عند هطل الماء على اليابسة، أين يذهب الماء؟ أين ينتهي معظم الماء على اليابسة؟

2.23 المياه الجوفيّة

3. ميز بين *المسامية و التوصيل الهيدروليكي*.
4. إذا حفرت حفرة في نطاق التّهوية، فهل تمتلئ بالماء؟ اذكر السبب إذا كان الجواب بالنفي أو الإيجاب.

5. قارن بين نطاق كلّ من التّهوية والإشباع.
6. أي أنواع التربة تسمح لكميات كبيرة من الأمطار بالرشح؟
7. ما النظام الارتوازي؟ وكيف يتشكّل؟

3.23 عمل المياه الجوفيّة

8. صف نتيجة واحدة للضّخّ الجائر للمياه الجوفيّة.
9. كيف يصبح ماء المطر حمضيًّا؟ كيف يؤثر في الحجر الجيري؟
10. كيف تتشكّل الصواعد والهوابط؟
11. سمِّ ثلاثة مظاهر تعرية تحدث بسبب المياه الجوفيّة في الحجر الجيري.
12. ما الفرق بين الكهف والمغارة؟

4.23 المياه السّطحيّة وأنظمة التّصريف

13. ما معنى مال النّهر؟ وكيف يؤثر في سرعة النّهر؟
14. ماذا يحدث لسرعة النّهر عندما يزداد الصبيب؟ وماذا يحدث للصبيب عندما تزداد سرعة النّهر؟
15. كيف يؤثر شكل القناة في تدفقها؟

5.23 عمل المياه السّطحيّة

16. أيّ التدفقين يعدّ الناقل الأكبر للرسوبيات: الرقائقي أم المضطرب؟ لماذا؟
17. اذكر ثلاث طرائق تعرِّي فيها حركة المياه قناة النّهر. أيها تؤدي إلى تكون الحفر العميقة؟
18. أيّ العوامل مسؤولة عن تكون مجرى النّهر؟
19. تحت أيّ ظرف يتكون النّهر المتعرج على امتداد سهل فيضيّ؟
20. أيّ أنواع الأنهار ومجاريها توجد في أقاليم الجبال العالية؟
21. تحمل الأنهار – غير الماء- كميات كبيرة من الرّسوبيّات من مكان إلى آخر. ما المدى الحجمي للحبيبات التي يمكن أن يحملها النّهر السريع؟
22. ما الدّلتا؟

6.23 الجليد والجليديّات

23. كيف تتكون الجليديّات؟
24. بأي طريقتين تتدفق الجليديّات؟
25. تحت أيّ ظروف تتقدم مقدمة الجليد؟ ماذا عن التراجع؟

7.23 عمل الجليديّات

26. ما الشّكل الأرضي الأكثر شيوعًا الذي ينتج عن الجليديّات؟
27. ما مظاهر التعرية التي توجد في مناطق الجليديّات الألبية؟ انظر الشّكل 38.23
28. ما المظاهر الأرضية الناجمة عن ترسيب الجليديّات؟

8.23 عمل الرّياح

29. كيف تهاجر الكثبان الرملية؟
30. كيف تتشكّل علامات النيم؟

تمارين

مرة أخرى، لا تجزع من العدد الكبير من المسائل.
إذا كان المقرر يشتمل على العديد من الفصول، فإن المدرس سيختار بعض التمارين فقط.

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● ما النسبة المئوية للماء العذب في الأرض؟ وأين يوجد معظمه؟
2. ■ أين ينتهي معظم ماء المطر الساقط على اليابسة قبل أن يصبح مطرًا مرة أخرى؟
3. ● من خزّان محصور، يمكن للماء أن يرتفع في بئر فوق قمة الخزّان. ماذا يسمى هذا النظام؟
4. ■ لأيّ ارتفاع يصل الماء في بئر في خزّان غير محصور؟
5. ■ كيف تتأثر دورة المياه المحلية من سحب مياه الشرب من نهر، وإعادة ماء المجاري إلى النّهر نفسه؟
6. ● هل يسمى الماء في نطاق التّهوية ماء جوفيًّا؟ لماذا؟
7. ♦ إذا كان مستوى الماء الجوفيّ في منطقة مجاورة لنهر أقل منها في النّهر، هل يتدفق الماء في النّهر إلى الماء الجوفيّ أم العكس؟ اشرح.
8. ♦ مع زيادة الجريان السّطحي إلى النّهر، أيّ متغيرات تدفق النّهر ستزداد (كما شرح في النص)؟
9. ● ما معنى هندسة النّهر؟
10. ● ماذا يحدث لسرعة نهر زاد صبيبه إلى الضعف، في حين بقي حجم القناة وشكلها ثابتين؟
11. ● ماذا يحدث لسرعة نهر تضاعف كلّ من صبيبه ومقطعه العرضي؟
12. ● ما المتغيرات الثلاثة المؤثرة في سرعة النّهر؟
13. ● ما دور الاحتكاك في الحركة الخارجية للجليد؟ وكيف يؤثر في الحركة الداخلية؟
14. ♦ يتناقص مال النّهر تدريجيًّا مع التقدم، ويزداد عرض قناته. ما العوامل التي تزيد الصبيب؟ وما العوامل التي تقلله؟
15. ● في الدّلتا، أين تترسب الحبات الخشنة متبوعة بالناعمة؟ دافع عن إجابتك.
16. ♦ ما سبب تكون التفرعات عن القناة الرئيسة في منطقة الدّلتا؟

17. ● ما الحفرة الغائرة؟ ما العوامل المساهمة في تكونها؟
18. ■ أيّ العوامل الثلاثة الآتية ينقل الجلاميد الكبيرة: الرّياح، الجليد، المياه؟ لماذا؟
19. ■ أيّ العوامل الثلاثة الذي ينقل الصخور الصغيرة فقط؟ لماذا؟
20. ♦ تتكوّن صخور الكربونات بشكل رئيس في البيئة البحرية. لماذا نجد كميات كبيرة من صخور الكربونات على اليابسة؟
21. ● هل توجد أنهار تحت الأرض؟ برّر إجابتك.
22. ♦ هل تعتقد أنّ تدفقًا رقائقيًّا لنهر يمكن أن يصبح مضطربًا دون زيادة كمية الماء فيه؟ برّر إجابتك.
23. ● صف تكوّن الهوابط.
24. ■ لماذا تعدّ المياه السّطحيّة مشكلة ومدمرة للرسوبيات والصخور الرسوبية؟
25. ■ لماذا تتكون الحواجز النقطية على الانحناء الداخلي لقناة النّهر؟
26. ■ كيف تختلف تلال روشي عن الكثيب؟
27. ● ما المشاهد الأرضية الأكثر شيوعًا التي تحتها الجليديّات؟
28. ■ كيف تختلف الرّسوبيّات الجليدية عن رسوبيات الأنهار؟
29. ■ إزالة المياه الجوفيّة قد يسبب الهبوط. إذا توقف ضخّ المياه الجوفيّة، فهل سترتفع الأرض مرة أخرى إلى مستواها الأصلي؟ برّر إجابتك.
30. ♦ هل يجب على النّهر زيادة سرعته ليحمل رسوبيات أكثر؟ اشرح.
31. ● ما الذي يميز كتلة كبيرة من الجليد عن الجليديّات؟
32. ■ لماذا تتكون الأخاديد على سطح الجليديّات؟
33. ■ هل يتحرك الجليد كله في الجليديّات بالسرعة نفسها؟ اشرح.
34. ■ ما أهمية الجلاميد الكبيرة غير الموجودة في مكانها التي توجد أحيانًا في رسوبيات الجليديّات؟
35. ● كيف تتكون الكثبان الرملية؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1- ■ نعلم في الشّكل 1.23 أنّ 97.2% من مياه الأرض هي في المحيطات والباقي 2.8% مياه عذبة. ما النسبة المئوية من هذه المياه العذبة موجودة في: أ-جليد الأقطاب؟ ب- المياه الجوفيّة؟ ج- الأنهار والبحيرات والجداول؟

2- ■ يزداد عرض النّهر مع تقدمه نحو أسفل مجراه. باستخدام إجابتيك للفرعين أ و ب، صف تغير الصبيب.

أ- إذا كانت مساحة مقطع النّهر 1 م^2 وسرعة النّهر 0.5 م/ ث . ما مقدار صبيب النّهر؟

ب- إذا زادت مساحة مقطع النّهر إلى 2 م^2 وبقيت السرعة ثابتة، فما مقدار صبيب النّهر؟

ارجع إلى صندوق تصور العلوم الطّبيعيّة صفحة 607 – لحلّ مسائل 3، و4، و5.

3- ■ تم حفر بئر ضخّ في خزّان رمليّ. وقبل الضّخّ، تم قياس الممال الهيدروليكي ومعدل التدفق فكانا 0.0001 و1م^3/ يوم على الترتيب. وعند بدء الضخّ أصبح الممال 10 مرات أكبر مما قبل ذلك. كم مرة يزداد معدل التدفق؟

4- ♦ يعطينا قانون دارسي *معدل حجم التدفق* – الحجم في وحدة الزمن (مثل م^3/ يوم). أحيانًا لا يمكن معرفة مساحة مقطع القناة للحساب في قانون دراسي. هذا صحيح عند استخدام بئر لمعرفة التدفق في خزّان. حجم البئر أقل من المقطع العرضي لخزّان. لذا لا نستخدم مساحة المقطع العرضي لحساب معدل التدفق. وهناك طريقة أخرى لمعرفة الكمية، هي وحدة المساحة. فمثلا، إذا كان لدينا م^3 فإننا نعرف أنّ قاعدته 1م^2 - مساحة مقطع المكعب- وارتفاعه 1م. وإذا ملأنا المكعب بالماء، فسنقول إنّ لدينا مترًا من الماء في وحدة المساحة. يمكن إعادة ترتيب قانون دارسي لحساب معدل التدفق في وحدة المساحة، ويسمى صبيبا نوعيًّا specific discharge ويستعمل وحدات طول في وحدة الزمن. (مثلا م/ يوم). وبتكملة الجزء أ إلى جـ. سنعرف كيفية ارتباط الصبيب النوعي بمعدل التدفق الحجمي. (مساعدة: افترض أنّ وحدة التوصيل الهيدروليكي م/ يوم ووحدة المساحة م^2).

(أ) افترض ضخ 1م^3 من الماء من بئر إلى خزّان أسطواني فارغ. إذا كان مستوى الماء أعلى من القاعدة بمترين، فما مساحة مقطع الخزّان؟

(ب) إذا احتجنا إلى نصف يوم لضخّ 1 م^3 من الماء للخزّان، فما معدل التدفق مقيسًا بالحجم لكل وحدة زمن وبالصبيب النوعي كذلك؟

(ج) اكتب قانون دارسي لحساب الصبيب النوعي.

أرجو أن تتأكد من فهم المسألة 4 قبل الانتقال إلى المسألة 5.

5- ♦ القمة الهيدروليكية في نقطة أ هي 209م. أما في نقطة ب التي تبعد 300 م عن أ فهي 210م. يتكون الخزّان الجوفيّ من رمل بتوصيل هيدروليكي 150م/ يوم. تتحرك المياه الجوفيّة مباشرة من نقطة ب إلى أ. ما مقدار الصبيب النوعي؟

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا كنت متمكنًا من استيعاب هذا الفصل، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل. وإنْ أجبت عن أقل من ذلك، فعليك أن تدرس أكثر قبل الاستمرار.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤالٍ مما يلي:

1. كمية الصبيب في النّهر عادة _____ نحو أسفل مجرى النّهر:
(أ) تصبح مضطربة
(ب) تتعرج
(ج) تقل
(د) تزداد
2. معظم مياه الأرض العذبة موجودة:
(أ) في البحيرات.
(ب) في الجليديّات.
(ج) في الأنهار.
(د) تحت الأرض.
3. تقوم المياه السّطحيّة بكلّ مما يلي ما عدا:
(أ) التعرية.
(ب) التّرسيب.
(ج) هبوط الأرض.
(د) تكوين الدّلتا.
4. تُقاس أكبر كمية من الماء يمكن لتربة حمله من خلال:
(أ) المسامية.
(ب) النفاذية.
(ج) درجة الإشباع.
(د) كمية التغذية *recharge*.
5. يصبح الهطل الذي لا يرشح إلى باطن الأرض ولا يتبخّر:
(أ) مياها جوفيّة.
(ب) مستوى المياه الجوفيّة.
(ج) رطوبة تربة.
(د) جريانًا سطحيًّا.
6. تتكون الكثبان الرملية لأنّ الرّيح:
(أ) تبعثر الرمال.
(ب) تحرك الرمال من مؤخرة الكثيب إلى مقدمته.
(ج) تحرك الرمال من مقدمة الكثيب إلى مؤخرته.
(د) تعترض التتابع الطبيعي للترسيب.
7. تتكون الدّلتا عندما:
(أ) تغلق الفيضانات الدورية قناة النّهر.
(ب) تغلق التعرية قناة النّهر.
(ج) يقلّ مال النّهر.
(د) يدخل النّهر إلى جسم مائي ثابت.
8. العوامل المؤثرة في سرعة النّهر هي:
(أ) الصبيب.
(ب) طول القناة.
(ج) مال النّهر.
(د) ب+جـ .
(هـ) أ+ جـ.
9. يتحول الثّلج إلى جليد عند تعرضه لـ:
(أ) نقصان الحرارة.
(ب) ضغط.
(ج) مطر.
(د) انزلاق قاعدي.
10. تسمى المياه تحت سطح نطاق التشبع:
(أ) مياهًا جوفيّة
(ب) رطوبة التربة.
(ج) مستوى المياه الجوفيّة.
(د) نظامًا ارتوازيًّا.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

١أ، ٢ب، ٣جـ، ٤أ، ٥د، ٦ب، ٧أ، ٨د، ٩ب، ١٠أ

اكتشف المزيد

http://water.usgs.gov/education.html

هذا الموقع هو من المصادر الجيدة لتعلم خصائص تضاريس العالم. يحتوي على مسرد للمصطلحات المصورة الوصفية لتضاريس الأرض، إضافة إلى خطة درس عند المستوى الابتدائي إضافة إلى روابط مع خطط أخرى.

http://www.geocities.com/monte7doc

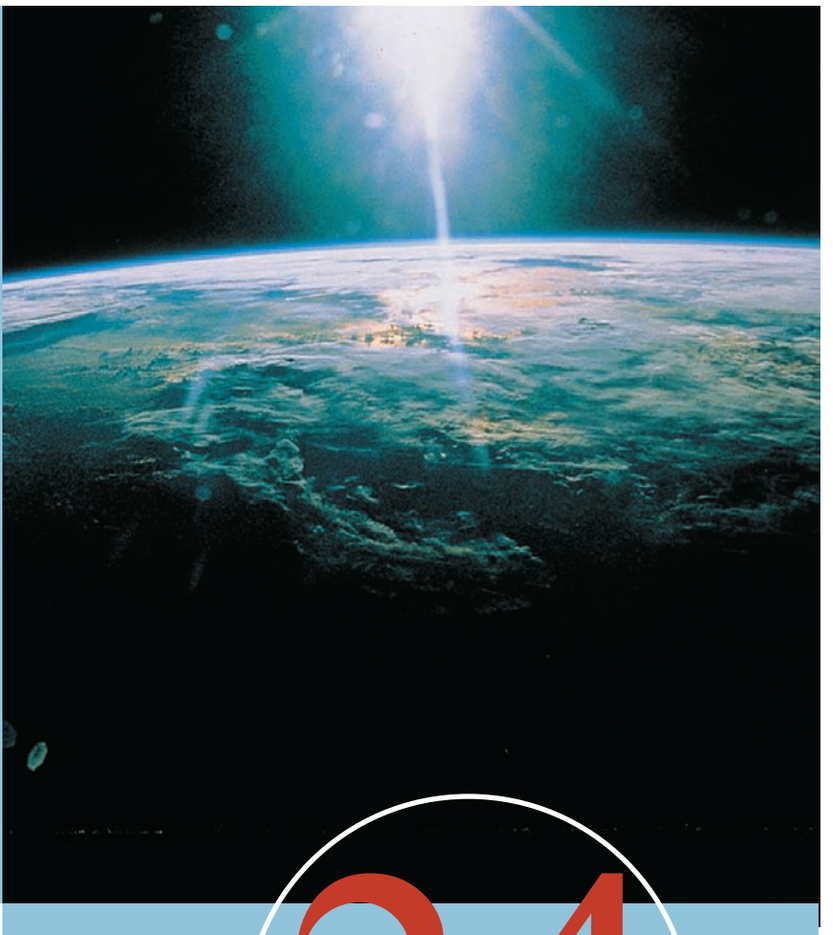
تزدحم صفحة الموارد التعليمية هذه بالروابط مع مواقع ممتازة حول الماء والبيئة. راجع قسم علم الماء للمدارس للحصول على معلومات حول الماء مليئة بالصور، والبيانات. إضافة إلى طريقة مصادر مرفقة بمركز تفاعلي لاختبار معارفك حول الماء.

تمتلئ الصفحة الرئيسة لمجلس الثقافة البيئية بالمعلومات حول الهواء، والماء، والتعرية، والنظم البيئية، والمناخ. يزخر الموقع بالنصوص المرفق بها روابط مع مواقع أخرى واقتراحات.

الفصل 23 مصادر على الشبكة

دروس تعليمية
- نشاط الدورة الهيدرولوجية
- تشكيل سطح الكوكب

أشرطة فيديو
اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط



المحيطات، والغلاف الجوي، والتأثيرات المناخية

24

1.24 الغلاف الجوي للأرض ومحيطاتها

2.24 مكونات محيطات الأرض

3.24 أمواج المحيط ، المدّ والجزر وخطوط الشّواطئ

4.24 مكونات الغلاف الجوي للأرض

5.24 الطّاقة الشّمسيّة

6.24 القوى المسبّبة لحركة الهواء

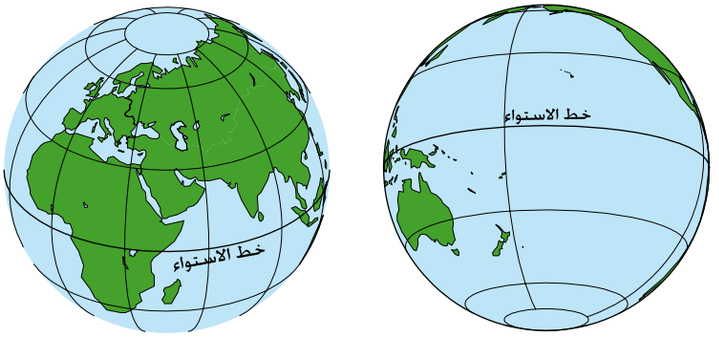
7.24 أنماط الدوران العالميّ

■ يتراءى لنا شكل الأرض من الفضاء باللونين الأزرق والفضي؛ فاللون الأزرق سببه الماء في المحيطات، أما اللون الفضي فبسبب الغيوم في الغلاف الجوي. كيف نشأ غلافنا الجوي الجميل والمحيطات؟ مِمَّ يتكون الغلاف الجوي؟ كيف يتفاعل كلّ من الغلاف الجوي والمحيطات؟ هناك العديد من الأسئلة التي ترد إلى العقل.

سوف نبدأ الإجابة عن هذه الأسئلة من خلال تعرف تطوُّر الغلاف الجوي للأرض والمحيطات. ثم نستكشف مظاهر مهمة لهذين الغلافين المائعين عند البحث في انتقال الطاقة بينهما، وكيف يؤثر نقل الحرارة في مناخ الأرض. ونختم بالنظر في الآليات التي تؤثر في أنماط جريان الغلاف الجوي والمحيطات وتأثير هذه الأنماط في المناخ.

1.24 الغلاف الجوي للأرض ومحيطاتها

يتكون سطح الأرض من ماء بنسبة 71% (الشكل 1.24)، ويابسة بنسبة 29%. معظمها موجودة في النصف الشمالي للكرة الأرضية (الشكل 2.24). ومع أننا نسمّي كلّ محيط على حدة إلا أنها في الحقيقة محيط واحد كبير متواصل.



(أ) نصف الكرة المحيطي (ب) نصف الكرة القاري

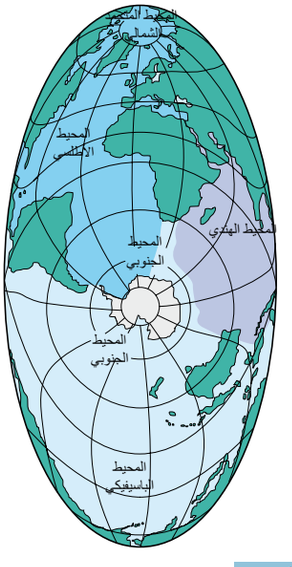
الشّكل 1.24
معظم سطح الأرض مغطى بالماء. يمكن تقسيم الأرض إلى: (أ) جزء تسوده المحيطات. (ب) جزء تسوده اليابسة.

كما تعلمنا في البند 1.23، فإنّ المحيطات هي الخزان الذي تتبخر منه المياه إلى الغلاف الجوي لتهطل لاحقًا على شكل مطر أو ثلج. تؤدّي المحيطات دورًا رئيسًا في تعديل مناخ الأرض ودرجة حرارتها. وتذكر من الفصل السادس أنّ للماء حرارة نوعية عالية؛ أي أنّها تسخن وتبرد ببطء. لذا، فإنّ المياه تنقل كميات كبيرة من الطاقة الحرارية إلى ما حولها عندما تبرد وتمتص كميات كبيرة من الطاقة الحرارية مما حولها عندما تسخن. هذه الخاصية للماء هي السبب وراء الحرارة المعتدلة للأرض على حدود المحيطات. ويمكن رؤية التأثير المعتدل للمحيطات عند النظر إلى تغير الحرارة الفصلي لمدينتين على خط العرض نفسه: مدينة سان فرانسيسكو الساحلية في كاليفورنيا ومدينة وشيتا الداخلية في كانساس (الشكل 3.24)؛ ففرانسيسكو لها تغير حرارة فصلي قليل، أما وشيتا ففيها تذبذب فصلي كبير؛ شتاء بارد وصيف حار. تعمل المحيطات عملاً جيدًا في تعديل المناخ، من خلال جعل الصيف أبرد والشتاء أدفأ.

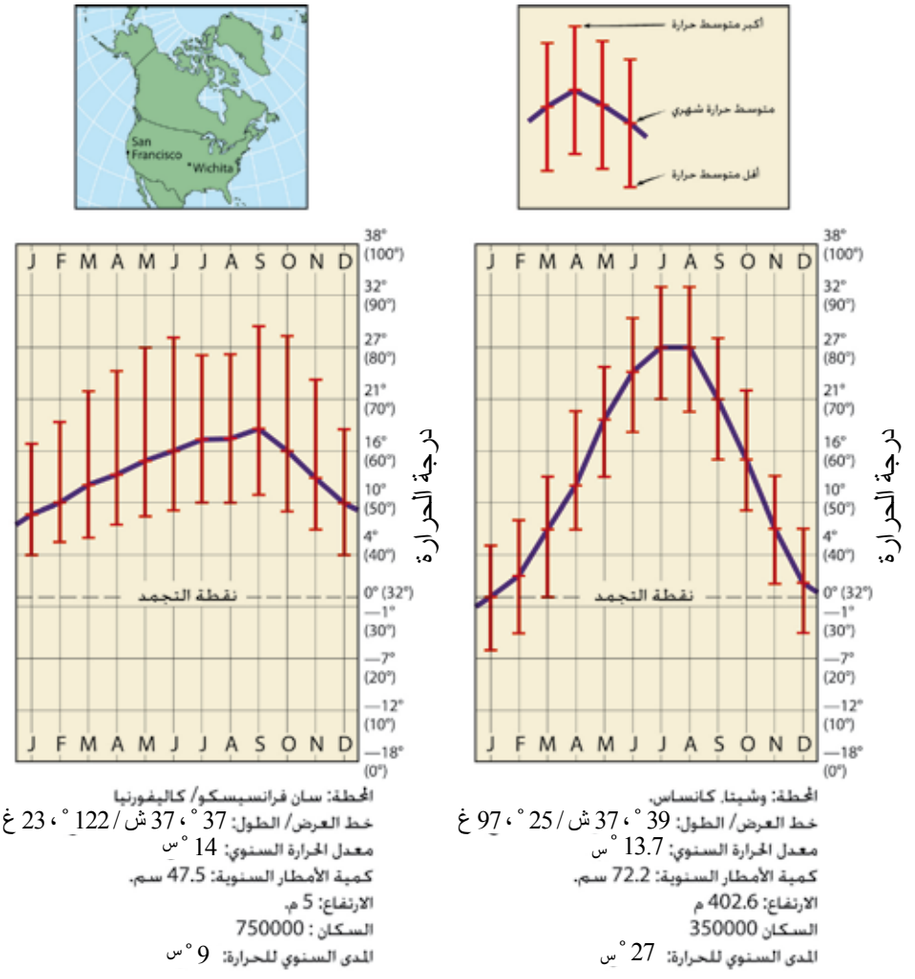
تطور الغلاف الجوي للأرض والمحيطات

يحتمل أن كان للأرض غلاف جويّ - غلاف من الغازات يحيط بها — قبل وصول الشمس إلى وضعها النهائي. لقد كان هذا الغلاف الجوي الابتدائي مكوّنًا من الهيدروجين والهيليوم فقط، وهما أكثر عنصرين شيوعًا في الكون، مع كميات قليلة من الأمونيا والميثان. كما أنّ هذا الغلاف الجويّ لم يحتو على الأكسجين الحرّ. ولكن بعد أن أصبحت الحرارة والضغط في المركز المنكمش للشمس- التي ما زالت تتكون- عاليين بما يكفي لبدء تفاعل اندماج نووي، ولدت شمسنا. وقد أدى تحرّر الطاقة من تكون الشمس إلى تدفق خارجي قوي من الأجسام المشحونة؛ تدفق قوي وكافٍ لإزالة الغلاف الجوي الأولي للأرض. عندها تكون غلاف جوي جديد.

وقد حدثت أوائل مراحل تكونه غالبًا عندما تسرّبت الغازات المحبوسة في داخل الأرض الحار من خلال البراكين والشقوق إلى سطح الأرض. وقد تسللت هذه الغازات إلى الخارج من خلال الثورانات المبكرة التي كانت غالبًا كالغازات الموجودة في ثورانات البراكين اليوم — ما يقارب 90 — 95% بخار ماء، والباقي ثاني أكسيد الكربون. لم يحتوِ الغلاف الجوي المبكر حتى الآن على أكسجين حرّ، ولا يستطيع دعم الحياة الموجودة حاليًا.



الشّكل 2.24
عند وضع مركز الخريطة فوق القطب الجنوبي، يمكن رؤية انتشار محيطات الأرض بالنسبة إلى الحجم والكمية؛ حيث يشكل المحيط الهادئ أكثر من نصف محيطات العالم وهو أكبر محيط. في الواقع، يمكن وضع كلّ من المحيطين الأطلسي والهندي في المحيط الهادئ.



الشّكل 3.24
مدى تغيرات درجة الحرارة في مدينتي سان فرانسيسكو في كاليفورنيا ووشيتا في كانساس.

كما تعلمنا في الفصل الحادي والعشرين، فإنّ الأكسجين الحرّ لم يتوافر في غلاف الأرض الجوي حتى ظهرت بكتيريا أولية تسمى سيانوبكتيريا، وكائنات دقيقة أخرى تشبه الطحالب. تمامًا كالنباتات الخضراء التي تبعت. فقد استخدمت هذه الكائنات التمثيل الضوئي لتحويل ثاني أكسيد الكربون والماء إلى كربوهيدرايت وأكسجين حرّ:

$$CO_2 + H_2O + \text{ضوء} \rightarrow CH_2O + O_2$$

وبعد بداية تراكم الأكسجين الحرّ (O_2)، قامت التفاعلات الكيميائية بإنتاج طبقة الأوزون في أعلى الغلاف الجوي. ولأنّ طبقة الأوزون تسلك سلوك مصفاة لتقليل كمية الأشعة فوق البنفسجية الواصلة إلى سطح الأرض، فقد أصبح السّطح قادرًا على دعم الحياة.

ومع استمرار تبريد الأرض، فإنّ كميات بخار الماء الكبيرة التي أُنتجت تكاثفت لتكون المحيطات. وقد أسهمت قطع المذنبات السّاقطة من الفضاء في إضافة بعض الماء للمحيطات حيث تعدّ أساسية لتطور الحياة، ومن ثَمَّ لتطور البيئة الشاملة الموجودة حاليًّا وبقية تاريخ الأرض.

■ **نقطة فحص**

1. لِمَ توجد أكثر المُناخات حرارة على الأرض في وسط القارات؟
2. هل وجدت طبقة الأوزون قبل تطور السيانوبكتيريا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. تعمل الحرارة النوعية العالية للماء على إبقاء المناطق الشاطئية بعيدة عن درجات الحرارة المتطرفة. لذا، تكون درجات الحرارة العالية بعيدة عن المحيط.
2. لا. تكوّن الأوزون سُبِق بتكوين الأكسجين الحرّ الذي جاء من البناء الضوئي لكائن السيانوبكتيريا.

■ 2.24 مكونات محيطات الأرض

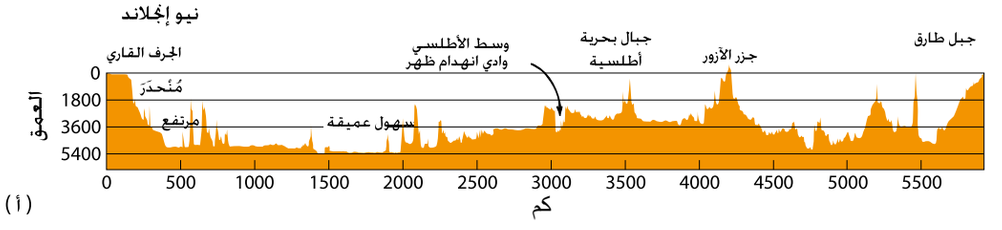
تعدّ المحيطات على الأرض المظهر السائد على كوكبنا. وقد تعجب بعض الفلاسفة من عدم تسمية كوكبنا محيطًا بدلاً من تسميته أرضًا. إذا صرفنا الماء من محيطات الأرض، فإننا سنرى سلاسل جبلية مدهشة في وسط أحواض المحيط، وأخاديد عميقة تحيط بالعديد من القارات. وليس قاع المحيط المنبسط العديم المظاهر الذي تم تصور وجوده قبل الاكتشافات في أواسط القرن العشرين.

إنّ المحيط جسم مائيّ، مالح، هائل. وتسهم طبيعته المالحة في تنوع كثافته التي تسهم بدورها في حركة تيارات المحيط. تتحرك الأمواج خلال المحيط استجابة لحركة الغلاف الجوي. ولكن المحيط أيضًا يستجيب للتأثيرات خارج الأرض؛ فالقمر والشمس يكوّنان المدّ والجزر. ولأنّ جزءًا كبيرًا من سطح الأرض مغطًّى بالمحيطات، فإنّ هذه المحيطات تحوي كنوزًا عالمية قيمة. ولكن بسبب اتساعها - لا زال لدينا الكثير لنكتشفه - نعرف عن سطح القمر أكثر مما نعرف عن قاع المحيط.

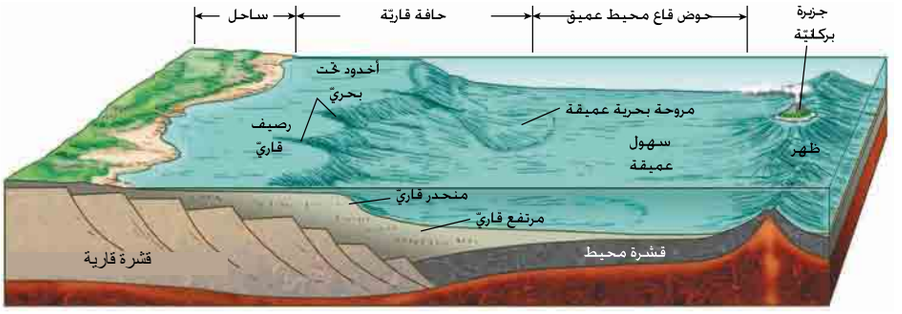
قاع المحيط

إنّ مظاهر قاع المحيط واضحة جدًّا. في الحقيقة، ترتفع الأرض فوق سطح البحر بمتوسط 840 مترًا. في حين ينخفض قاع المحيط تحت سطح البحر بمعدل 3800 متر. إذا قارنا ارتفاع جبل إفرست في الهملايا وهو 8848 مترًا فوق سطح البحر من جهة، وعمق أخدود مريانا في المحيط الهادئ 11035 مترًا تحت سطح البحر من جهة أخرى، فسنرى أنّ المحيطات أكثر عمقًا من ارتفاع جبال الأرض.

يتكون قاع المحيط من حواف قاريّة، وأحواض محيط عميقة، وظهور وسط محيط، وأخاديد عميقة. ولكن بعيدًا عن حواف القارات، تختلف طبوغرافية قاع المحيط كثيرًا؛ فمرتفعات ظهور وسط المحيط التي تحيط بالعالم عالية ومتباينة، أما قاع المحيط المغطى بالرسوبيات فمنبسط نسبيًّا، وقد تكون أخاديد المحيط عميقة بالقرب من حدود القارات (الشكل 4.24).



الشكل 4.24
تبيّن خريطة قاع المحيط الاختلافات الطبوغرافية. (أ) مقطع المحيط الأطلسي. (ب) مقطع المحيط الهادئ.



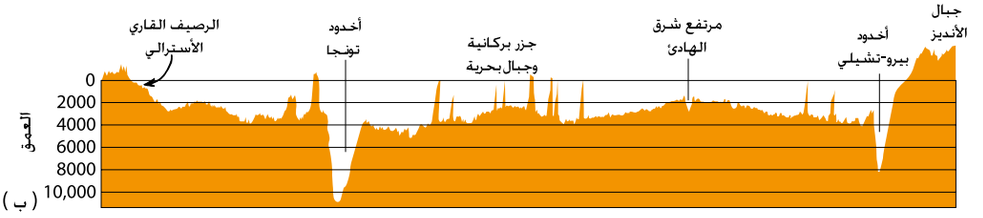
الشّكل 5.24
مقطع يبين الحافة القارية من اليابسة إلى قاع المحيط العميق.

توجد **الحافة القاريّة** (***Continental margin***) على الحدود بين القارة والمحيط. وكما يبيّن الشكل 5.24 فإنّ الحافة القاريّة تتكون من: 1- *الرّصيف القاريّ* (الجزء المغمور القريب من اليابسة). 2- *المنحدر القاريّ* (نقطة انحدار الرصيف حيث يصل إلى عمق 2 – 3 كم). 3- *المرتفع القاريّ* (المنطقة من قاع المنحدر إلى قاع المحيط العميق).

بالقرب من القارات، ينحدر **الرّصيف القاريّ** بلطف تحت الماء ممتدًّا من خط الشاطئ نحو حوض المحيط- إنه امتداد القشرة القارية تحت الماء. ولكن لأنّ الرصيف مغمور، فإنه يعدّ جزءًا من قاع المحيط. تتغير كمية حافة القارة التي تُعدّ رصيفًا قاريًّا خلال الزمن الجيولوجي بسبب ارتفاع مستوى البحر وانخفاضه. وعندما يكون مستوى البحر أقل من المستوى الحالي، كما كان خلال آخر عصر جليدي، فإنّ الرصيف القاري يكون ضيقًا؛ لأنّ منطقة أقل تكون مغمورة بالماء. وفي المقابل، عندما يرتفع مستوى سطح البحر، كما يمكن أن يحدث إذا انصهرت كتل الجليد في القطب الجنوبي وجرينيلند، فإنّ الرّصيف القاريّ سيكون أعرض؛ لأنّ بعض الأراضي القارية ستنغمر بالماء. وبغض النظر عن مستوى سطح البحر، يختلف الرصيف القاريّ كثيرًا من مكان جغرافي إلى آخر. ففي بعض الأماكن لا يوجد رصيف قاري، ولكن في أماكن أخرى يمتد 1500 كم.

أما *المنحدر القاريّ* فهو الحافة الخارجية المنحدرة من القارة، وهي تشير إلى الحد بين القشرتين القارية والمحيطية. والمنحدر القاري حادّ عند الشواطئ الجبلية التي توجد في مناطق الحدود المتقاربة، وتنحدر بلطف على امتداد الشواطئ التي لا تحوي حدود صفائح (مثل الحافة الشرقية لأمريكا الشمالية والهند).

في حين يمثّل *المرتفع القاريّ* المنطقة الانتقالية بين الحافة القارية وقاع المحيط العميق. وهو عبارة عن مجموعة من الرسوبيات القارية التيتراكمت على قاع المنحدر القاري على شكل إسفين. تنقل التيارات القوية التي تجذب الرسوبيات إلى المرتفع القاريّ من الرصيف والمنحدر، غالبًا بسبب الانزلاقات تحت الماء. وتنحت التيارات المضطربة من الرسوبيات الناتجة عن هذه الانزلاقات أودية شديدة الانحدار تحت الماء. ومع



وصول الرسوبيات إلى قاع الوادي على شكل مروحي، تتكون *مراوح أعماق البحر*. ومع الزمن، تنمو مراوح أعماق البحار، وتتحد لتكون المرتفع القاريّ. إنّ الحواف القارية جميعها لا تحتوي على مرتفع قاري. مثلاً، على طول الحدود المتقاربة النشطة، فإنّ المنحدر القاريّ يصل مباشرة إلى أخدود محيطي عميق.

تشكّل أحواض المحيط العميقة 30% من مساحة سطح الأرض، ويتراوح عمقها بين 3 – 5 كم، وتتميز بالسهول العميقة، والأخاديد البحرية، وظهور وسط المحيط، والجبال تحت البحرية. تبدأ السهول العميقة عند نهاية الحافة القارية، وهي من أكثر مناطق الأرض انبساطًا وعمقًا- بسبب السّمك الكبير للرسوبيات الناعمة المتراكمة التي تدفن المظاهر غير المستوية للقشرة المحيطية.

توجد مجموعة من القمم البركانية فوق الرسوبيات المتراكمة في أعماق المحيط– قمم بحرية وتلال صغيرة عميقة. تنتهي السهول العميقة عند بداية ظهر وسط المحيط. وتشكل ظهور وسط المحيطات سلسلة جبلية متواصلة تحت الماء تمتد في المحيطات جميعها مثل الدرز على كرة البيسبول. إنّ متوسط الارتفاع على قمة الظهر 2.5 كم فوق قاع المحيط. أما بعض الجزر مثل آيسلندا، فإنّها توجد حيث ارتفع ظهر وسط المحيط أعلى من مستوى سطح الماء. يختلف عرض نظام ظهر المحيط على امتداد طوله، ولكن معدل العرض 1000 كم. إنّ نظام الظهر جميعه بركاني مكون من البازلت، وهناك تتكون القشرة المحيطية. على طول القمة، يعمل توسع قاع المحيط على تكوين نطاق انهدام في الوسط حيث تؤدي قوى الشّدّ من الحدود المتباعدة للصفائح إلى تكون صدوعًا عادية وزلازل صغيرة (انظر الفصل 22).

توجد الأخاديد البحرية في أحواض المحيط التي تحيط بحدود الصفائح المتقاربة، وتعدّ هذه الأخاديد أعمق أماكن الأرض، حيث تتجاوز أحيانًا 10000 م (أكثر من 6 أميال) عمقًا. أي، أعمق من ارتفاع معظم جبال الأرض. إنّ الأخاديد البحرية هي أماكن نشاط تكتوني توجد عند نقطة الغوص؛ حيث يرغم الغلاف الصخري على النزول إلى الغلاف اللدن، وهذا يؤدي إلى حدوث زلازل – أحيانًا كبيرة – وتكوين براكين ذات ثوران عنيف.

لمعلوماتك

■ لا توجد ظهور وسط المحيطات جميعها في وسط المحيط. فمثلاً مرتفع شرق الهادئ قريب من الحدود الشرقية للمحيط الهادئ وليس في الوسط. وعلى أيّ حال، توجد ظهور المحيطات عند توسع قاع المحيط. لذا فإنها علامة على الحدود المتباعدة حيث وجدت.

ماء البحر

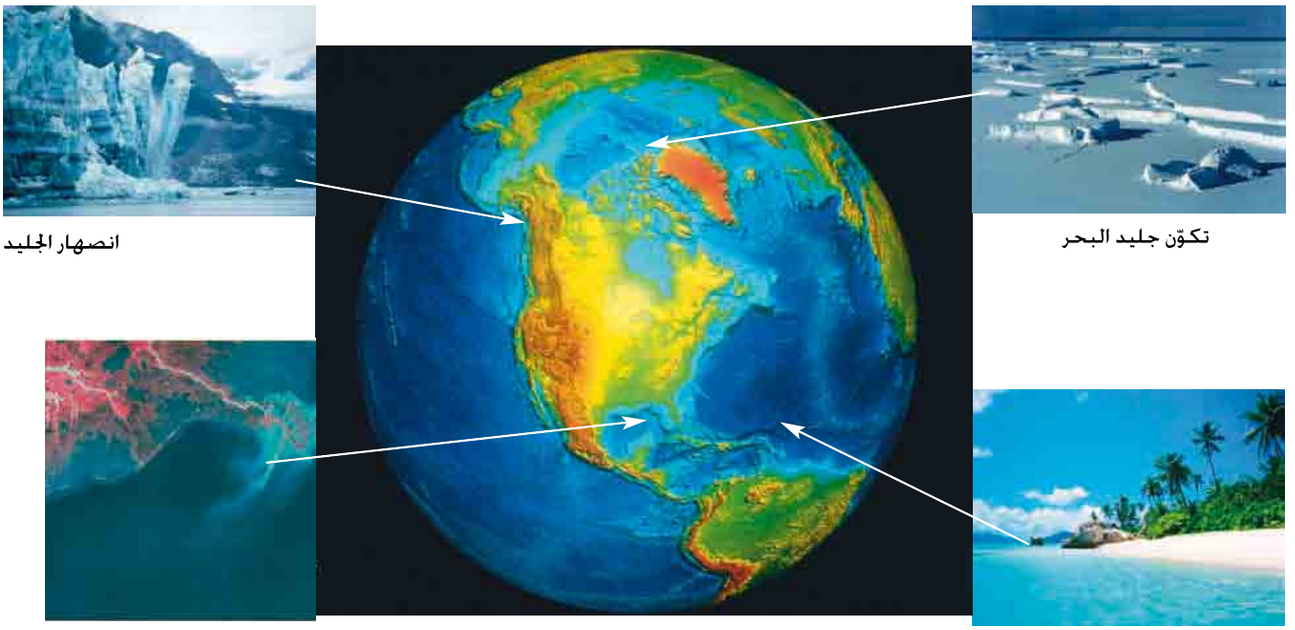
إنّ ماء البحر محلول معقد من المعادن الذائبة، والغازات الذائبة، والمادة الحيوية المحللة. يوجد كلّ مركب طبيعي بتركيز معين في المحيط. وللماء قدرة عالية على إذابة الأملاح (الفصل 18). لذا، فإنّ الملح يكوّن معظم المادة الذائبة في البحر. وتركيب ماء البحر بسيط بسبب وجود عدد قليل فقط من العناصر. والمركبات: الكلور، والصوديوم، والكبريتات، والماغنسيوم، والبوتاسيوم تشكّل أكثر من 99% من أملاح البحر (الجدول 1.24).

لمعلوماتك

■ الدليل على وجود نشاط بركاني على قاع المحيط مثير – أكثر من 20000 قمة بركانية وجدت في المحيط الهادئ وحده.

الجدول 1.24 عناصر رئيسة في أملاح البحر

العنصر	الرّمز الكيميائيّ	النسبة بالوزن
كلور	Cl^-	55.07
صوديوم	Na^+	30.62
كبريتات	SO_4^-	7.72
ماغنسيوم	Mg^{+2}	3.68
كالسيوم	Ca^{+2}	1.17
بوتاسيوم	K^+	1.10
المجموع		99.36



الشّكل 6.24
تزداد الملوحة مع نقصان التزويد بالماء العذب. وتتضمن العوامل التي تزيد الملوحة تكون الجليد والتبخر. وتقل الملوحة مع زيادة التزويد بالماء العذب. وتتضمن العوامل التي تقلل الملوحة كلًّا من: أ) الجريان السطحي من الأنهار والجداول. ب) الهطل. ج) انصهار الجليد.

تقاس كمية الأملاح الذائبة في مياه البحر **بالملوحة(Salinity)**. وهي كتلة الأملاح الذائبة في 1000 جم من ماء البحر. إنّ متوسط ملوحة ماء البحر 35 جم/ 1000 جم من ماء البحر؛ أو 35 جزءًا من ألف. (يضع العلماء هذه النسبة على شكل ‰). أي أنّ نسبة الملوحة في المحيط تساوي 35‰.

تختلف الملوحة من مكان إلى آخر في المحيط. إلا أنّ التركيب الكليّ لماء البحر متساو من مكان إلى آخر – خليط من 96.5% ماء، و 3.5% ملح. يتأثر تغير الملوحة بعوامل زيادة التزويد بالماء العذب أو نقصانه (الشكل 6.24). يدخل الماء العذب المحيط من ثلاثة مصادر، هي: 1- الجريان السّطحيّ من الأنهار والجداول. 2- الهطل.3- انصهار الجليد. وتغادر المياه العذبة المحيط بطريقتين، هما: 1- التّبخر. 2- تكوّن جليد البحر. يزيد التبخر من ملوحة البحر؛ لأنّ بخار الماء النقي فقط هو الذي يخرج من محلول ماء البحر، أما الأملاح فتبقى. وعندما يتكون جليد البحر، تتجمد جزيئات الماء فقط. وتترك الأملاح مرة أخرى عند التجمد. وهناك اختلاف بسيط في الملوحة؛ فملوحة المحيطات في المناطق شبه الاستوائية الجافة حيث التبخر عال تصل إلى 37‰. أما المحيطات في خطوط الاستواء، فيقلّ تركيز الأملاح فيها إلى 33‰ بسبب الأمطار الغزيرة. ويحدث الاتزان الكليّ عند تعويض التبخر بالهطل والجريان السّطحيّ وتعويض تكون الجليد بانصهاره.

لمعلوماتك

■ تؤثر الحياة البحرية في تركيب ماء البحر عن طريق إزالة الأملاح والغازات الذائبة ومواد أخرى. تقوم الكائنات ذات القشرة الصلبة كالصدف والسرطانات بأخذ أملاح الكالسيوم لبناء أجسامها. الدياتومات تسحب السليكا الذائبة لتكون صدفها. تركز بعض الحيوانات على عناصر معينة، كالسرطان الذي يأخذ النحاس والكوبلت. في حين تركز بعض النباتات البحرية على اليود. أما خيار البحر فيأخذ الفناديوم.

■ **نقطة فحص**

إذا أردت تحضير كمية من ماء مالح بملوحة ماء البحر نفسها . فكم جرامًا من الملح تحتاج لعمل كجم واحد من ماء البحر؟ وكم جرامًا من الماء؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ملوحة الماء المالح 35‰ لذا، خذ 35 جم من الملح، وضعها في 965 جم من الماء لعمل كجم واحد من ماء البحر.

■ 3.24 أمواج المحيط ، المدّ والجزر وخطوط الشّواطئ

تأتي أمواج المحيط بعدة أحجام وأشكال، من موجات صغيرة (نيم) إلى أمواج ضخمة بسبب الأعاصير. إن أمواج البحر هي كباقي الأمواج، تبدأ بنوع من الاضطراب. وتعدّ الرياح أكثر عوامل الاضطراب شيوعًا، والتي تسبب أمواج المحيط.

انفخ في وعاء مملوء بالماء، وسترى سلسلة من التموجات الصغيرة (النيم) تتحرك فوق سطح الماء. إن تكوين الأمواج في البحر مشابه لذلك. ومع زيادة سرعة الرياح، تنمو النيم لتصبح أمواجًا. وعند هبوب رياح أقوى تتكوّن أمواج أكبر. ومع انتقال الأمواج بعيدًا عن مصدرها، فإنها تتحول إلى أمواج دائرية لطيفة ذات نسق عادي تسمّى *انتفاخًا* – وهي التموجات الناضجة في المحيط المفتوح.

تذكر من دراستنا للأمواج في الفصل 10 أنّ حركة الأمواج يمكن وصفها عن طريق جَيب المنحنى (الشكل 7.24) وأنّ **الاضطراب** هو الذي يتم حمله بالموجة، وليس المادة التي تتحرك خلالها الموجة. تتحرك الموجة بعرض المحيط، أما الماء المشكل للموجة في معظم الأجزاء فيبقى في مكان واحد.

إنّ الأمواج على سطح المحيط *دوارة*. ومع عبور الموجة نقطة معينة، فإنّ الماء في تلك النقطة يتحرك بشكل دائريّ. ويمكن رؤية هذه الحركة الدائرية بملاحظة قطعة خشب طافية على سطح المحيط، تتأرجح قطعة الخشب في أثناء الاهتزاز إلى الأعلى والأسفل، وهي في الحقيقة تتبع دائرة في كلّ دورة موجة. تحدث هذه الحركة الدائرية بالقرب من سطح الماء، وتتناقص تدريجيًّا مع العمق (الشكل 8.24). وعلى عمق نصف طول الموجة تقريبًا، تكون الحركة الدورانية للموجة مهملة. ولهذا السبب، يمكننا القول إنّ الأمواج التي تتكون من الرياح توجد على السّطح بشكل رئيس.

وعند اقتراب موجة من الشاطئ حيث يقلّ العمق فإنّ قاع المحيط يعيق الحركة الدورانية. ومع نقصان عمق الماء فإنّ الجزء السّفليّ من الدائرة ينبسط – يصبح إهليلجيًّا – بالانجراف على قاع المحيط. وتتباطأ الموجة. يحدث هذا التحول على عمق نصف طول الموجة. يبقى زمن (فترة) الموجة ثابتًا؛ لأنّ المياه العميقة تستمر في الارتفاع نحو الشاطئ. ونتيجة لذلك، فإنّ الأمواج القادمة من المحيط تتغلب على الأمواج البطيئة التي أمامها، وتقلّ المسافة بين الأمواج . يُنتج تراكم الأمواج هذا في نطاق ضيق أمواجًا أعلى وأكثر ميلا. وعندما يصبح ارتفاع الموجة حادًّا إلى نقطة لا يستطيع الماء عندها دعم نفسه، فإنّ الموجة تنقلب وتتدحرج نحو الأمام، وتتكسر على الشاطئ. يسمى الماء المضطرب المتكون من التكسر (*سيرف*) .يعني *نطاق السيرف* المنطقة النشطة من الماء بين منطقة تكسّر الموجات وخطّ الشاطئ (الشكل 9.24).

(أ)

(ب)

الشّكل 7.24
لأمواج المحيط خصائص موجات الجيب البسيطة.

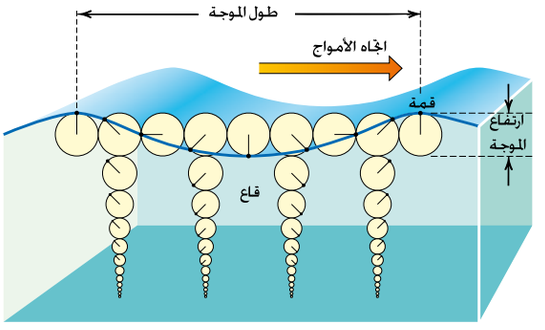
تتكوّن تيارات بدلاً من التيارات الموازية للشاطئ عند اقتراب الأمواج من الشاطئ عمودية عليه؛ بحيث يكون خطّ قمة الموجة موازيًا للشاطئ.

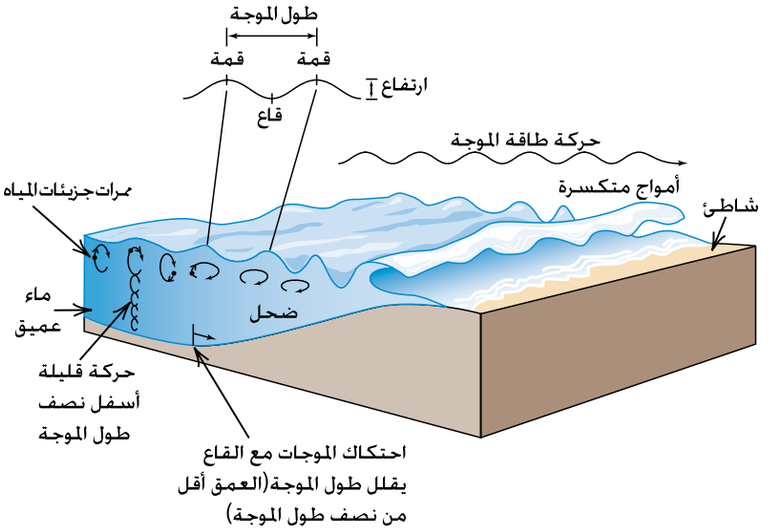
انكسار الأمواج (Wave Refraction)

مع دخول الأمواج إلى المياه الضحلة، يتغير اتجاه تقدمها عند اقترابها من الشاطئ، وتصبح ذات زاوية. يبدأ جزء الموجة القريب من الشاطئ بلمس قاع المحيط على عمق نصف طول الموجة. وتقلّ سرعة هذا الجزء من الموجة القريبة من الشاطئ، ويتباطأ خلفها أجزاء من الموجة التي ما زالت في الماء العميق بعيدًا عن الشاطئ، مع لمس الجزء الثاني من الموجة القادمة للقاع فإنها تتباطأ. وعليه، وعلى نحو مستمر، فإن خطّ قمة الموجة ينحني عند تحركها نحو ماء ضحل متمحور حول الجزء البطيء من الموجة لتصبح أكثر موازاة لخط الشاطئ (الشكل 10.24). وهذا هو انكسار الموجة. إضافة إلى أنّ الاقتراب المائل للموجات من الشاطئ يسبب تكون *التيارات الموازية للشاطئ*.

إنّ انكسار الموجات ذات تأثير مهم في الشواطئ غير المنتظمة؛ حيث تجعلها مستقيمة ومنتظمة. ويكون التأثير أكبر في الشواطئ التي فيها نتوءات وخلجان صغيرة. إن الانكسار يؤدي إلى عدم انتظام توزع طاقة الموجة (الشكل 11.24). وترتكز طاقة الموجة على مناطق رؤوس البَرّ حيث يدخل خطّ الشاطئ في البحر، لأنّ الموجة تتعرض للمياه الضحلة أولاً في هذه المناطق.

الشّكل 8.24
حركة جزيئات الماء عند مرور الموجة. تتحرك الجزيئات في مدار دائريّ. تكون الحركة الدائرية كبيرة على السطح، وتقل تدريجيًّا مع العمق. وتكون الحركة الدورانية مهملة على أعماق أكبر من نصف طول الموجة.





الشّكل 9.24
تغير الأمواج شكلها عند انتقالها من الماء العميق إلى الماء الضحل، ومن ثَمَّ إلى الشاطئ. تكون الحركة دائرية في الماء العميق. في حين تصبح الحركة إهليلجية في المياه الضحلة بسبب التماس مع القاع. يؤدي هذا التغير إلى نقصان سرعة الموجة. ومع استمرار تقدم الأمواج، تقلّ المسافة بينها فيزيد ارتفاعها. وعند وصولها إلى ارتفاع حرج، تنكسر وترتطم في نطاق السيرف.

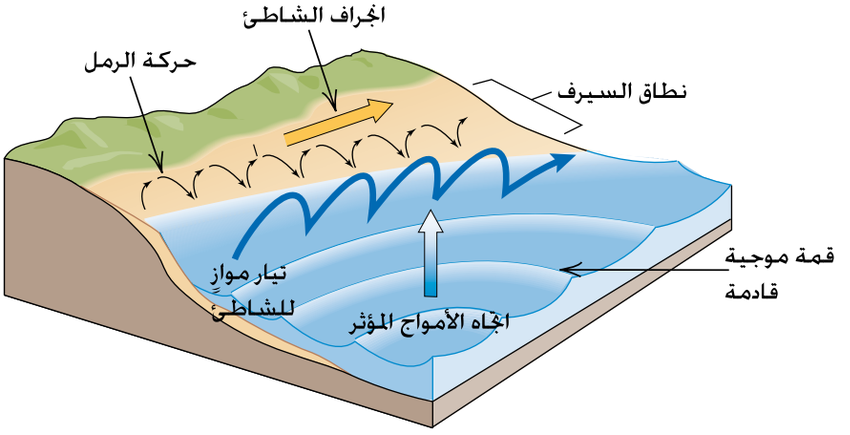
إن الطاقة الزائدة المتركزة هنالك تؤدي إلى زيادة معدل التعرية. أما في الخلجان المجاورة، فيبتعد خطّ الشاطئ نحو اليابسة مما يخفف من طاقة الموجة. يسهّل ماء الخليج الانسيابي توضّع الرسوبيات. وتتآكل الرؤوس البارزة متراجعة نحو اليابسة. في حين تعمل الخلجان على تراكم الرسوبيات نحو البحر.

نقطة فحص

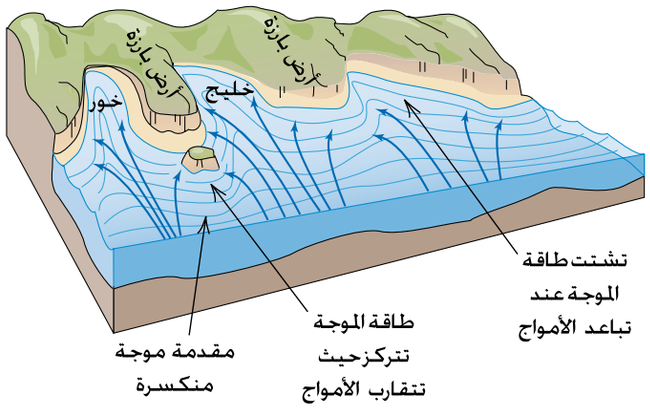
1. لماذا يبقى راكب الأمواج المستريح في البقعة نفسها في منطقة انتفاخ بحريّ عاديّ؟
2. ما الذي يسبب تباطؤ الموجة مع اقترابها من الشاطئ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. فكّر في قطعة الخشب المتأرجحة. يتحرك الماء أسفل راكب الأمواج المستريح بشكل دائري، فيتحرك إلى الخلف بالمقدار نفسه الذي يتحرك به إلى الأمام. لذا، فما لم يقم راكب الأمواج بالتجديف نحو الشاطئ أو بعيدًا نحو البحر، فإنه سيتأرجح إلى الأعلى والأسفل في الموقع نفسه.
2. تقل سرعة الموجة عندما يرتطم جزؤها السفلي في حركتها الدائرية بقاع المحيط، ويبدأ شكلها بالانبساط.



الشّكل 10.24
عند اقتراب الأمواج من خطّ الشاطئ، فإنها تنكسر بحيث تصبح قمة الموجة القادمة موازية للشاطئ في أثناء انتقالها إلى المياه الضحلة. ولأنّ الاتجاه الكليّ لحركة الموجة مائل مع الشاطئ، فإنّ تيارات موازية للشاطئ تتكون، محرِّكة الماء والرمل بموازاة خطّ الشاطئ.



الشّكل 11.24
تتركز طاقة الموجة في الشواطئ غير المنتظمة عند اقترابها من يابسة بارزة، وتتشتت عند ابتعادها في الخلجان.

لمعلوماتك

■ هناك 280 جزيرة حاجزة تقريبا تحيط بشواطئ المحيط الأطلسي وخليج المكسيك، حيث تشكّل الحواجز بين الشاطئ والمحيط المفتوح. إنّ مناطق اللاغون التي تفصل الجزر الضيقة عن الشاطئ هي مياه هادئة. تستخدم القوارب الصغيرة في هذه اللاغون عادة كحجرات بين فلوريدا ونيويورك. لذا، فهي تتجنب الماء الهائج في الأطلسي المفتوح.

لمعلوماتك

■ يختلف رمل الشاطئ تبعًا للمنطقة المعرضة للتعرية: ففي الشواطئ المدارية مثل فلوريدا أو هاواي، نجد أنّ الشاطئ مكون من مادة عضوية: حبات بحجم الرمل من الشعاب المرجانية والأرصفة الكربوناتية. وبالمقابل، فإنّ الرمل في العديد من الشواطئ في القارات غير عضوي، أي أنه مكون من معادن سيليكاتية تم تعريتها من صخور قاريّة.

عمل أمواج المحيط

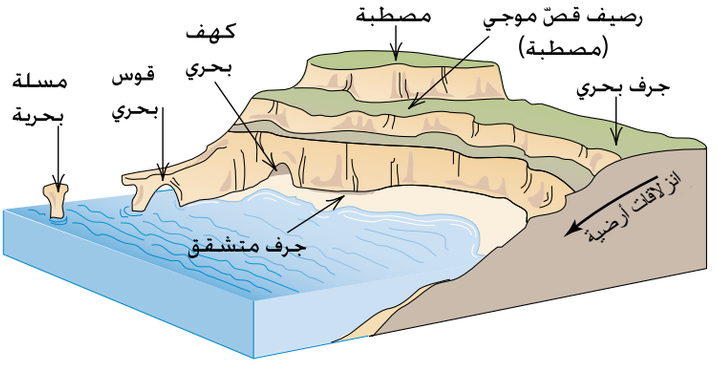
إن قوة المحيطات ظاهرة للعيان لمن يزور الشاطئ. ففي الظروف العادية، نلاحظ أنّ بعض السواحل هادئة، أمّا بعضها الآخر فيصمد أمام التدمير التي تقوم به الأمواج العاتية. وفي أثناء العواصف الكبيرة، تكون الشواطئ جميعها تحت رحمة المحيط الهادر.

على امتداد الشاطئ (Along the coast)

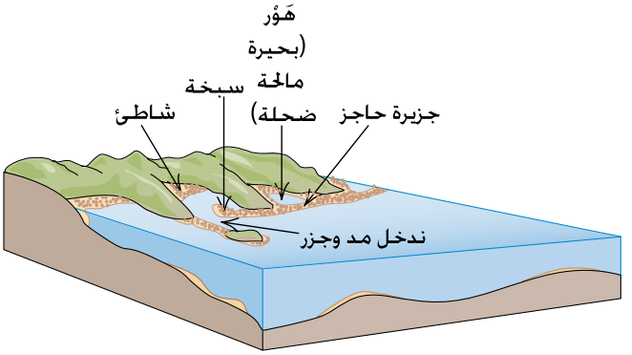
تكوّن الرياحُ التي تهب على عرض سطح المحيط الأمواجَ. ومع اقتراب الأمواج في المياه الضحلة قرب اليابسة تصبح أعلى وأشد انحدارًا، ومن ثَمَّ تنهار أخيرًا أو تتكسّر. وفي نطاق السيرف يحرك نشاط الأمواج الرسوبيات إلى الأمام والخلف في اتجاه الشاطئ ونحو البحر. ولأنّ كمية الأمواج على الشاطئ تختلف مع الزمن، ولأنّ الصخور على الشاطئ كذلك لها قدرات مختلفة على مقاومة التعرية، فإنّ الأمواج قد تعمل مظاهر تعرية مختلفة: فالصخور الرسوبية قليلة التماسك، والصخور النارية والمتحولة ذات الشقوق الكثيرة تتعرى بسرعة. أمّا الصخور الرسوبية المتصلة جيدًا، والصخور النارية والمتحولة غير المتشققة فتتعرى ببطء.

على امتداد خطوط الشواطئ المكونة من صخر صلب، تعمل الأمواج الضاربة على قصّ قاعدة اليابسة إلى حفر. ومع استمرار التعرية، تبدأ الحفر بالتعمق، وتبدأ الصخور فوقها تبرز فوق الفراغ السفلي. ومع سقوط الصخور المعلقة فإنّ الجرف يتراجع. ومع الزمن، تعمل الأمواج على قصّ الجرف لتكوين سطح مستوٍ نسبيًّا يسمى *منصّةَ القصّ الموجيّ* (الشكل 12.24).

يجب على حبات الصخر التي تعرت من الشاطئ أن تترسّب عاجلاً أم آجلاً. وتترسب معظم المادة في بيئة الترسيب الأكثر شهرة، ألا وهي *الشّاطئ*. إنّ الشّواطئ الرملية هي نتاج الحركة المضطربة في نطاق السيرف. وتميل هذه الشواطئ إلى أن تكون طولية بسبب التيارات الموازية للشاطئ والتي تتكون عند اقتراب الأمواج منه بزاوية مائلة مثلاً. تسببُ الأمواجُ الآتية من الشمال الغربي التي تقترب من خط شاطئ يمتد شمالا – جنوبًا تكوينَ تيار مواز للشاطئ في اتجاه الجنوب (الشكل 10.24). تحرك هذه التيارات الرّمال على طول الشاطئ.



الشّكل 12.24
أشكال الأرض المميزة لتعرية الشواطئ. تقص الأمواج الجروف لتكون الأرصفة والمصاطب. تتعرض بعض الجروف للحتّ لتصبح كهوفا بحرية. وتتكون الأقواس البحرية إذا التقى كهفان بحريان على جانبي رأس بارز من اليابسة. وعند انهيار قوس بحري، تنشأ مسلّة بحرية في موقعه. ومع الزمن، تعمل قوة الأمواج على تعرية المسلة.



الشّكل 13.24
أشكال الأرض الترسبية المميزة للشواطئ.

وحيث يتم ترسيب الرمل من التيارات يتكون **بروز**. تبدأ البروزات على شكل مرتفعات رملية مغمورة. ومع استمرار تراكم الرّمل، يظهر البروز فوق سطح الماء ممتدًّا من الشاطئ نحو المياه المفتوحة، غالبًا ما تكون كقطعة تبدو كالإصبع. (الشكل 13.24).

عند تكوُّن المرتفعات الرملية في المياه بعيدة عن الشاطئ وموازية له، فإنها تتكون في النهاية على شكل **جزر حاجزة**. تتكون الجزر الحاجزة عندما تفصل هذه المرتفعات سطح الماء لفترة طويلة بحيث يبدأ نمو النباتات. وفي أثناء العواصف الكبيرة، تنظم الأمواج الأراضي المنخفضة مكونة مدخلا إلى اللاغون (الهور) بين الجزر الحاجزة والشاطئ (الشكل 13.24). تعدّ منطقة اللاغون هذه بيئة هادئة، وتحتوي على طمي وطين يميز الطبقة المتقاطعة، وعلامات تموجات صغيرة ناشئة عن الحركة الاهتزازية للماء في اللاغون (الهور). أما الشاطئ، فيتكون من حجارة ملساء، وحصباء دائرية، و/ أو رمل.

لمعلوماتك

- تتكوّن الشعاب المرجانية القديمة من تتابع طبقي من مادة مسامية وطين كتيم. يعطي هذا التطبق الشعاب المرجانية القديمة أهمية لكي تسلك كمصدر للنفط والغاز، مما يجعل اكتشافها مهمًّا اقتصاديًّا.

اربط مع علم الحياة

الشعاب المرجانية

تتكون الشعاب المرجانية من كائنات مرجانية نامية تخزن هياكلها الخارجية كربونات الكالسيوم في أثناء نموها. وعند إمعان النظر في قطعة مرجان أو شعاب مرجانية، فإننا نرى الهيكل الخارجي المكون من كربونات الكالسيوم، وليس كائن المرجان الطّريّ. يكوّن معظم المرجان - وليس كلّه - مستعمرات تعدّ البناء الرئيس في الشعاب التي تنمو نحو الخارج مع الزمن، ولكنها قد تنمو في اتجاه الأعلى عندما يلتصق مرجان جديد فوق مرجان ميت.

وتعيش العديد من أنواع الشعاب المرجانية في المياه الضحلة؛ لأنّ مصدر الغذاء الرئيس لهذا المرجان هو الطحالب التي تقوم بالبناء الضوئي، وتحتاج إلى ضوء لكي تعيش. تعيش الطحالب والمرجان معًا حياة تكافلية؛ حيث يوفر المرجان الحماية للطحالب، في حين توفر الطحالب الأكسجين والغذاء للمرجان. ولكي تزدهر هذه الأنواع من المرجان، فإنها تحتاج إلى مياه دافئة وصافية، وخالية من الرسوبيات.

إنّ الأرصفة الكربوناتية أكبر كثيرًا من الشعاب المرجانية، غير أنّ وجودها يعزى إلى الكائنات الحية. وهذه الأرصفة الكربوناتية عبارة عن مقابر الكائنات الخازنة لكربونات الكالسيوم، وتتكون في المياه الضحلة قريبًا من القارات أو متصلة بها. كما أنّ هذه الأرصفة هي السبب في النسبة العالية من الرسوبيات الكربوناتية في المحيطات.

ويمكن تدمير الشعاب المرجانية والأرصفة الكربوناتية جزئيًّا بحركة الأمواج المستمرة في أثناء نمو الشعاب واقترابها من سطح البحر. وهذا هو التدمير الطبيعي. إلا أنّ الشعاب المرجانية تدمر أيضًا بعوامل غير طبيعية. وعليه، فهي تدل على صحة المحيط. وكما نعلم فإنّ المناخ الدافئ يحفز ترسب الكربونات؛ لأنّ هذه الكربونات تذوب بسهولة في الماء البارد، بخلاف ذوبانها في الماء الدافئ. ولكن الكائنات المرجانية هي كائنات حية، وعندما يصبح الماء دافئًا جدًّا، فإنّ الطحالب تترك المرجان، أو أنّ المرجان يقوم بطرد الطحالب. ومع انقطاع الغذاء يبدأ المرجان يفقد لونه يبدأ تدريجيًّا في الموت*. ويرى العلماء أنّ فقدان المرجان للونه يعدّ علامة على الاحترار العالمي. وبعيدًا عن درجات الحرارة المرتفعة للمحيط، فإنّ العلاقة التكافلية بين المرجان والطحالب قد تتأثر بزيادة الملوثات، وارتفاع مستوى الأشعة فوق البنفسجية، واختلاف الملوحة، أو المفترسات، أو بعدد من هذه العوامل مجتمعة.

* إنّ اللون الجميل للمرجان ناتج عن العلاقة التكافلية مع الطحالب؛ فالمرجان لا لون له.

لمعلوماتك

■ الأرض ليست صلبة قاسية، ولكنها قابلة للتشكل إلى حد ما (تذكر التدفق اللدن في الستار). ولهذا السبب يحدث المدّ والجزر الأرضيّ، وهو أقلّ وضوحًا من المدّ والجزر المحيطي. يرتفع السطح الصلب وينخفض من الأرض مرتين يوميًّا بمقدار 25 سم (للمقارنة، يرتفع المحيط وينخفض كلّ يوم مترًا واحدًا). هناك أيضًا مدّ وجزر للغلاف الجويّ الذي يؤثر في الأشعة الكونية التي تصل سطح الأرض. المجال المغناطيسي الأرضي هو الذي يتحكم بقوة في هذه الأشعة، ما يؤدي إلى تغيرات في الأحياء. هل يسلك أحد أصدقائك سلوكًا غريبًا عند وجود القمر في حالة البدر؟

■ **نقطة فحص**

1. كيف تختلف أرصفة القصّ الموجيّ عن الشواطئ؟
2. توفر الجزر الحاجزة خطّ دفاع أوليًّا ضد أمواج الأعاصير ذات الطاقة العالية في المحيط المفتوح. هل تعدّ الجزر الحاجزة من المظاهر الثابتة في الشاطئ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. تتكون أرصفة القصّ الموجيّ بسبب التعرية، أمّا الشاطئ فيتكون من الترسيب. إنّ أرصفة القصّ الموجيّ ، والمصاطب، وأقواس البحر، والمسلات البحرية كلّها مظاهر تعرية. في حين تعدّ الشواطئ، والبروزات، والجزر الحاجزة مظاهر ترسيب.

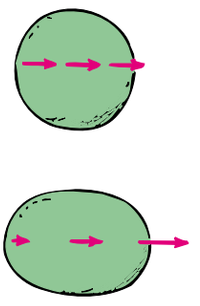
2- تعدّ الجزر الحاجزة من المظاهر الثابتة لأنها تتكون دائمًا. ولكنها غير ثابتة؛ لأنها حساسة لقوى الطبيعة. تتكون هذه الجزر الحاجزة من رمل منقول؛ مادة غير متماسكة ناتجة عن فعل التعرية من الأمواج والرياح التي تضرب الشاطئ.

المدّ والجزر (Tides)

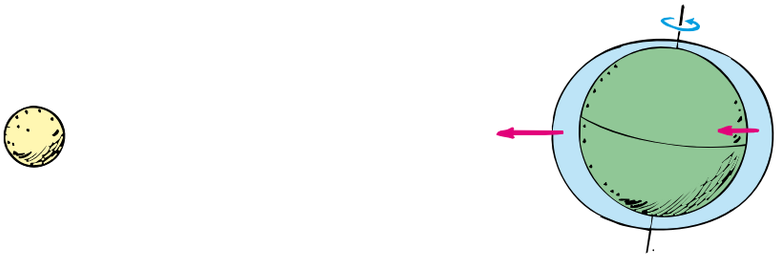
من السهل ملاحظة أنّ مستوى المحيط يرتفع وينخفض بشكل دوري على امتداد أيّ شاطئ. ويسمّى هذا التغير اليومي في ارتفاع المحيط *المدّ والجزر*. علم البحارة منذ القدم أنّ هناك علاقة بين المدّ والجزر من جهة والقمر من جهة أخرى. ولكن حتى مجيء إسحق نيوتن، لم يستطع أحد أن يقدم تفسيرًا مقنعًا لوجود مدّين في اليوم الواحد. بيّن نيوتن أنّ المدّ والجزر في المحيط يحدث بسبب *الاختلافات* في قوى الجذب من القمر على جانبي الأرض. إنّ قوى الجاذبية بين القمر والأرض تكون أقوى على جانب الأرض القريب من القمر، ولكنها ضعيفة على الجانب البعيد عنه؛ لأنّ قوة الجاذبية تضعف مع زيادة المسافة.

ولفهم سبب تكون المدّ والجزر من اختلاف قوة جذب القمر على جانبي الأرض؛ تخيل أنّ لديك كرة كبيرة من الجيلاتين. إذا أثرت فيها بقوة متساوية من الجهات جميعها، فإنها تبقى كرة. ولكن إذا سحبت بقوة جانبًا أكثر من الآخر، فإنّ الكرة تصبح إهليلجية، بسبب اختلاف القوى (الشكل 14.24).

وهذا هو ما يحدث للكرة الكبيرة التي نعيش عليها؛ يتم سحب الجزء القريب من القمر بقوة أكبر في اتجاه القمر مقارنة بالجانب الآخر. ولهذا، فإنّ الأرض ذات شكل كرويّ تقريبًا. لا يدور القمر بشكل دائرة حول الأرض بالمعنى الحرفي. والأرض تتسارع نحو القمر بسبب وجود قوة عليها؛ حيث توجد محصلة القوى يوجد تسارع. إنّ القوة المؤثرة في الأرض هي التسارع *المركزي*. الأرض، مركز الكتلة لنظام الأرض – القمر (نقطة في الأرض تقع على ثلاثة أرباع المسافة بين المركز والسطح). يتعرض القمر والأرض إلى تسارع *مركزي* عند دورانهما حول بعضهما حول مركز الكتلة في الأرض – القمر.



الشّكل 14.24
تبقى كرة الجيلاتين دائرية عند سحب أجزائها كلّها بشكل متساو في الاتجاه نفسه. ولكن عند سحب جانب بقوة أكبر من الجانب الآخر يصبح شكلها بيضويًّا إهليلجيًّا.

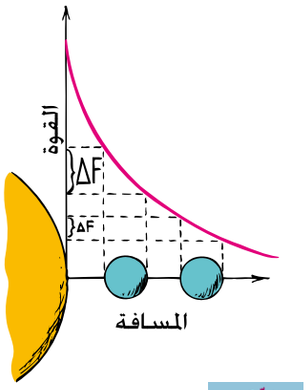


الشّكل 15.24
انبعاجان مدّيان وجزريان يظلان ثابتين بالنسبة إلى القمر في أثناء دوران الأرض اليومي حول نفسها.

وهذا ما يجعل الأرض والقمر بيضويين قليلاً. إنّ الشكل البيضويّ للأرض غالبًا ما يوجد في المحيطات حيث تنبعج بالتساوي في جانبين متقابلين.

تدور الأرض حول نفسها مرة في اليوم. لذا، فإنّ نقطة ثابتة على الأرض تعبر أسفل كلا الانبعاجين كلّ يوم. وأيّ جزء من الأرض يمرّ أسفل أحد الانبعاجين يحدث فيه مدٌّ. ويؤدي ذلك إلى تكون مدّين يوميًّا مفصولين بـ 12.5 ساعة تقريبًا. ولكن، لماذا لا يفصل بين المدّين 12 ساعة؟ السبب في هذا هو أنّ الأرض في أثناء دورانها حول نفسها، يدور القمر في مداره حول الأرض. لذا يظهر القمر في سمائنا في الموقع نفسه كلّ 24 ساعة و 50 دقيقة. ومن ثمّ فإنّ المدّ الثّاني يتبع الأول بـ 12 ساعة و25 دقيقة وهكذا. وهذا هو سبب عدم تكون المدّ والجزر في الوقت نفسه كلّ يوم.

تسهم الشّمس أيضًا في مدّ وجزر المحيط. ومع أنّ تأثيرها أقلّ من نصف تأثير القمر في عمل المدّ، إلا أنّ سحبها للأرض يعادل 180 ضعف سحب القمر. لماذا لا تسبب الشّمس مدّ وجزر 180 ضعف المدّ والجزر الذي يفعله القمر؟ إنّ الإجابة تعتمد على كلمة رئيسة، هي: *الاختلاف*. فبسبب بُعد الشّمس الكبير، فإنّ الاختلاف في سحبها الجذبي على جانبي الأرض صغير (الشكل 16.24). كما أنّ نسبة الاختلاف في سحب الشمس للأرض 0.017% تقريبًا مقارنة بـ 6.7% نسبة سحب القمر. إنّ سبب تأثير الشّمس المتواضع على المدّ والجزر في الأرض هو أنّ سحب الشمس يساوي 180 ضعف قوة سحب القمر. ومع ذلك، فإنّ المدّ والجزر بسبب الشّمس لا يكون نصف ارتفاع مدّ وجزر القمر (180 × 0.017% = 3% أي تقريبًا نصف 6.7).

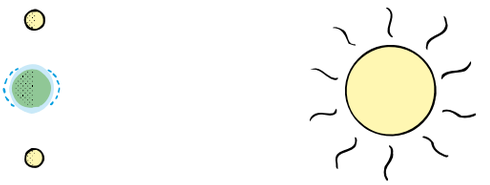


الشّكل 16.24
إسقاط للجاذبية مقابل المسافة. كلما زاد البعد عن الشمس قلت قوة F. والتي تختلف $1/d^2$. وكلما قلت قوى السحب الجذبيّ على كلا الجانبين ΔF والتي تختلف بقدر $1/d^3$ يقلّ المدّ.

ومع ذلك، فإنّ الشّمس ما زالت تقوم بدور في المدّ والجزر المحيطيّ. وعند وجود الشّمس والقمر والأرض على الخطّ نفسه ، يتضافر المدّ والجزر بسبب الشّمس والقمر معًا، حيث يكون لدينا مدّ أكبر من المتوسط وجزر أقلّ من المتوسط؛ إنّه **مدّ الرّبيع *(Spring tide)*** (الشكل 17.24). (مدّ الربيع لا علاقة له بفصل الربيع). يحدث مدّ الربيع عندما يكون القمر محاقًا أو بدرًا.

الشّكل 17.24
يحدث مدّ الربيع عند وجود الشّمس والقمر والأرض على الخطّ نفسه، كما هو الحال في أثناء البدر والمحاق.

وعندما يكون القمر في نصف المسافة بين البدر والمحاق يكون سحب القمر والشّمس متعامدين. لذا، فإنّ مدّا الشّمس والقمر لا يجتمعان. وفي هذه الحالة، لا يكون المدّ عاليًا، ولا الجزر منخفضًا. وهذا ما يسمى **المدّ المحاقيّ *(Neap tide)*** (الشكل 18.24).



الشّكل 18.24
يحدث المدّ المحاقيّ عندما يكون الشّمس والقمر متعامدين (وقت تربيع أول وثان).

وفي وسط المحيط، يكون الاختلاف في مستوى الماء – مدى المدّ والجزر – أقلّ من متر. أما على الشاطئ، فيختلف المدى، حيث يكون كبيرًا في خلجان ألاسكا الطويلة، ويلاحظ أيضا في حوض خليج فندي بين برنسويك ونوفاسكوتيا في شرق كندا حيث يكون الاختلاف في المدّ أحيانًا 15 م (الشكل 19.24).

الشّكل 19.24
المد والجزر في منطقة نوفا سكوتيا.

والسبب في ذلك هو أنّ شكل قاع المحيط يصبح قمعيًّا في اتجاه الشاطئ ؛ حرف V.
يكون المدّ أسرع من جريان الشخص غالبًا. لذا، لا تبحث عن المحار قرب الشاطئ في وقت الجزر في خليج فندي.

لمعلوماتك

■ هل تعلم لِمَ لا نرى إلا وجهًا واحدًا للقمر فقط؟ السبب هو المدّ والجزر. للقمر انبعاجا مدّ. وللسبب نفسه، هناك انبعاجان للمدّ على الأرض، قريبًا وبعيدًا عن جوانب كلّ جسم يتم سحبها بشكل مختلف. إلا أنّ انبعاجَيْ المد في القمر لا يرتفعان ولا ينخفضان لأنهما ثابتان، وهذا ما يجعل شكل القمر بيضويًّا. الشكل البيضوي للقمر يجعل مركز الجذب مزاحًا من مركز الكتلة. لذا، فعندما يكون المحور الطويل للقمر غير مواجه للأرض فإنّ الأرض تؤثر بقوة دوران صغيرة فيه. مما يجعل القمر ينحرف بحيث يتجه مع المجال الجاذبي للأرض كقوة الدوران التي توجه إبرة البوصلة مع المجال المغناطيسي. لذا، فيما أنّ القمر يأخذ 27.3 يومًا لإكمال دورة حول محوره (وكذلك حول محور الأرض – القمر) فإنّ وجه القمر نفسه يواجه الأرض في الأوقات جميعها. ولهذا نرى وجه القمر نفسه دائمًا.

■ **نقطة فحص**

نعلم أنّ الشمس والقمر يكوّنان مدّ المحيط. كما نعلم أنّ القمر يقوم بالدور الأكبر لأنه الأقرب. هل قرب القمر يعني أنه يجذب محيطات الأرض بقوى جذب أكثر من جذب الشّمس؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا؛ لأنّ قوة جذب الشّمس أقوى. إنّ الفرق في عامل المسافة هو السبب الرئيس في قوى المدّ: فإذا كان القمر أقرب إلى الأرض، فإنّ المدّ والجزر على الأرض والقمر سوف يزداد. أما إذا كان قريبًا جدًّا، فإنّ ذلك يؤدي إلى تمزيق القمر إلى قطع. وهذا هو السبب المحتمل وراء وجود حلقات حزام كوكب زحل والكواكب الأخرى.

■ 4.24 مكونات الغلاف الجوي للأرض

لو لم تكن الجاذبية موجودة لأفلتت جزيئات غاز الغلاف الجوي إلى الفضاء الخارجي. إنّ الغازات قابلة للانضغاط، وهذا ما يسمح لقوة الجاذبية الخفيّة بضغط عدد كبير من جزيئات الغاز بالقرب من سطح الأرض وإمساكها (حيث الجاذبية أقوى). لذا فإنّ كثافة جزيئات الهواء عالية بالقرب من سطح الأرض، ولكنها تقلّ تدريجيًّا مع الارتفاع.

ولأنّ للهواء وزنًا، فإنه يكوّن ضغطًا على سطح الأرض، يسمى *الضغط الجوي* أو *ضغط الهواء*. كلما زاد الوزن زاد الضغط. ومثل كثافة الغلاف الجوي، فإنّ ضغط الهواء يقلّ بازدياد الارتفاع عن سطح الأرض. وكلما صعدت إلى الأعلى أكثر قلّ ضغط الهواء. إنّ وزن الهواء على سطح الماء يحفظ الماء من الإفلات بعيدًا بسبب الغليان. ولعلك تذكر من الفصل السابع أنّ الماء يغلي عند درجة صفر سيليزية عندما لا يوجد ضغط هواء عليه. ولهذا فإنّ كلًّا من السّمك والطّيور تقدّر وجود الغلاف الجوي.

* نقاشنا للمدّ والجزر مُبَسّط هنا؛ لأنه فعليًّا معقد. إنّ التفاعل مع اليابسة والاحتكاك مع قاع المحيط يجعل حركة المدّ معقدة. في عدة أماكن، يتكسر المدّ إلى أحواض دورانية صغيرة حيث يتحرّك الانبعاج كموجة دائرية. وتتحرك هذه الأمواج حول الأرض كما لو أنها في حوض مائي صغير ملتوٍ. لذا، فإنّ المدّ قد يكون على بعد ساعات من مواجهة القمر .

الجدول 2.24 مكوّنات الغلاف الجوّيّ

الغازات الدائمة			الغازات المتغيرة		
الغاز	الرمز	النسبة من الحجم	الغاز	الرمز	النسبة من الحجم
نيتروجين	N_2	78%	بخار الماء	H_2O	4 – 0
أكسجين	O_2	21%	ثاني أكسيد الكربون	CO_2	0.038**
أرجون	Ar	9.0%	أوزون	O_3	0.000004*
نيون	Ne	0.0018%	أول أكسيد الكربون	O	0.00002*
هليوم	He	0.0005%	ثاني أكسيد الكبريت	SO_2	0.000001*
ميثان	CH_4	0.0001%	ثاني أكسيد النيتروجين	NO_2	0.000001*
هيدروجين	H_2	0.00005%	دقائق (غبار، لقاح)		0.00001*

* معدل القيمة في الهواء الملوث.

** يزداد معدل ثاني أكسيد الكربون في الجوّ كما سنرى لاحقًا في هذا الفصل والفصل الخامس والعشرين.

يوضح الجدول 2.24 الغلاف الجوي للأرض بوصفه خليطًا من غازات منوعة، وخصوصًا النيتروجين والأكسجين، ونسبة قليلة من بخار الماء، والأرجون، وثاني أكسيد الكربون، وكميات نادرة من عناصر ومركبات أخرى.

التركيب العمودي للغلاف الجوّيّ

عندما تتسلق الجبال فإنك تلاحظ أنّ الهواء يصبح أبرد وأقلّ سمكًا مع زيادة الارتفاع. وعلى سطح البحر، يكون الهواء دافئًا عمومًا وذا كثافة عالية. إنّ الكثافة العالية بالقرب من سطح الأرض ناجّة عن الجاذبية. وكثافة الهواء ككثافة كومة ريش: عالية في القاع وقليلة في الأعلى. تقع أكثر من نصف كتلة الغلاف الجوي على ارتفاع أقلّ من 5.6 كم، أي ما يعادل 99% من كتلة الغلاف الجوي تحت ارتفاع 30 كم. ولكن بخلاف كومة الرّيش، فإنّ الغلاف الجوّيّ ليس له حدّ علويّ مميز، فهو يتلاشى تدريجيًّا نحو الفضاء الفارغ.

يقسم الغلاف الجوي إلى طبقات، لكلّ منها خصائص مميزة (الشكل 20.24) وهي: الطبقة الدنيا التي تعرف **بالتروبوسفير (*troposphere*)** أو **الغلاف المناخيّ**، حيث يوجد الطقس. يمتد التروبوسفير إلى ارتفاع 16 كم فوق خط الاستواء، و8 كم فوق القطبين. وعلى الرغم من أنّه الطّبقة الأقلّ سمكًا، إلا أنه يحوي 90% من كتلة الغلاف الجوي، وبخار الماء كلّه تقريبًا، والغيوم.

لمعلوماتك

- تنفث الثّورانات البركانيّة كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون، ومع ذلك فهي مكوّن ثانوي في الغلاف الجويّ؛ لأنّ معظم ثاني أكسيد الكربون يُمتصّ من المحيط حيث يذوب وينتهي على شكل كربونات كالسيوم.

تصوّر العلوم الطّبيعيّة

كثيف كالهواء

إذا علمنا أنّ كثافة الهواء (1.25 كجم/ م^3)، فيمكننا حساب كتلة الهواء مباشرة . لأيّ حجم . اضرب كثافة الهواء في الحجم فقط. إنّ حجم غرفة متوسطة يقدّر بـ 4 م × 4 م × 3 م = 48 م^3. إذن، كتلة الهواء في هذه الغرفة

1.25 كم/م^3 × 48 م^3 = 60 كغم.

إذا كنت فضوليًّا، وتريد معرفة الوزن بالباوند، فإنك تضرب في عامل التحويل 2.2 باوند/ كجم.

60.0 كجم × 2.2 باوند/ كجم = 132 باوند.

ولأننا نعرف كثافة الهواء (1.25 كجم/ م^3) فإنّ حساب كتلة هواء أمر مباشر لأي حجم.

مسألة:

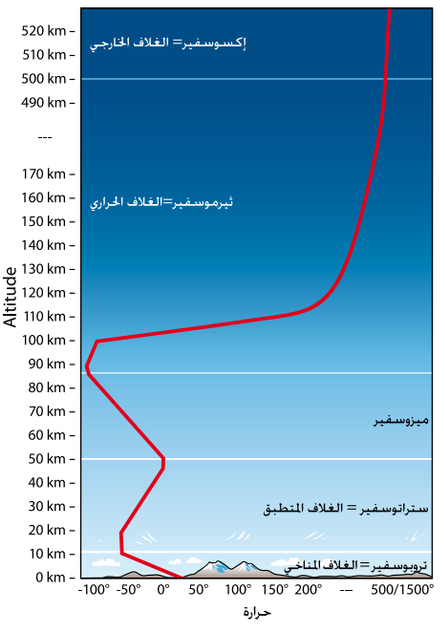
ما الكتلة بالكيلوجرام لهواء غرفة صفية حجمها 796 م^3؟

الحلّ:

لكلّ متر مكعب من الهواء كتلة 1.25 كجم لذا:

796 م^3 × 1.25 كجم/م^3 = 995 كجم.

وهو وزن 17 طالبًا مجتمعين بوزن 60 كجم لكلّ منهم.



الشّكل 20.24
طبقات الغلاف الجوي. يختلف متوسط حرارة الغلاف الجوي بشكل متذبذب مع الارتفاع.

تقلّ الحرارة في الغلاف المناخيّ بشكل منتظم (تقريبًا 6.5°س/ كم) مع زيادة الارتفاع. ويكون متوسط الحرارة - 50°س على قمة التروبوسفير.

يقع **الغلاف المتطبق (*stratosphere*) (الستراتوسفير)** فوق الغلاف المناخيّ الذي يصل إلى ارتفاع 50 كم فوق سطح الأرض. تتكون جزيئات الأوزون في الغلاف المتطبق. وتُمتص الأشعة فوق البنفسجية من الشّمس. يسبب امتصاص الأشعة فوق البنفسجية من طبقة الأوزون ارتفاع درجة الحرارة من 50°س في أسفلها إلى صفر درجة سيليزية في قمتها.

أما طبقة **الميزوسفير (*mesosphere*)** فتوجد فوق الستراتوسفير. وهي تمتد حتى ارتفاع 80 كم تقريبًا. إنّ الغازات المكونة للميزوسفير تمتصّ كمية قليلة من أشعة الشّمس. ونتيجة لذلك، تقلّ الحرارة مرة أخرى من صفر °س في القاع إلى - 90°س في القمة.

إلا أنّ الوضع معكوس في الطبقة التي فوق الميزوسفير. أي **الغلاف الحراري (الثيرموسفير) *(thermosphere)***. حيث تزداد الحرارة فيها عمومًا مع الارتفاع. وتحوي هذه الطبقة كمية قليلة من الهواء الذي يمتصّ أشعة الشّمس. ولهذا، فإنّ الحرارة مرتفعة، حيث تتراوح بين 500 – 1500°س اعتمادًا على النشاط الشّمسيّ. وبسبب انخفاض كثافة الهواء، فإنّ هذه الحرارة المرتفعة ذات أهمية قليلة. إذا زرت الغلاف الحراري، فستلاحظ أنّه حارّ جدًّا.

أما **الغلاف المتأين (الأيونوسفير) *(ionsphere)*** فهي منطقة غنية بالأيونات من الغلاف الحراري والجزء العلوي من غلاف الميزوسفير. يتم تكوين الأيونات عن طريق التفاعل بين الأشعة الشّمسيّة العالية التردد مع ذرات الغازات في الغلاف الجوي. تعمل الأشعة الشّمسيّة القادمة على تعرية الإلكترونات في ذرات النيتروجين والأكسجين مكوّنة تركيزًا عاليًا من إلكترونات حرّة. وأيونات موجبة في هذه الطبقة. تعتمد درجة التّأيّن في الغلاف المتأيّن على كثافة الهواء، وكمية الأشعة الشّمسيّة. ويكون التّأيّن أكبر ما يمكن في الجزء العلويّ من الغلاف المتأيّن حيث كثافة الهواء قليلة والأشعة الشّمسيّة عالية.

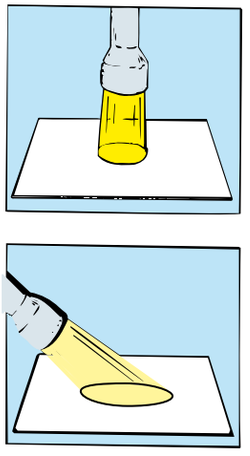
تلقي الأيونات في الغلاف المتّأيّن بوهج باهت. لذا تكون الليالي التي لا يوجد فيها قمرٌ سوداء قاتمة. ولكن بالقرب من الأقطاب المغناطيسية للأرض، يوجد ضوء ناريّ يسمى *الشّفق القطبيّ*، ويحدث هذا الشفق عندما تضرب الرّياح الشّمسيّة (أنوية عالية الشحنة تطلق من الشّمس) جزيئات مثارة من غازات الغلاف المتأيّن (الشكل 21.24). تكون عروض الشّفق القطبي أخّاذة في فترات النشاط الشّمسيّ: عواصف وانبعاثات غازات حارة على سطح الشّمس.

وأخيرًا فوق ارتفاع 500 كم، في **الغلاف الخارجي (الإكسوسفير) *(Exosphere)***، نجد أنّ الغلاف الجويّ الضعيف ينتهي تدريجيًّا إلى حزم أشعة ومجالات مغناطيسية في الفضاء بين الكواكب.

الشّكل 21.24
تحدث إضاءات الشفق القطبي فوق ألاسكا نتيجة ضرب أنوية شمسية مشحونة للجزء العلوي من الغلاف الجوي فتضاء السماء (تمامًا كما تعمل نوى مماثلة في مصباح على إضاءته)

5.24 الطّاقة الشّمسيّة

لماذا تعدّ مناطق الأرض الاستوائية أكثر دفئًا من المناطق القطبية؟ لأنّ درجات حرارة سطح الأرض تعتمد على كمية الطاقة التي يستقبلها كلّ جزء من الأرض من أشعة الشّمس يوميًّا. وتعتمد هذه الكمية على الزاوية التي تسقط فيها أشعة الشّمس على الأرض. ويمكن تمثيل الزوايا المختلفة التي تسقط فيها أشعة الشّمس على سطح الأرض عن طريق حمل مصباح عموديًّا فوق طاولة. وإضاءته مباشرة نحو الأسفل، وعموديًّا على السّطح (الشكل 22.24 أ). يولد الضّوء دائرة مضيئة. الآن، اجعل المصدر يضيء بزوايا مختلفة. ستلاحظ أنّ الدائرة تصبح بيضوية. لذا تتوزع كمية الطّاقة نفسها فوق مساحة أكبر. فتقلّ شدّة الإضاءة. وهذا ما يحدث بالنسبة إلى ضوء الشّمس على سطح الأرض؛ فوقت الظهر عند خط الاستواء هو كحمل المصباح عموديًّا على السطح. وقت الظهر من خطوط العرض العالية مثل حمل المصباح بزاوية.

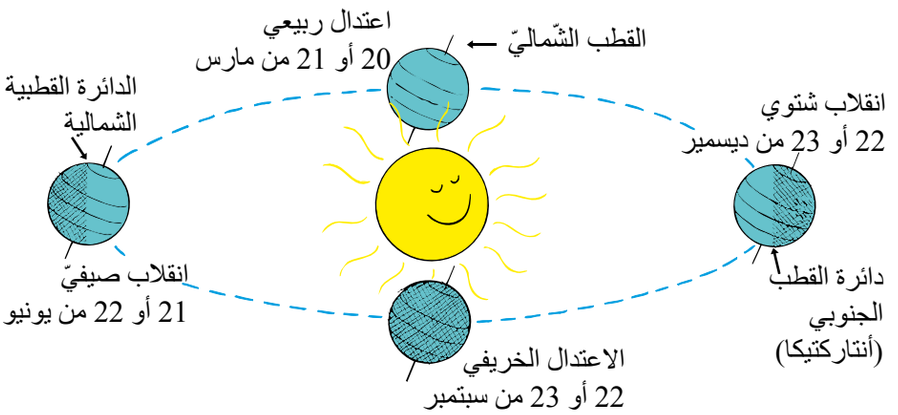


الشّكل 22.24
(أ) عندما يكون المصباح محمولاً فوق السطح مباشرة بزاوية عمودية، فإنّ شعاع الضّوء يكون على شكل دائرة مضيئة. (ب) عند سقوط الضّوء بزاوية فإنّ الشّعاع يتوزع على مساحة أكبر فتقلّ الشّدّة.

الفصول

إنّ فصلي الصّيف والشّتاء في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا ميز أحدهما من الآخر. والسّبب في هذا هو أنّ زاوية سقوط أشعة الشّمس على هاتين المنطقتين تختلف خلال السّنة. يوضح الشكل 23.24 كيف أنّ ميلان الأرض (ميل محور الأرض) يسبب اختلافًا في زاوية سقوط الأشعة. هل ترى أنّ الأشعّة تكون عموديّة أكثر على سطح مناطق النّصف الشّماليّ من الأرض عندما يكون محور الأرض مائلاً *في اتجاه* الشّمس؟ عندما تكون أشعة الشمس قريبة من الاتجاه العمودي على أيّ بقعة من الأرض، يكون الفصل صيفًا. ولكن بعد ستة أشهر تسقط الأشعة على المنطقة بشكل مائل فيكون الفصل شتاءً. وبينهما فصلا الرّبيع والخريف.

ومن المثير معرفة أنه بسبب مدار الأرض الإهليلجي حول الشّمس، فإنّ الأرض تكون بعيدة عنها عندما يكون النّصف الشّماليّ صيفًا. إنّ الذي يحدّد درجات الحرارة السّطحية للأرض هو زاوية سقوط أشعة الشّمس وليس المسافة عنها. وهناك تأثير آخر للأشعة المائلة هو طول النهار يوميًّا. هل تستطيع أن ترى في الشكل 23.24 أنّ الموقع في الصّيف له طول نهار يوميّ أكبر من الموقع نفسه عندما تكون الأرض في الجهة المقابلة في الشّتاء. إذا كان عندك مشكلة في رؤية ذلك فانظر إلى خطوط العرض العالية بالقرب من القطبين. اعتمد على خط العرض الخاص الذي يستمرّ فيه النّهار 24 ساعة خلال الانقلاب الصّيفيّ (21 من يونيو) ويستمر الليل 24 ساعة في أثناء الانقلاب الشّتويّ (21 من ديسمبر). يسمّى خطّ العرض هذا الدائرةَ القطبيّة الشّماليّة في نصف الكرة الشّماليّ. في حين يسمّى الدائرةَ القطبيّة الجنوبيّة في نصف الكرة الجنوبيّ.



الشّكل 23.24
ميلان الأرض وما ينتج عنه من اختلاف توزع أشعة الشّمس، تولّد الدورة السّنويّة للفصول.

في أثناء الانقلاب الصّيفيّ، يميل القطب الشّماليّ نحو الشّمس، ويميل القطب الجنوبيّ بعيدًا عنها. (الصّيف والشّتاء متعاكسان في نصفي الكرة الأرضيّة). وفي منتصف الطّريق بين الانقلابين الصّيفي والشّتويّ في وسطي سبتمبر ومارس، تكون ساعات النّهار والليل متساوية، وعندئذ يسمى الاعتداليين. لا ينحصر تساوي ساعات النّهار والليل في الاعتداليين في خطوط العرض العالية، بل هو موجود في أنحاء العالم كلّه.

لمعلوماتك

■ مع الانتقال شمال دائرة القطب الشّماليّ أو جنوب دائرة القطب الجنوبيّ، توجد أيام صيف أكثر عندما تكون الشّمس فوق الأفق، وأيام شتاء أكثر عندما تكون الشّمس أسفل الأفق. أما عند القطبين، فيتكون الليل من ستة أشهر يتبعه نهار من ستة أشهر أيضًا. ولا تكون الأيام التي نهارها 24 ساعة مضيئة جدًا؛ لأنّ الشّمس لا تذهب بعيدًا عن الأفق. كما أنّ الأيام التي يكون ليلها 24 ساعة، لا تكون مظلمة؛ لأنّ الشّمس لا تغوص بعيدة عن الأفق.

■ **نقطة فحص**

1. لماذا تكون ساعات النهار أقلّ في أشهر الشّتاء؟
2. قال صديق: "ميلان محور دوران الأرض حول نفسها وليس البعد عن الشّمس هو السبب في تكوّن فصول الأرض" هل هذا الادعاء صحيح؟ اشرح.

هل كانت هذه إجابتك؟

1. يميل محور دوران الأرض حول نفسه كقمة تميل في اتجاه واحد في الأوقات جميعها. ومع دوران الأرض حول الشّمس، فإنّ النّصف الشّماليّ يميل نحو الشّمس في الصّيف، وبعيدًا عنها في الشّتاء. ولكن عندما يميل نصف الكرة مبتعدًا فإنّ الشّمس تكون أقرب إلى الأفقي. وعليه، فإنّ الشّمس تشرق متأخرة وتغرب مبكرة، مما يؤدي إلى قصر طول النّهار.
2. أوافق؛ لأنّ ميل المحور يؤثر في الزاوية التي تسقط فيها أشعة الشّمس على موقع. عندما يكون الموقع في فصل الشّتاء، تكون زاوية سقوط الأشعة بعيدة عن العمودي. أمّا في الصّيف فتسقط الأشعة شبه عمودية على المكان.

الأشعة الأرضيّة

تغطي الأشعّة الشّمسيّة طيفًا واسعًا من الأطوال الموجيّة، معظمها في الطول الموجيّ القصير المرئيّ. تمتصّ الأرض بعض هذه الطّاقة، ثم تشع جزءًا منها إلى الفضاء. وكما تعلمنا في الفصل السابع، فإنّ هذه هي الأشعة الأرضيّة التي تنبعث من سطح الأرض (الشكل 24.24). تنبعث الأشعة الأرضيّة في جزء الأشعة الطويلة تحت الحمراء من الطيف.

تعمل الأشعة الأرضيّة على تدفئة الغلاف الجويّ السّفليّ (وليس الأشعة الشّمسيّة التي تفسر سبب ارتفاع حرارة الهواء القريب من الأرض مقارنة بالهواء على ارتفاعات عالية). تعتمد حرارة سطح الأرض على كمية الأشعة الشّمسيّة الواصلة مقارنة بالأشعة المنبعثة من الأرض. في حالة الأشعة الشّمسيّة المباشرة، فإنّ المحصّلة هي ارتفاع الحرارة؛ لأنّ سطح الأرض يمتصّ طاقة أكثر من الطّاقة التي يشعّها. وفي الليل، تكون المحصّلة انخفاضًا في حرارة سطح الأرض؛ لأنّ السّطح يشعّ طاقة أكثر مما يمتصّ. تعمل الغيوم على حجز الأشعة الصادرة والقادمة. لذا، فإنّ الأنهر الصّافية تكون أكثر دفئًا من الأنهر ذات الغيوم، كما أنّ الليالي ذات الغيوم تكون أكثر دفئًا من الليالي الصّافية.

لمعلوماتك

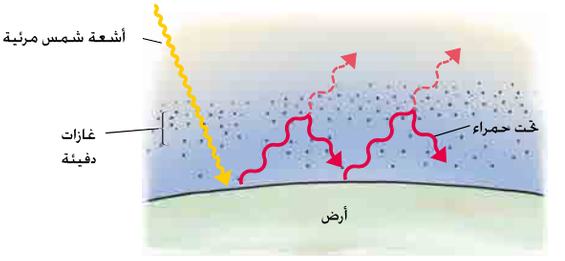
■ الظروف التي تساعد على تكوُّن الألوان الجميلة في الخريف هي أنّ النهار مشمس ودافئ، يليه ليل بارد بحرارة أقل من 7°س. تؤدي هذه الظروف إلى إيقاف إنتاج الكلوروفيل مما يسمح للألوان الأخرى للورقة بالظهور.

تأثير الدّفيئة والاحترار العالميّ

تخترق أشعة الشمس القصيرة الغلاف الجوي بسهولة، وتسقط على الأرض لترفع حرارته. يعمل السّطح المدفّأ على إشعاع طاقة ذات طول موجيّ كبير (أشعة أرضيّة). لا تخترق الأشعة الأرضية جميعها الغلاف الجوي، مثل البيت الزّجاجيّ حيث تعمل الغازات (غالبًا بخار الماء وثاني أكسيد الكربون) على حجز الأشعة الأرضية الطويلة فتسخن الغلاف الجويّ السّفليّ. تسمّى عملية تدفئة الغلاف الجويّ السّفليّ **ظاهرة الدّفيئة *(greenhouse effect)***. يعمل الغلاف الجوي كالغطاء العازل بحيث يبقى سطح الأرض دافئًا مقارنة بعدم وجود غلاف جويّ.

الشّكل 24.24

تبعث الشّمس الساخنة أمواجًا قصيرة مرئية، وتشع الأرض الباردة أمواجًا تحت حمراء طويلة. تسمى *الأشعة المنبعثة* من الأرض الأشعةَ الأرضية. لا تعود الأشعة الأرضية جميعها إلى الفضاء، بل إنّ بعضها يحجز بالغازات الدفيئة. فهي كالغطاء الذي يدفئ الغلاف الجوي السفليّ.



لا تعدّ ظاهرة الدفيئة مؤذية في نفسها. وفي الواقع، فإنها ضرورية للحياة على سطح الأرض. وإن لم توجد مثل هذه الظاهرة، فإنّ سطح الأرض سيتجمد عند متوسط حرارة -18°س. وكما في الغلاف الجويّ للأرض، فإنّ مصدر غازات الدفيئة هو ثوران البراكين. ومن غازات الدفيئة، أن الغاز الذي يقوم بدور أكبر في حجز طاقة الأرض هو بخار الماء. وكجزء من دورة الماء على الأرض، فإنّ مستويات بخار الماء بقيت ثابتة نسبيًا. ومتوافرة في الأوقات جميعها. كما أنّ تركيز غازات الدفيئة الأخرى بقيت ثابتة منذ 100000 سنة حتى ظهور الحضارة البشريّة قبل 10000 سنة.

لو لم توجد في كوكب الأرض ظاهرة الدفيئة لكان متوسط الحرارة -18° س.

إنّ الذي يشغل بال العلماء هو زيادة تركيز غازات الدفيئة سوى بخار الماء. كما أنّ الغازات كثاني أكسيد الكربون (CO_2)، والميثان (CH_4)، وأكسيد النيتروجين (N_2O)، والأوزون (O_3) ومركبات كلوروفلوروكربون (CFC´s) في زيادة بسبب أنشطة الإنسان. تساعد هذه الغازات في تأثير ظاهرة الدفيئة. ومع زيادة تركيزها، تزداد قابلية الغلاف الجويّ على امتصاص الطّاقة الحراريّة الأرضيّة وحجزها.

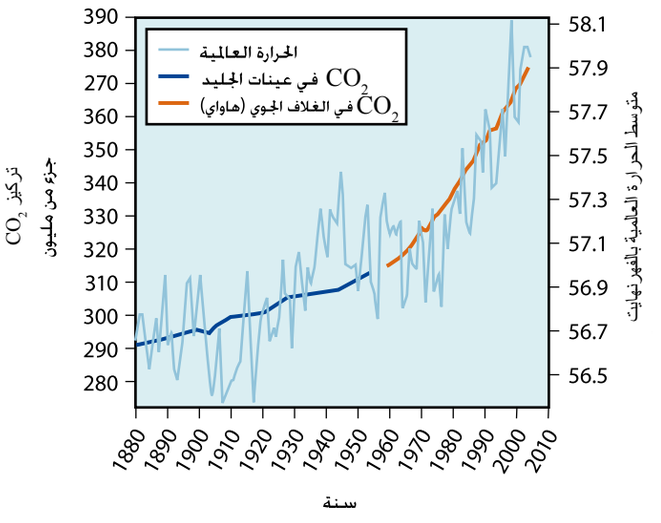
حدثت التّغيرات المناخيّة خلال الزّمن الجيولوجيّ. ولكن الاهتمام الحالي هو أنّ زيادة تركيز CO_2 وغازات الدفيئة الأخرى يجعل الأرض حارّة، مما يؤدي إلى تغيّرات سريعة في أنظمة الأرض، حيث يكون أثرها سلبيًّا في الإنسان. فمنذ الثورة الصناعية في القرن التاسع عشر مثلاً، وتركيز CO_2 في تزايد (الشكل 25.24). إنّ زيادة تركيز CO_2 هي المسؤولة عن زيادة حرارة سطح الأرض 0.7 °س منذ نهاية ذاك القرن. وقد انصهر العديد من جبال الجليد والجليديات، في حين اختفى بعضها. ويعتقد العلماء أنّ تسخينًا أكثر سيحدث إن لم يتم إيقاف انبعاث CO_2.

إن تأثيرات تسخين سطح الأرض غير معروفة كليًّا؛ أحد الأمور هو أنّ التّسخين سيؤدي بالجليديات في القطبين وجرينلاند إلى الانصهار. وسيؤدي ذلك إلى ارتفاع مستوى البحر، مما يعني فيضانات في المناطق المنخفضة نسبيًّا على الشواطئ. كما سيؤدي التّسخين إلى تغيّر أنماط الهطل، ومن ثم التأثير في الزراعة. وقد يحدث أنّ المناطق التي تنمو فيها الحبوب في أمريكا وآسيا تتحرك شمالاً؛ لأنّ المناخ تزداد حرارته والفصول يزداد طولها. وفي المقابل، فإنّ الصحاري في وسط القارات قد تمتد إلى مساحات أكبر؛ إننا لا نعرف. ولكننا نعرف أنّ الأرض تعرضت لفترات دافئة وباردة في الماضي، وأنّ المناخ العالميّ يتغيّر، وقد يسهم في العديد من الأمور التي تناولناها في الفصل الحادي والعشرين. والأبحاث الحالية تركز على فهم أثر الاحترار العالمي.

لمعلوماتك

■ يتم قياس درجات الحرارة القديمة عن طريق قياس النسبة بين الهيدروجين ونظيره الأثقل الديتيريوم في عينات جليد القطبين. عندما تكون درجات الحرارة العالمية عالية، فإنّ المحيط يكون أدفأ، وأنّ نسبة عالية من المياه التي تحتوي على الديتيريوم تتبخر من المحيط وتسقط على شكل ثلج. يتم حفظ نسبة ديتيريوم عالية مقارنة بالهيدروجين في عينات الجليد، لذا فإنّها تشير إلى مناخ دافئ.

متوسط الحرارة وتركيز CO_2 عالميًا من 2004 - 1880



الشّكل 25.24
منذ الثورة الصناعية في 1880م، زادت نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وزادت الحرارة. هل تظن وجود علاقة ما؟

■ **نقطة فحص**

1. ماذا يعني قولنا: ظاهرةُ الدّفيئة صمّامٌ ذو اتجاه واحد؟
2. أيّ غازات الغلاف الجوي يساهم أكثر في تأثير ظاهرة الدّفيئة؟
3. ما المساهم الرّئيس الطّبيعيّ في الغازات المسببة لظاهرة الدّفيئة في غلاف الأرض؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. تمرّر المادة الشّفافة – الغلاف الجويّ للأرض والزجاج للبيت الزجاجي – الأمواج القصيرة القادمة فقط. في حين تحجز الأمواج الطويلة الخارجة. وبعبارة أخرى، فإنّ الإشعاع ينتقل في اتجاه واحد.
2. بخار الماء.
3. الثورانات البركانية. في عام 1991م، قام بركان بيناتوبو بنفث كلور في الغلاف الجوي أكثر من التّسرّب لمركبات CFC´s خلال قرن.

■ 6.24 القوى المسبّبة لحركة الهواء

إنّ القوة المسببة لحركة الهواء هي التّسخين غير المتساوي لسطح الأرض عن طريق الشّمس. ويقال عادة: "الهواء الساخن يصعد". لماذا يحدث ذلك؟ الجواب على ذلك أنّ الهواء السّاخن أقل كثافة من الهواء البارد. وكما تعلمنا في الفصل الخامس، فإنّ السّائل الأقلّ كثافة يصعد إلى الأعلى عند إحاطته بسائل أعلى كثافة. وهو سبب ارتفاع البالونات المملوءة بالهواء السّاخن نحو الأعلى: يتم تسخين الهواء الداخليّ بحيث يصبح أقل كثافة من الهواء المحيط.

ولكن لماذا يكون الهواء السّاخن أقل كثافة من الهواءالبارد؟ جزيئات الهواء في عينة هواء* يصطدم بعضها ببعض بشكل ثابت ويرتد بعضها عن بعض. وعند نقصان درجة الحرارة فإنّ الجزيئات تتحرك ببطء، وتكون المسافة التي تحركها بعد كلّ ارتداد قليلة. ولكن عند تسخين عينة الهواء، فإنّ الجزيئات تتحرك أسرع، وترتد إلى مسافة أكبر بعد التصادم. وعليه، فإنّ الهواء السّاخن يحتاج إلى مساحة أكبر؛ حجم أكبر. وبسبب عدم تغيّر كتلة عينة الهواء، فإنّ الكثافة تقلّ عندما يزداد الحجم. ولتصور ذلك: تخيّل أنّ عينة الهواء محاطة بوعاء رقيق قابل للتمدد. تحتاج جزيئات الهواء إلى عمل جهد لإرغام العينة على التّمدد؛ أي لأخذ طاقة حرارية (الفصل 6). ولأنّ عينة الهواء تفقد الطاقة الحرارية، فإنها تبرد عند تمددها. وبحسب قانون بويل (الفصل 5)، يمكن لعينة الهواء أن تتمدد إذا قلّ الضغط حولها. يقل الضغط مع الارتفاع، لذا، فإنّ الهواء المرتفع يتمدد ويبرد. تستمر عينة الهواء في الارتفاع حتى تصبح بحرارة الهواء المحيط نفسه وكثافته. وبالعكس، فإنّ الهواء النازل يسخن؛ لأنّ البيئة تؤثر بجهد في عينة هذا الهواء (الفصل 6). يتمّ تحويل الطّاقة المتصة من البيئة إلى عينة الهواء. وتزداد حرارة عينة الهواء بسبب ارتفاع الطاقة الحرارية الداخلية لها. وللسبب نفسه، يسخن منفاخ الدراجات عند استخدامه لنفخ العجلات؛ لأنّ هناك جهدًا على الهواء داخله.

علاقة الضّغط والحرارة

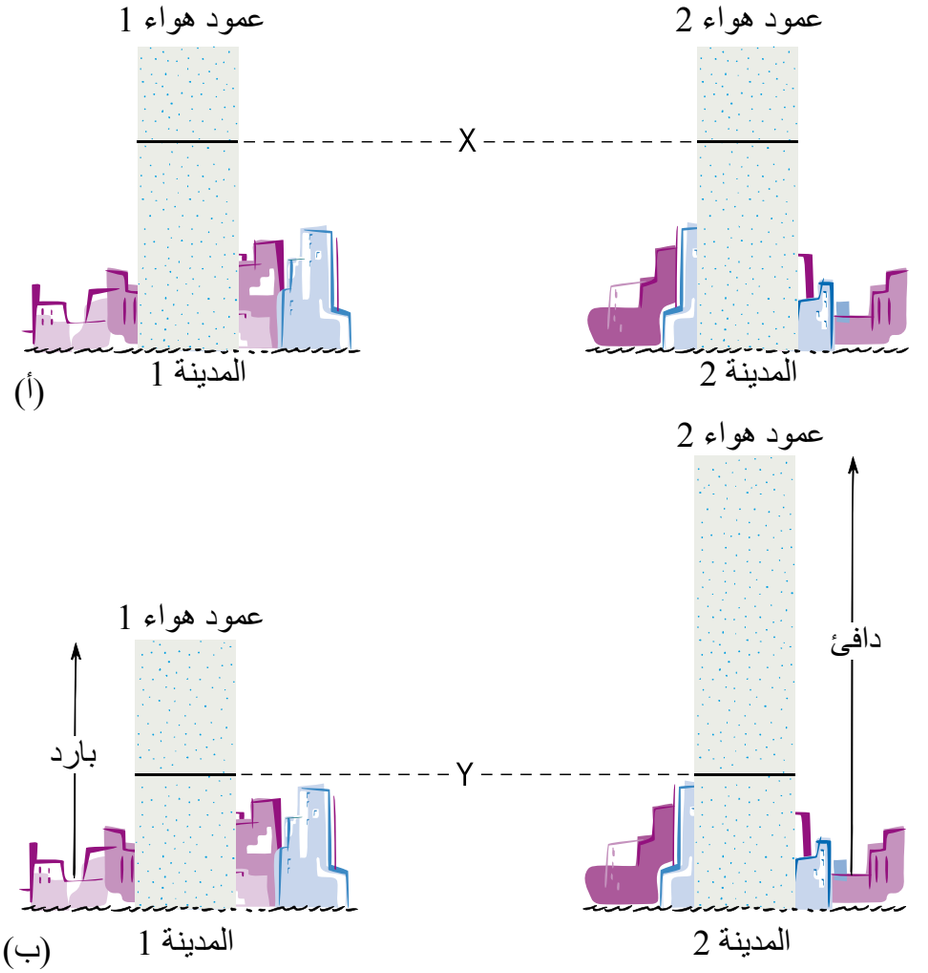
عند تسخين عينة هواء ترتفع نحو الأعلى. فينزل هواء بارد أعلى كثافة من ارتفاعات عالية ليحلّ مكان الهواء السّاخن. ولأنّ عينة الهواء السّاخنة المرتفعة تبرد، فإنها تنزل نحو الأسفل أخيرا لتحلّ مكان هواء ساخن صاعد إلى الأعلى. تكوّن هذه الحركة تيارات الحمل، والدوران الحراريّ للهواء؛ وبعبارة أخرى *تيارات حمل*. ومع خلط تيارات الحمل للغلاف الجوي، تتكون *رياح* تعرف بأنها هواء بحركة أفقية. تتولد الرياح استجابة لاختلاف الضغط في الغلاف الجوي الناتج عن اختلاف الحرارة. يسمى اختلاف الضّغط بين منطقتين *تدرّج الضّغط* (*pressure-gradient force*). أمّا القوة التي تسبب حركة الهواء فتسمّى **قوة تدرّج الضّغط**. تعمل قوة تدرّج الضّغط على تحريك الهواء من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضّغط المنخفض.

* افترض أنّ عينة الهواء وعاء من الهواء يستطيع التّمدد والتّقلص، ولكنه لا يختلط بالهواء المحيط.

ولمعرفة كيفية تأثير الحرارة في الضّغط: افترض وجود عمودَيْ هواء متساويين في الشكل 26.24 أ. عمودا الهواء متساويان لأنهما يحويان العدد نفسه من جزيئات الهواء، والتي تتوزع بدورها بالتساوي. ولتصور ذلك: فإننا سنفترض ما يلي للتسهيل: 1- لا يوجد اختلاف في كثافة الهواء مع الارتفاع في العمود (قد تتغير كثافة الهواء داخله). 2- لا يستطيع الهواء أن يدخل أو يترك أيًّا من الأعمدة (بما أنّ الكتلة ثابتة، فإنّ الضغط الجوي على السطح لا يتغير). 3- عرض كلّ عمود يبقى ثابتًا. لذا، فإنّ كلّ عمود يحوي كمية ثابتة من الهواء بكثافة متساوية والذي يمكن أن يتحرك إلى الأعلى وإلى الأسفل فقط.

عندما تكون درجة حرارة المدن هي نفسها، يكون ارتفاع الأعمدة هو نفسه. كما في الشكل 26.24 أ. على أيّ ارتفاع – مثلًا الارتفاع ذو العلامة × في الرسم – يكون الضغط الجويّ في كلّ عمود هو نفسه؛ لأنّ عدد الجزيئات من الهواء فوق × هو نفسه في العمودين. وهذا صحيح لكلّ ارتفاع. ولهذا، لا يوجد اختلاف في الضغط بين المدينتين على أيّ ارتفاع بسبب عدم وجود اختلاف في درجة الحرارة.

الآن، افترض أنّ الحرارة في المدينة 1 انخفضت، في حين ارتفعت في المدينة 2. في هذه الحالة نحصل على الوضع الموضّح في الشكل 26.24 ب. ينكمش الهواء البارد فوق المدينة 1 ويصبح أكثر كثافة. أما الهواء الدافئ فوق المدينة 2 فيتمدد نحو الأعلى (تذكر أنّ عرض العمود متساوٍ). ويصبح أقلّ كثافة. لازلنا بعدد جزيئات الهواء نفسه فوق كلّ مدينة، ولكن هناك عمودًا باردًا قصيرًا فوق المدينة 1، وعمودًا دافئًا طويلًا فوق المدينة 2. يبقى ضغط الهواء على مستوى الأرض نفسه في المدينتين؛ لأنّ العدد نفسه من جزيئات الهواء يضغط نحو الأسفل عليهما.



الشّكل 26.24
(أ) أعمدة الهواء بالحرارة نفسها فوق المدينتين. لاحظ أنّ ضغط الهواء على أيّ ارتفاع مثل × هو نفسه لكلتا المدينتين.
(ب) عندما تكون المدينة 1 باردة والمدينة 2 دافئة، يكون عمود الهواء في المدينة 2 أطول بسبب التمدد الذي يعني أنه على أيّ ارتفاع فوق المدينة فإنّ الضغط أكبر في العمود الأطول. وهذا يولد تحدّر ضغط، فيتحرك الهواء من المدينة 2 إلى المدينة 1.

لكن التسخين والتبريد لأعمدة الهواء المعينة يسبب تغيرات في ضغط الهواء العالي*.

الآن، افترض ارتفاع نقطة *y* على منتصف المسافة في العمود 1. ولأنّ *y* تقع في منتصف العمود 1، فإنّ النصف العلويّ من عمود الهواء 1 يحوي نصف عدد جزيئات الهواء (على افتراض تساوي الكثافة مع الارتفاع). إنّ الارتفاع *y* هو أقلّ من نصف المسافة في العمود 2؛ لأنّ العمود 2 أطول. لذا، فإنّ الجزء من العمود 2 فوق ارتفاع *y* يحوي أكثر من نصف جزيئات الهواء في العمود 2. ولأنّ عدد جزيئات أكبر تضغط نحو الأسفل على ارتفاع *y* في العمود 2 مقارنة بالعمود 1 ، فإنّ ضغط الهواء على ارتفاع *y* في العمود 2 أكبر من العمود 1. وبعبارة أخرى، فإنّ اختلاف الحرارة أدى إلى اختلاف ضغط الهواء العالي. لذلك، فإنّ عدد جزيئات الهواء فوق ارتفاع محدد (كتلة الهواء فوقه) يمثل الضغط الجوي على ذلك الارتفاع. وسنتناول الآن حقيقة مهمة، وهي أنّ الهواء الدافئ العالي يكون مصاحبًا لضغط جوي مرتفع، في حين يكون الهواء البارد العالي مصاحبًا لضغط جوي منخفض.

ما علاقة فرق الضغط على ارتفاع كيلومتر أو أكثر بالرياح على سطح الأرض؟ يؤدي فرق الضغط إلى تحرك الهواء، ومن ثم هبوب الرياح. لنسمح الآن للهواء بين مدينتي 1 و 2 بالاختلاط. ولأنّ الهواء يهب من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض، فإنّ الرياح العالية ستهب من المدينة 2 إلى المدينة 1. ومع حركة الهواء العالي من المدينة 2، فإنّ كثافة الهواء في المدينة 2 تقل، ويقل الضغط السطحي. في هذه الأثناء، ومع تراكم الهواء في العمود البارد 1، سيزداد الضغط السطحي في المدينة 1. ولهذا، نجد أنّ الأيام الباردة تكون مصاحبة لضغط سطحي مرتفع، في حين تكون الأيام الدافئة مصاحبة لضغط سطحي منخفض. والآن، ولأنّ الضغط السطحي أكبر في المدينة 1، فإنّ الرياح ستهب من المدينة 1 إلى المدينة 2. مما يغير توزع الضغط مرة أخرى بسبب حركة الهواء من المدينة 1؛ إنه نظام حركيّ فعلا.

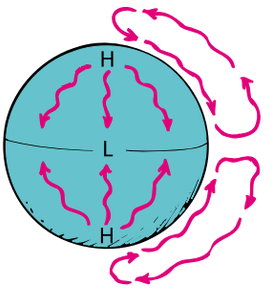
حركة الهواء على نطاق كبير

عالميًّا، تستقبل المناطق الاستوائية أعظم كمية طاقة إشعاعية من الشّمس. ولهذا فإنها ذات أعلى متوسط درجة حرارة في العالم. ومع تسخين الهواء من الأرض الساخنة (أو المحيط) في المناطق الاستوائية، فإنه يرتفع ويتجه نحو القطبين، ويبرد تدريجيًّا في الغلاف الجوي العلويّ. يهبط هذا الهواء البارد نحو الأسفل، ويعود إلى المناطق الدافئة قرب الاستواء. فإذا كانت الأرض غير دوارة، فإنّ هذا التأثير سيكوّن خلية واحدة دوارة في النصف الشّماليّ من الأرض، وخلية دوارة أخرى في النصف الجنوبي، كما هو موضح في الشكل 27.24.

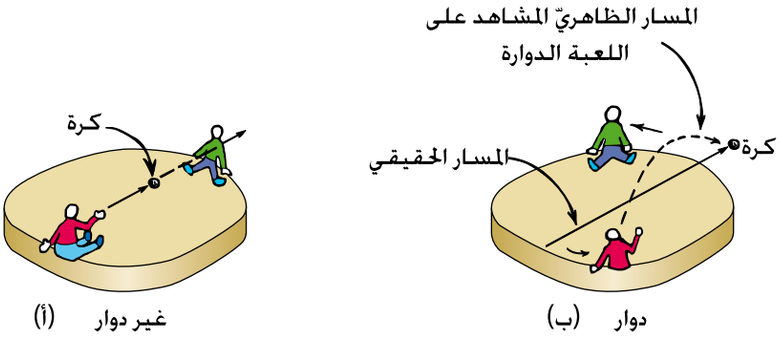
تدور الأرض حول نفسها، مما يؤثر في مسار الهواء المتحرك. تصوّر الأرض كاللعبة الدوارة الكبيرة في مدينة الملاهي التي تدور في عكس اتجاه عقارب الساعة (اتجاه دوران الأرض حول نفسها هو نفسه عند النظر إليها من القطب الشّماليّ). تخيّل أنك تلعب مع صديقك لعبة التقاط الكرة وإمساكها على هذه الدوارة. عند رميك الكرة إلى صديقك، فإنّ الحركة الدوارة للعبة تؤثر في اتجاه رؤية صديقك لحركة الكرة. ومع أنّ الكرة تنتقل بخطّ مستقيم، فإنها تظهر بشكل منحن إلى اليمين، كما في الشكل 28.24.

لمعلوماتك

■ بالطبع، كثافة الهواء غير ثابتة في عمود طويل من الغلاف الجوي. ولكن هذا التبسيط يساعد على فهم الترابط بين الحرارة والضغط وأثره في الهواء.



الشّكل 27.24
إذا كانت الأرض كرة غير دوارة، فإنّ دوران الهواء سيكون في خلية واحدة شمال الاستواء وأخرى جنوبه. وفي كلّ خلية، فإنّ الهواء المسخن عند الاستواء يرتفع ويتجه نحو القطبين، ثم يبرد وينزل متجهًا إلى خطّ الاستواء.



الشّكل 28.24
(أ) في لعبة الدوران الثابتة، تنتقل الكرة التي يتم قذفها بخط مستقيم. (ب) في لعبة دوران تتحرك عكس اتجاه عقارب الساعة تتحرك الكرة في خط مستقيم. ولكن في أثناء الدوران تظهر الكرة أنها تنحرف إلى يمين مسارها.

* الهواء العالي هو تعريف أكثر 1 كم من الهواء العالي فوق سطح الأرض.

(تتحرك الكرة بشكل مستقيم، لكن صديقك لن يمسك بها؛ لأنّ حركة اللعبة الدوارة تؤدي إلى تغيير موقعها). هذا الانحناء الظاهري شبيه لما يحدث في الأرض. ففي أثناء دوران الأرض حول نفسها، فإن الأجسام المتحركة بحرية جميعها؛ الهواء، والماء، وسفن الفضاء والقاذفات، وحتى كرات الثلج المتساقطة – تظهر كأنها تنحرف عن مسارها المستقيم. يسمى هذا الانحراف الناجم عن دوران الأرض حول نفسها **بتأثير كوريولوس*** (*Coriolis effect*).

ومن النتائج المهمة لهذه القوى انحراف الرّياح نحو اليمين في نصف الكرة الشماليّ، ونحو اليسار في نصف الكرة الجنوبيّ (الشكل 29.24). يختلف تأثير قوى كوريولوس تبعًا لسرعة الرياح. فكلما زادت سرعة الرياح يزيد الانحراف. كما يؤثر خط العرض في مقدار هذا الانحراف. يكون الانحراف أكبر ما يمكن على القطبين، في حين يكون صفرًا عند الاستواء. وكما يوضح الشكل 30.24، فإنّ قوى كوريولوس لها أثر مهم في حركة الغلاف الجوي – والطائرات – في الارتفاعات المتوسطة.

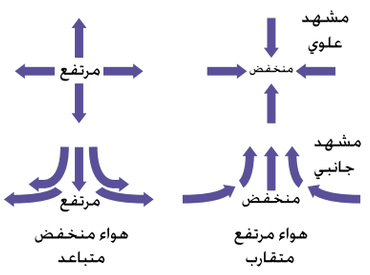
يتعرض الهواء المتحرك بالقرب من سطح الأرض إلى الاحتكاك، وكلما زادت خشونة السّطح زاد الاحتكاك، لذا زاد الانحراف في الرّياح. ولأنّ الاحتكاك السّطحي يقلل من سرعة الرّياح، فإنه يقلل أيضًا من تأثير قوى كوريولوس، مما يؤدي إلى دوران الرياح في نصف الكرة الشماليّ في اتجاه عقارب الساعة من مناطق الضغط المرتفع، ودوران الرياح عكس اتجاه عقارب الساعة إلى مناطق الضغط المنخفض (الجزء العلوي من الشكل 29.24 ج). وفي النصف الجنوبي للكرة الأرضية، ينعكس نسق الدوران (الجزء السفلي من الشكل 29.24 ج).

7.24 أنماط الدوران العالميّ

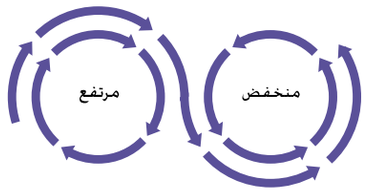
إنّ أنماط الدوران شبه الخلويّ هي المسؤولة عن إعادة توزيع الحرارة على سطح الأرض، وعن الرياح العالمية (الشكل 31.24). يتحرك الهواء المسخن عند خطّ الاستواء نحو الأعلى مع حركة أفقية صغيرة جدًّا مما يسبب تكوُّن منطقة ضغط منخفض على السّطح. تؤدي حركة الارتفاع نحو الأعلى إلى خلق منطقة ضيقة من الهواء ليس فيها رياح، حيث يكون الهواء فيها ساكنًا وساخنًا وراكدًا. كان البحّارة يكرهون بحار الاستواء قديمًا؛ لأنّ سفنهم تطفو دون حركة بسبب عدم وجود الرياح، وسموا هذه المناطق *مناطق الرّكود*. عندما يرتفع الهواء الرطب في هذه المناطق نحو الأعلى، فإنه يبرد ويؤدي إلى زخات مطر تؤدي إلى تكوين الغابات الاستوائية على اليابسة؛ وهذا ما يميز المناطق الاستوائية.

يرتفع الهواء في مناطق الرّكود الحارة إلى الحدّ بين الغلافين المناخي والمتطبق، حيث تنقسم وتنتشر نحو الشمال والجنوب. (نسبيًّا، قليل من الرياح يعبر الاستواء إلى نصف الكرة الآخر). وبسبب قوى كوريولوس، فإنّ الرّياح تنحرف وتنتقل على امتداد مسارات طويلة نحو القطب مقارنة بما لو تحركت بمسارات مستقيمة. وعندما تصل الرّياح خط عرض 30° شمالاً وجنوبًا، فإنها تبرد لدرجة تهبط فيها إلى السطح. ينضغط الهواء النازل بسبب زيادة الضغط عليه مع نقصان الارتفاع. يعمل الضغط على تسخين الهواء وتقليل رطوبته النسبية **. وينتج عن ذلك منطقة ذات ضغط مرتفع مما يولد حزامًا من الهواء الجاف الساخن على السّطح مع قليل من المطر.

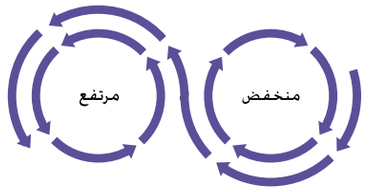
على الأرض، تمثل هذه الأنطقة من الضغط المرتفع صحاري العالم الكبيرة – الصحراء الكبرى في إفريقيا، وصحراء الجزيرة العربية في الشرق الأوسط، وصحراء الموجيف في الولايات المتحدة، وصحراء فكتوريا الكبيرة في أستراليا. وفي البحر، يولّد الهواء الحارّ النازل رياحًا ضعيفة جدًّا. وتبعًا للأسطورة فإن



(أ) قوة تحدر الضغط.

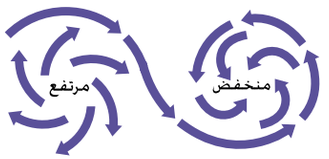


رياح المنسوب العالي في نصف الكرة الشّماليّ.

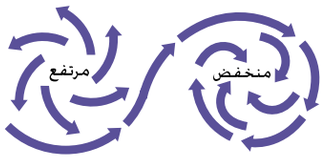


رياح المنسوب العالي في نصف الكرة الجنوبيّ.

(ب) قوة كوريولوس.



الرّياح السّطحيّة في نصف الكرة الشّماليّ.



الرياح السطحية في نصف الكرة الجنوبي.

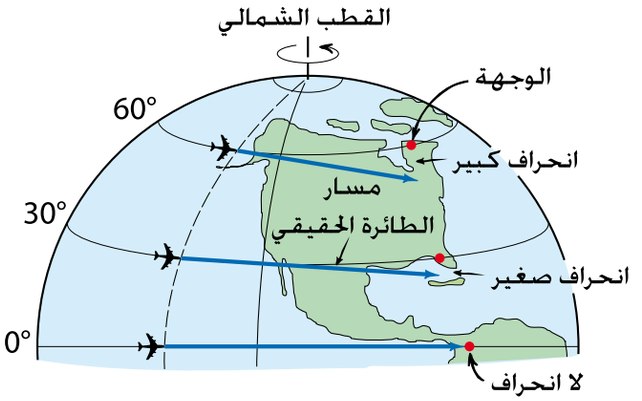
(ج) قوة الاحتكاك على سطح الأرض.

الشّكل 29.24

قوة كوريولوس – الانحراف الظاهري للرياح من خط مستقيم على سطح الأرض هي قوى أساسية لتحريك الرياح، وهي ليست القوة الوحيدة. (أ) يتحرك الهواء بسبب فرق الضغط - قوة تحدر الضغط (ب) عندما يتحرك الهواء يتأثر بدوران الأرض – قوة كوريولوس. (ج) في أثناء حركة الهواء قرب سطح الأرض فإنه يبطؤ بسبب قوة الاحتكاك.

* قوة كوريولوس ليست قوة حقيقية بالمعنى الحرفي، وتسمى أحيانًا *تأثير كوريولوس*. في مثال لعبة الدوران، فإنّ المسار المنحني يُرى فقط من قبل واحد على اللعبة. ولكن إذا كان هناك شخص على شجرة فوق اللعبة، فإنه يرى المسار خطًّا مستقيمًا. ولكن لأننا جميعًا على الأرض، فإنّ تأثير كوريولوس يؤدي إلى تغير اتجاه الرياح. وبسبب انحراف الرياح فعليًّا، يسمى هذا السبب قوى كوريولوس.

** سيتم تناول التكاثف، والهطل، والرطوبة النسبية في الفصل الخامس والعشرين.



الشّكل 30.24
خطوط العرض تؤثر في الانحراف الظاهري الناتج عن قوى كوريولوس. ينحرف جسم متحرك بحرية متجه نحو الغرب أو الشرق عن مساره المستقيم بسبب دوران الأرض أسفلها. والانحراف يكون كبيرًا عند الاستواء. قوى كوريولوس مشاهدة فقط للحركات ذات المقياس الكبير مثل رياح الغلاف الجوي، أو تيارات المحيط، التي لأحد أجزائها سرعة انحراف أكبر من الآخر حول محور الأرض.

السفن التي كانت تبحر قديمًا يتم حجزها على خطوط العرض هذه شمالاً وجنوبًا. وعند نفاد الغذاء والماء على السفينة، يلجأ البحارة إلى أكل الخيول أو رميها للحفاظ على الماء النقي وتقليل حمولة السفينة. لذا، تسمّى هذه المنطقة خطوط *عرض الخيول*.

تكتمل دائرة الحمل الحرارية التي تبدأ من خط الاستواء عندما ينحرف الهواء المتحرك جنوبًا من خطوط عرض الخيول في النصف الشمالي وشمالاً في نصف الكرة الجنوبي، وغربًا عن طريق قوة كوريولوس لتكوين *الرّياح التّجارّيّة*. ينحرف الهواء المتحرك شمالاً في خطوط الخيول في نصف الكرة الشمالي، وجنوبًا في النصف الجنوبي شرقًا ليكون الرياح الغربية.

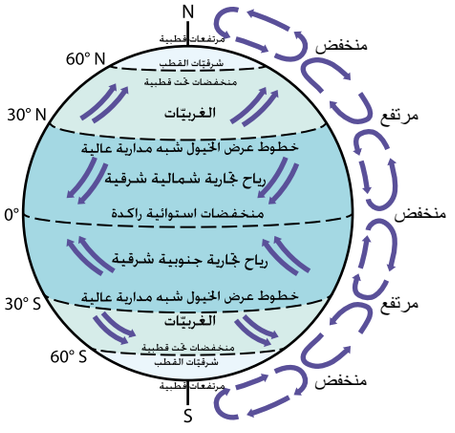
وبالقرب من القطبين، تنزل الرياح الباردة باستمرار، فتدفع الهواء السطحي نحو الخارج. وتلاحظ قوة كوريولوس بوضوح في المناطق القطبية حيث تنحرف الرياح نحو الغرب لإنشاء *شرقيّات الأقطاب* (الشكل 31.24). يلتقي الهواء البارد الجاف مع الهواء الدافئ الرطب للغربيات على خطوط عرض 60° شمال خط الاستواء وجنوبه. تسمى هذه الحدود *الجبهة القطبية*، وهو نطاق ضغط منخفض حيث تتقارب كتل الهواء مكونة العواصف عادة.

تتميز خطوط العرض المتوسطة بطقس غير قابل للتنبؤ. ومع أنّ الرياح تظهر أنها آتية من الغرب إلا أنها متغيرة؛ لأنّ فروق الحرارة والضغط بين الكتل الهوائية في المناطق تحت المدارية من جهة، والكتل الهوائية على الجبهة القطبية من جهة أخرى تولّد رياحًا قوية. ومع حركة الهواء من مناطق ضغط مرتفع حيث الهواء أعلى كثافة إلى مناطق ضغط منخفض، ينشأ تأثير الرّياح الدوّامة (كما ستتم دراسته في الفصل الخامس والعشرين، *أعاصير خطوط العرض المتوسطة*).

يؤثر عدم انتظام سطح الأرض في حركة الرياح إن الجبال والوديان والصحارى والغابات والأجسام المائية الكبيرة تقوم جميعها بدور في تحديد اتجاه هبوب الرياح.

لمعلوماتك

■ تسمى تيارات الهواء اعتمادًا على الاتجاه الذي تأتي منه الرياح. لذا فإنّ الغربيات تهبّ من الغرب، ولكن الهواء يتحرك نحو الشرق.



الشّكل 31.24
ينتج الدوران العالمي للغلاف الجوي عن عاملين هما: (أ) التسخين غير المتساوي لسطح الأرض (الذي يولد تيارات الحمل). (ب) دوران الأرض حول نفسها. في الغلاف الجوي ست خلايا دورانية تؤدي إلى حركة الرياح في اتجاه الأسهم. الرياح الرئيسة هي *الغربيّات، والشّرقيّات، والرياح التجارية*.

الدوران في الغلاف الجوي العلوي

في الغلاف الجوي العلويّ "أنهار" هواء تتحرك بسرعة، وتتعرج حول الأرض على ارتفاع 14-9 كم. هذه الرياح العالية السّرعة هي *التيارات النّفّاثة*. ومتوسط سرعتها بين 95 و 190 كم / ساعة . ومن ثم تقوم هذه التيارات النفاثة بدور حاسم في نقل حرارة العالم من خط الاستواء إلى القطبين.

ومن أهم التيارات النفاثة *التّيار القطبيّ النّفّاث*، *والتّيار النّفّاث تحت المداريّ*، واللذان يتشكلان في شمال الكرة الأرضية وجنوبها على حدّ سواء. وتشكل التيارات القطبية النفاثة الممال الحراري (التحدّر الحراري) على الجبهة القطبية – على خط عرض 60° شمالا و 60 درجة جنوبًا تقريبًا - حيث يلتقي الهواء القطبي البارد بالهواء المداري الحارّ. ويؤدي هذا التحدّر الحراري إلى تحدّر شديد في الضغط الذي يزيد من سرعة الرياح. وخلال فصل الشتاء ، يكون التيار القطبي النفاث قويًّا، وينتقل إلى خطوط العرض المنخفضة ، وبذلك يجلب عواصف الشتاء، والعواصف الثلجية القوية للولايات المتحدة. وفي الصيف يكون التيار القطبي النفاث هو الأضعف، وينتقل إلى مناطق خطوط العرض العليا.

ينجم التيار النفاث تحت المداري عن طريق الجو الحارّ المحمول نحو القطب من خط الاستواء الذي ينتج تحدّرًا حراريًّا حادًّا على طول المواجهة شبه الاستوائية - خط العرض 30° شمالًا و 30° جنوبًا. ومرة أخرى، يولّد تحدّر (ممال) الضّغط الناجم عن التّحدّر الحراريّ (أو التّحدّر في درجة الحرارة) رياحًا قوية.

يستحق التيار النفاث تحت المداري فوق جنوب شرق آسيا والهند وإفريقيا اهتمامًا خاصًّا (الشكل 32.24). إنّ تشكيل هذا التيار النفاث مرتبط بارتفاع درجة حرارة الهواء فوق مرتفعات التبت. وخلال فصل الصّيف، يكون الهواء فوق المرتفعات القارية أكثر دفئًا من الهواء فوق المحيط إلى الجنوب. يرفع الهواء الدافئ جالبًا هواءً باردًا رطبًا من فوق المحيط. وهكذا تُولّد تحدرات درجة الحرارة والضغط رياحًا قوية على اليابسة المحاذية للبحار التي تسهم في المناخ *الموسميّ* في المنطقة* . وخلال فصل الشتاء، تغير الرّياح اتجاهها لإنتاج فصل جفاف.

هذه الدورة من الرياح تميز مناخات كثيرة من جنوب شرق آسيا. هذه الرياح الحاملة للمطر في الصّيف قابلة للتنبؤ وتتحرك فوق الأرض الساخنة. وتسمى *الرّياح الموسمية الصّيفيّة*. أما الرّياح السّائدة الجافة القادمة من الأرض إلى البحر في فصل الشتاء فتسمّى *الرّياح الموسميّة الشّتويّة*.

نقطة فحص

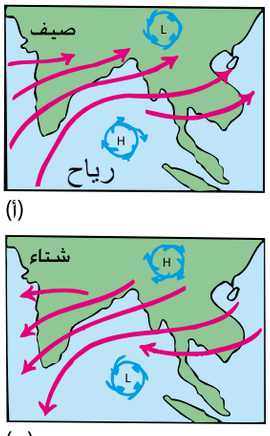
1. ما الأسباب الكامنة وراء كلّ من الرياح التجارية ، والتيارات النفاثة، والرياح الموسمية؟
2. في خطوط العرض المتوسطة ، تجدول شركات الطيران أوقاتًا أقصر لرحلة الطائرات المسافرة من الغرب إلى الشرق، وأوقاتًا أطول لرحلة الطائرات المسافرة من الشرق إلى الغرب. لِمَ تكون الطائرات المتجهة شرقًا أسرع؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. التسخين غير المتساوي لسطح الأرض إلى جانب دوران الأرض حول محورها.
2. الرياح الغربية العلوية من التيارات النفاثة تفسر السّبب في تحرك الطائرات المتجهة شرقًا على نحو أسرع. وعندما يتحرك التيار النفاث من الغرب إلى الشرق ، فإنه يحمل كلّ شيء في طريقه. ولتوفير الوقت والوقود ، يلتمس الطيارون التيار النفاث عند سفرهم من الغرب إلى الشرق ، ويتجنبون ذلك عند سفرهم من الشرق إلى الغرب.

الدّوران المحيطيّ

إنّ القوى التي تدفع الرّياح تؤثر أيضًا في حركة مياه البحر. في المحيطات المفتوحة، تنجم حركة مياه البحر عن نوعين من التيارات هما: 1- تيارات الرّياح السّطحيّة. 2- تيارات الكثافة في المياه العميقة.

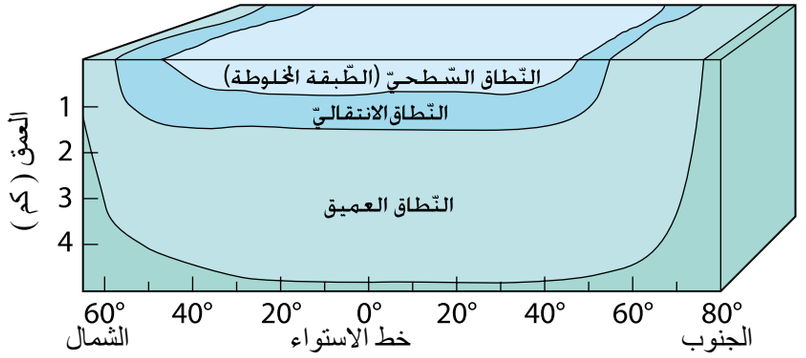


الشّكل 32.24
الرياح فوق جنوب شرق آسيا. (أ) خلال أشهر فصل الصيف ، يكون الهواء فوق المحيطات أبرد من الهوء على الأرض. الرياح الموسمية الصيفية تجلب الأمطار الغزيرة ، في حين تهبّ الرياح من البحر إلى الأرض. (ب) وخلال أشهر الشتاء، يكون الهواء فوق القارات أكثر برودة من الهواء فوق المحيطات. الرياح الموسمية في فصل الشتاء عموما تؤدي إلى سماء صافية، والرياح تهب من الأرض إلى البحر.

لمعلوماتك

■ يؤثر دوران الهواء في تداول تيارات سطح المحيط . وخير شاهد على هذا ما تمّ العثور عليه في أثناء عاصفة شديدة عام 1990م ، حيث تم تنظيف خمس حاويات شحن من الأحذية الرياضية من خارج السفينة في أثناء طريقها للشحن من كوريا الجنوبية إلى شمال غرب المحيط الهادئ. لقد تم التقاط آلاف الأحذية الرياضية والأحذية الأخرى على طول الشواطئ من كولومبيا البريطانية إلى ولاية أوريجون، وحتى منتصف المحيط الهادئ وهاواي. وعلى الرّغم من أنّ عددًا كبيرًا من هذه الأحذية غير متطابقة ، فإنّ معظمها ما زال صالحًا للاستعمال . وقد شكل ذلك عمليات مبادلة للبحث عن الأحذية الملائمة.

*اشتقت كلمة monsoon من العربية "موسم" معناها "رياح فصلية".



الشّكل 33.24
البنية العمودية للمحيط. تكون المياه في النطاق السّطحيّ مختلطة في أثناء تحركها عموديًّا استجابة لتغيرات الحرارة والكثافة ، وتتحرك أفقيًّا استجابة لطاقة الرّياح. تتحرك المياه في النطاق الانتقالي على طول سطوح الكثافة. إنّ المياه العميقة تكون مدفوعة بالكثافة، لأنها تدور من المناطق القطبية الباردة إلى المناطق الاستوائية الدافئة.

يتم التحكم في كثافة مياه البحر من قبل عاملين، هما درجة الحرارة والملوحة. بالقرب من السواحل ، تتأثر حركة المياه بتيارات المد والجزر ووجود الحدود الساحلية، وليس فقط من خلال تيارات المياه السطحية والمياه العميقة.

وكما هو الحال في الغلاف الجويّ، فإنه يمكن تقسيم المحيط إلى عدة طبقات رأسيّة هي: *النّطاق السّطحيّ*، *والنّطاق الانتقاليّ*، و *النّطاق العميق*. يلاحظ الغواصون وجود زيادة في ضغط الماء عند السباحة في الأعماق السفلى. وكلما ازداد عمق الهبوط زاد ضغط المياه. ويشير الضّغط ببساطة إلى وزن الماء فوقك، وهو الذي يدفعك إلى أسفل (الفصل 5). وثمة عامل آخر يتغير عند نزولك هو درجة الحرارة، حيث تكون المياه الأعمق أكثر برودة. بالإضافة إلى التغيّرات في الملوحة.. كما تختلف مياه البحر أيضًا في درجة الحرارة والضغط؛ لأنّ الماء البارد أكثر كثافة من الماء الدافئ، وذلك للأسباب نفسها التي للهواء. ويكون الهواء البارد أكثر كثافة من الهواء الدافئ؛ لأنّ المياه الباردة تهبط تحت مياه البحر الدافئة. كما تؤثر ملوحة المياه أيضًا في الكثافة؛ فكلما زادت الملوحة زادت الكثافة. وأفضل طريقة لتوضيح هذه الاختلافات عندما ننظر إلى البنية العمودية للمحيط (الشكل 33.24).

لمعلوماتك

■ هناك بعض الجدل حول تيارات الكثافة في أعماق المحيطات. قد لا تكون الطاقة الكامنة كافية في النظام لدفع مثل هذه التيارات. الخلط بفعل الرّياح والمدّ والجزر في أعماق المحيطات يسهم أيضًا في دفع التدفق العميق. وبعبارة أخرى، قد تكون التيارات البحرية كلّها في نهاية المطاف مدفوعة بالرّياح!

لمعلوماتك

■ أين تنشأ أملاح المحيطات؟ أحد المصادر هو التجوية الكيميائية من الصخور القارية. مع تجوية الصخور، تذوب عناصر مثل الصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم في الماء. يحمل الماء هذه المواد الكيميائية إلى المصبّ ثم إلى المحيط. وهناك مصدر آخر هو باطن الأرض. منذ أزمان سحيقة زوّدت الانفجارات البركانية مياه المحيط بكميات كبيرة من الكلور، وبخار الماء، والغازات الأخرى فأصبحت مالحة بسبب وجود كلوريد الصوديوم، أي ملح الطّعام .

■ **نقطة فحص**

هل تتوقع أن يكون ضغط 100 متر في عمق المياه المالحة هو نفسه كما في 100 متر في عمق مياه منخفضة الملوحة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

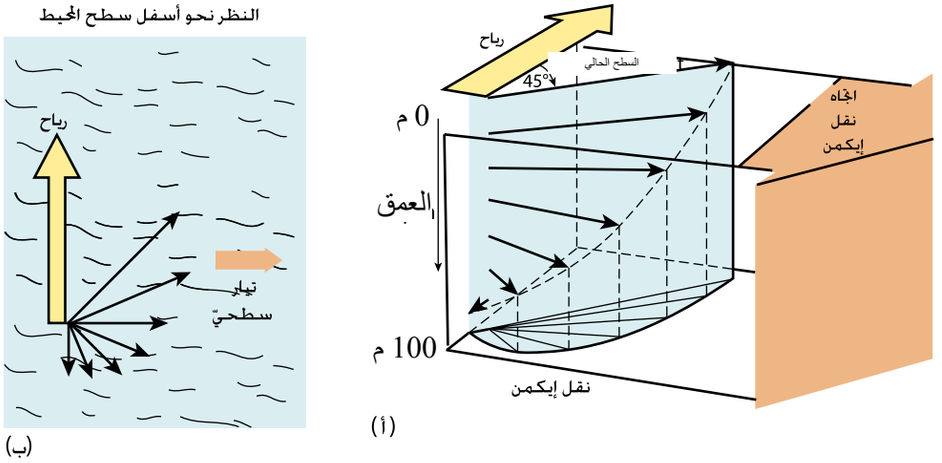
لا؛ لأنّ الملوحة العالية تعني ارتفاع الكثافة. وحجم مياه ذات كثافة عالية يزن أكثر من حجم مساو له من الماء الأقل كثافة. وبسبب أنّ الضّغط هو الوزن في وحدة المساحة، فإنّ الضغط على عمق 100 متر أكبر إذا كان الماء أكثر ملوحة.

التّيارات السّطحيّة

عندما تهب الرّياح عبر المحيط، تقوم قوى الاحتكاك بدفع المياه السّطحيّة للتّحرّك. فإذا كانت المسافات قصيرة فإنّ المياه السّطحيّة تتحرّك في اتجاه الرّياح نفسها. أمّا إذا كانت المسافات طويلة فإنّ عوامل أخرى تدخل في الحسبان.

من هذه العوامل قوة كوريوليس التي تسبب انحراف التيارات المائية السّطحيّة إلى اليمين (في نصف الكرة الشّماليّ) . حتى يتسنى لها التحرك في اتجاه مختلف من اتجاه الريح. إنّ هذه الظاهرة المعروفة باسم *نقل إيكمن* (الشكل 34.24) تؤدي بالتيارات السّطحيّة إلى انحراف يصل إلى 45 درجة عن اتجاه الرياح! ومن نتائج نقل إيكمن ما يُسمّى بدوامة إيكمن، وهي الظّاهرة التي تتسبب في الانحراف الناتج عن قوة كوريوليس، وزيادة مستمرة مع العمق، بحيث يصل الاتجاه الصافي لنقل المياه على عمق يزيد على 100 متر إلى 90 درجة من اتجاه الرياح (الشكل 34.24).

يوضح الشكل 35.24 أنماط الدوران الجوي العالمي بين 40 درجة شمالًا و 40 درجة جنوبًا.



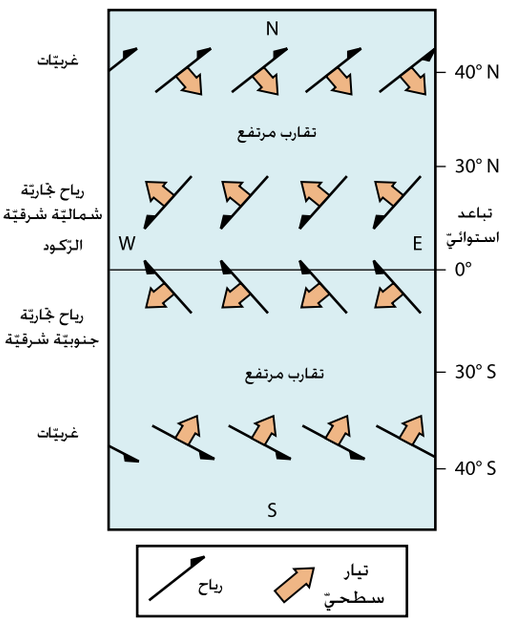
الشّكل 34.24
وجهتا نظر لنقل إيكمن: يبين الجزء (أ) انخفاض السرعة مع العمق، في حين يبين الجزء (ب) وجهة نظر عين الطيور في اتجاه سطح المياه ، والاتجاه العام للحركة النهائية للمياه. ومع عدم وجود قوة خارجية ، يتحرك الماء في اتجاه الريح نفسه. ولكن قوة كوريوليس تحرف المياه السّطحية 45 درجة إلى اليمين من اتجاه الريح (في نصف الكرة الشمالي). ومع ازدياد العمق ، يزداد الانحراف إلى اليمين، ولكن الماء يتحرك في سرعة أبطأ، مما يسبب أن تكون محصلة اتجاه نقل المياه بين 70 درجة و 90 درجة من اتجاه الرياح.

ومع التركيز في الوقت الراهن على نصف الكرة الأرضية الشمالي . لاحظ أنه في جنوب خط 30. تهب الرّياح التّجاريّة من الشّمال الغربيّ إلى الجنوب الشّرقيّ. في حين تهب الرّياح الغربية من الغرب إلى الشّرق إلى الشّمال من خط 30. وبسبب نقل إيكمن، فإنّ تيارات سطح المحيط جنوب خط 30 شمالًا تتدفق إلى الشّمال الغربيّ. وشمال خط 30 إلى الجنوب الشرقي (الشكل 35.24). وترى في الشّكل 35.24 أثر إيكمن في تدفق التيارات بعضها نحو بعض، أو تلاقيها في خط 30 شمالا. ويؤدي مثل هذا التقارب إلى رفع الماء (الشكل 36.24) أو تكوّمه في سطح المحيط مشكّلًا مرتفعات ومنخفضات. كما هو موجود على سطح الأرض. إلا أنّ تضاريس سطح المحيط أهدأ كثيرًا من تضاريس سطح الأرض.

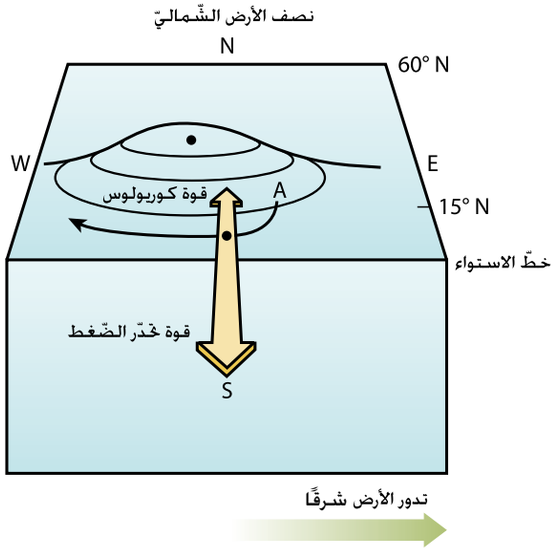
تمامًا كما على الأرض، تسعى المياه في هذه الأكوام إلى التدفّق "نحو الأسفل" بسبب تحدّر قوة تحدّر الضغط. ولكن مرة أخرى يأتي دور قوة كوريوليس التي تؤدّي إلى انحراف التدفق نحو اليمين (في نصف الكرة الشمالي). ومع الاتجاه إلى اليمين . تعمل قوة كوريوليس مرة أخرى على صرف المياه إلى أقصى اليمين نحو ذروة الكومة. لذلك، تعمل قوتان على المياه محاولة دفعها في اتجاهين متعاكسين. إنّ التّوازن بين قوة تحدّر الضّغط وقوة كوريوليس يؤدي إلى تدفق المياه حول وسط الكومة في نمط دوامة دائرية كبيرة تسمى **جَيَر** (*Gyre*) (37.24) .

لمعلوماتك

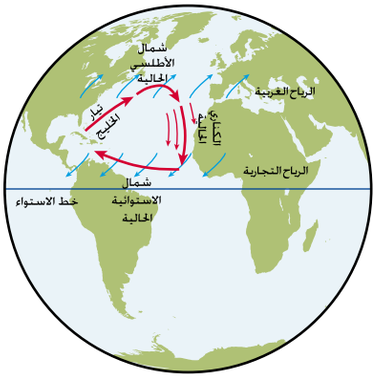
■ **لا تصدق قصص تأثر دوامات المياه في حوض الغسل الخاص بك بقوة كوريوليس. إنّ أيّ تأثير ناتج عن الاختلاف في سرعات من جزء واحد من الحوض مقارنة بالأجزاء الأخرى، تعدّ ضئيلة جدًّا، وتخفيها الحركات الحرارية في الماء.**



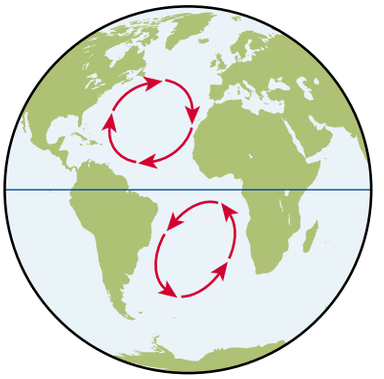
الشّكل 35.24
تيارات الكمان المدفوعة بواسطة الرياح السائدة تجعل اليتارات تتجمع حول خطوط العرض 30(رمز الدرجة) شمالًا و30(رمز الدرجة)جنوبًا. ويتسبب هذا التجمع في ارتفاع سطح الماء في هذه المنطقة (انظر الشكل 36.24)



الشّكل 36.24
المياه المتكومة في نصف الكرة الأرضية الشمالي بسبب نقل إيكمن. تتدفق المياه في البداية "نحو الأسفل" لكنها تهرب إلى اليمين ، كما هو موضح بواسطة الأسهم القادمة من نقطة أ. تتدفق الآن حول الكومة ، يتكون تدفق بسبب قوة الدوران وقوة كوريوليس، وتوازن قوة تحدر الضغط، وتوازن بعضها مع بعض.



الشّكل 37.24
تتألف الجَيَر في شمال المحيط الأطلسي من: تيار الخليج، وتيار شمال الأطلسي، وتيار الكناري ، وتيار شمال الاستواء.



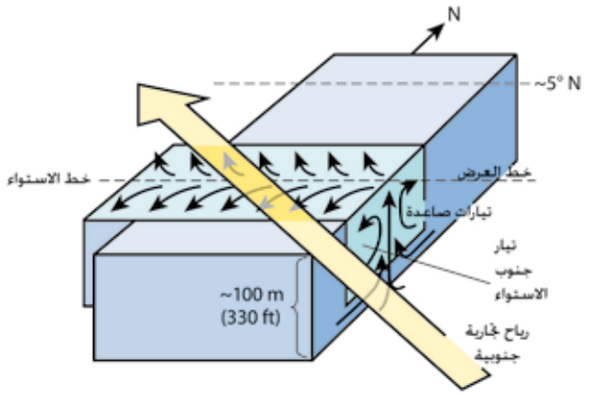
الشّكل 38.24
جَيَر مستقلة في شمال خط الاستواء وجنوبه. التدفق في نصف الكرة الشمالي في اتجاه عقارب الساعة، أما في نصف الكرة الجنوبي فهو عكس اتجاه عقارب الساعة.

تكون الحركة الدّائريّة في اتّجاه عقارب السّاعة في نصف الكرة الشّماليّ. وعكس اتّجاه عقارب السّاعة في نصف الكرة الجنوبيّ. وعندما تصبح قوة حَدّر الضّغط وقوة كوريوليس في التّوازن مثاليّة. فإنّ هذا التّدفق يسمّى تدفّقًا متعلّقًا *بقوة الدوران*؛ يستمر تدفق المياه حول الكومة بدلًا من أسفلها. وتهيمن الدّوامات على التّدفق العام للتيارات السّطحيّة في كلّ حوض من أحواض المحيطات. وكما يوضح الشكل 38.24. فإنّ الدّوامات لا تعبر خطّ الاستواء. وهناك دوامات منفصلة شمال خط الاستواء وجنوبه في كلّ حوض من أحواض المحيطات.

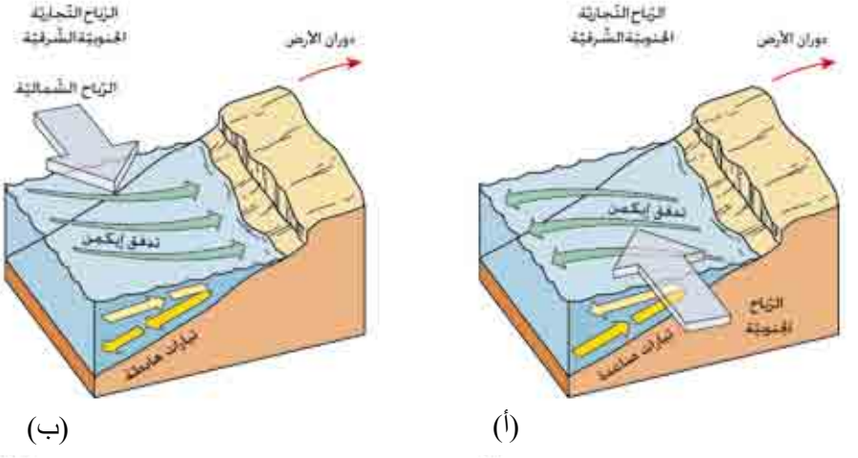
يتسبّب التّدفّق المتقارب المكون للدّوامات عند 30 درجة شمالًا و 30 درجة جنوبًا. في تكوين تيارات *هابطة* تدفع بعض المياه السّطحيّة إلى أسفل. ويحدث أثر عكسيّ عند خطّ الاستواء. حيث تعبر الرّياح التّجاريّة الجنوبيّة الشّرقيّة قليلًا خطّ العرض 0^{o}. وهنا يسبب نقل إيكمن تباعد المياه عند خط الاستواء مسبّبًا تيارات *صاعدة* إلى السّطح من المياه العميقة. شديدة البرودة. والغنية بالمغذّيات (الشكل 39.24). إنّ مثل هذه المناطق من التّيارات الصّاعدة مليئة بالحياة. يسبب نقل إيكمن تيارات صاعدة وأخرى هابطة على طول السواحل اعتمادًا على الاتجاه الذي تهب فيه الرّياح السائدة. ومن هذه المناطق سواحل بيرو. وكاليفورنيا (الشّكل 40.24).

ومن النتائج المهمة لهذه الدوامات الكبيرة. نقل الحرارة من المناطق الاستوائية إلى مناطق خطوط العرض العليا. في شمال المحيط الأطلسي على سبيل المثال. تتدفق المياه الدافئة الاستوائية غربا وحول خليج المكسيك. ثم شمالًا على طول السّاحل الشّرقيّ للولايات المتحدة. ويسمى تيار المياه الدافئة هذا *تيار الخليج*. ومع تدفق تيار الخليج شمالًا على طول ساحل أمريكا الشّماليّة. فإنّ التّدفق في هذه الدوامات الكبيرة يدفع التيارات الحارة شرقًا نحو أوربا (الشكل 41.24). تنقل المياه الحارة الحرارة إلى الهواء المتحرك غربًا. مما يؤثر في طقس أوربا ومناخها. لذا تستفيد بريطانيا العظمى والنرويج من هذه الحرارة؛ لأنّ الأراضي في خطوط العرض الشمالية هذه قد تكون باردة ما لم تتقدم الحرارة شمالًا من المناطق الاستوائية وخليج المكسيك. وعندما تواجه التيارات الحارة أوربا تتحول في اتّجاه الجنوب نحو خط الاستواء. حيث لا تزال تتدفق في دوامات شمال الأطلسي. وفي نهاية المطاف. يتحرك هذا الماء غربًا نحو خليج المكسيك. ليصبح مرة أخرى جزءًا من تيّار الخليج.

إنّ كلّ حوض من أحواض المحيطات له تدفّق سطحيّ مشابه؛ وهو نمط تدفق تيار دافئ على جَيَر وعلى الحدود الغربية. نظير تيار الخليج الدافئ في المحيط الهادئ هو التيار الدافئ المتدفق شمالًا المعروف باسم *كوروشيو*. ويتشابه الأمر في نصف الكرة الجنوبي. إلا أنّ الدوران يكون عكس اتّجاه عقارب السّاعة (ما عدا التيار القطبي للقارة المتجمدة الجنوبية). وتحدث التّيارات الدّافئة على الحدود الغربيّة في كلّ أحواض المحيطات الثلاثة في نصف الكرة الجنوبي.



الشّكل 39.24
يسبب نقل إيكمن تباعدًا في المياه السّطحية عند خط الاستواء، والذي يسبب دفع مياه القاع الباردة الغنية بالعناصر المغذية إلى السّطح، مما يسمح بازدهار الحياة هناك. تهبّ الرياح التجارية الجنوبية الشرقية من نصف الكرة الجنوبي، وفي الواقع تعبر خطّ الاستواء قليلًا. وإلى الجنوب من خطّ الاستواء، يؤدي نقل إيكمن إلى توجيه المياه السطحية لكي تنحرف إلى اليسار أو الجنوب الغربي. أما في شمال خط الاستواء، فإنّ نقل إيكمن يؤدي إلى انحراف المياه السطحية إلى اليمين، أو الشمال الغربي. تتباعد المياه السّطحية، مما يسبب تكوّن التّيارات الصّاعدة.



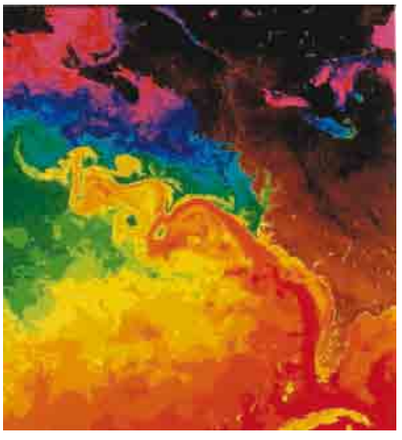
الشّكل 40.24
يتسبب نقل إيكمن في حدوث تيارات (أ) صاعدة في المناطق الساحلية. أو (ب) هابطة اعتمادا على اتجاه الرياح السائدة.

تيّارات المياه العميقة

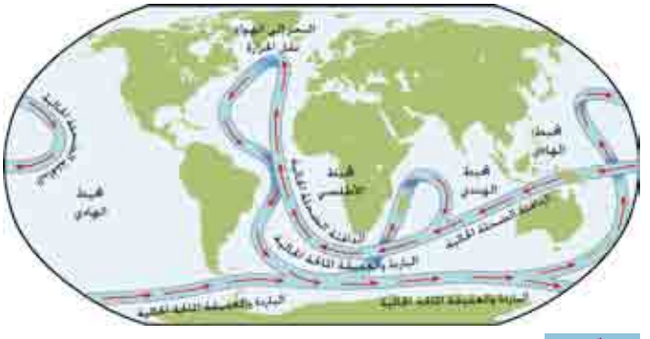
تتحرّك المياه السّطحيّة بفعل الرّياح. أمّا المياه العميقة فتتحرك بواسطة الجاذبية؛ تحدث تدفقات المياه العميقة بسبب غوص المياه ذات الكثافة العالية. وتنساب المياه العميقة ببطء أكثر من المياه السّطحيّة. ولكن يتم نقل كميات من المياه العميقة بالتيارات أكثر كثيرًا من تيارات المياه السّطحيّة. يشبه تدفّق المياه العميقة حزامًا ناقلًا عالميًا ضخمًا. وينقل المياه والحرارة في أنحاء الكرة الأرضية جميعها (الشكل 42.24).

إنّ أكثر أشكال المياه العميقة كثافة هي الموجودة في بحار ويديل وروس المتاخمة لمنطقة القطب الجنوبي. ولفهم كيفية تشكّل هذه المياه؛ نحتاج إلى نظرة إلى ما يحدث عندما تبدأ مياه البحر في التجمد. لا تتجمد مياه البحر بسهولة. وعندما يحدث ذلك يتجمد الماء فقط. ويترك الملح وراءه. وهكذا فإنّ مياه البحر التي لا تتجمد تزيد ملوحتها. مما يسبب زيادة كثافتها.

تتشكّل المياه العميقة ذات الكثافة العالية أيضًا في المحيط المتجمد الشّماليّ. ولكن تضاريس قعر البحر تمنع معظمها من الذهاب جنوبًا. إلا أنّ بعض المياه العميقة تستطيع المغادرة الى شمال الأطلسي. وهكذا يتمّ تشكيل المياه عالية الكثافة عميقة في خطوط العرض المرتفعة. وتهبط إلى قعر المحيط؛ لأن الماء ذا الكثافة المرتفعة يستمر في التشكّل على السّطح. في حين تهبط المياه الباردة والمالحة إلى قعر المحيط. تدفع المياه الهابطة مياهًا أعمق إلى الخروج من الطريق. وهذا يؤدي إلى تدفق مياه القعر إلى الخارج على طول قعر المحيط؛ وهذه هي بداية الحزام الناقل الكبير.

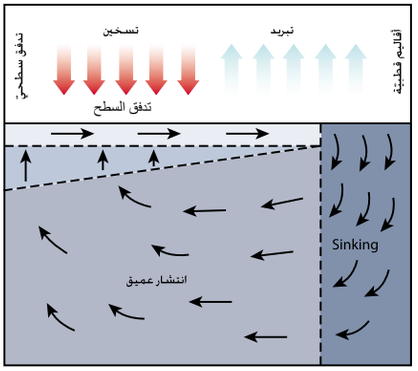


الشّكل 41.24
تشير المنطقة الضاربة إلى الحمرة في صورة الأقمار الصناعية هذه الزائفة الألوان إلى المياه الدافئة. ينقل تيار الخليج كميات كبيرة من الحرارة شمالًا ثم شرقًا نحو أوربا.



الشّكل 42.24

تسلك التيارات في أعماق المحيطات سلوك حزام ناقل، تنقل الماء البارد من شمال المحيط الأطلسي مرورًا بخط الاستواء إلى القطب الجنوبي، ومن ثَمَّ تتدفق المياه شرقًا، ثم شمالًا في المحيطين الهادئ والهندي.



الشّكل 43.24

تهبط المياه الباردة ذات الكثافة العالية في المناطق القطبية، ومن ثَمَّ تتدفق نحو خط الاستواء. وفي نهاية المطاف، يتم دفعها إلى الأعلى، حيث تسخن، وتصبح جزءًا من تدفق السطح، وتعود إلى المناطق القطبية. الألوان الأغمق تشير إلى المياه الأبرد.

اربط مع الطّقس

ظروف النينو

عندما يتم قياس الطّقس على مرّ الزمن، يمكن ملاحظة متوسط نمط الطقس. *المناخ* هو سلوك الطقس المتسق على مرّ الزمن. وخلال بعض الفترات ، من المتوقع أن يتغير متوسط نمط الطقس عن النمط الطبيعي. وهذه التغيرات تم توقعها وتعرفها على المدى القصير في الطقس. والمثال الرئيس لهذا التغير هو ظروف النينو.

في الظروف العادية، تتحكم النظم الحارة العالية الضغط الموجودة في نصفي الكرة بالقرب من خط الاستواء في أنماط الطّقس في منطقة المحيط الهادئ. وتسبب هذه الأنظمة ذات الضغط العالي هبوب الرياح التجارية غربًا على طول خطّ الاستواء، وسحب المياه السطحية الدافئة الاستوائية معها. ومع حركة المياه السطحية الدافئة غربًا ترتفع المياه العميقة الباردة في الشرق نحو الأعلى لتحتل المساحة الشاغرة من المياه السطحية الدافئة. إنّ المياه الباردة الصاعدة غنية بالمغذيات. لذا، فإنها تجذب مجموعة متنوعة من الحياة البحرية. إنّ صعود المياه الباردة مهم لصيد الأسماك على طول ساحل أمريكا الجنوبية، حيث كان الناس يكسبون عيشهم من صيد الأنشوجة التي تأتي للتغذي في المياه الغنية بالمغذيات.

صيد الأسماك ليس دائمًا جيدًا، ولكن كل سنة في أكتوبر تتراخى الرياح التجارية ، وتعكس اتجاه التدفق الطبيعي الغربي من المياه السّطحية الدافئة الاستوائية. وبما أنّ المياه السطحية الدافئة تنجرف شرقًا، فإنّ التيارات الصاعدة تقل، وكذلك الحال بالنسبة إلى الصيد. يشير الناس على طول ساحل أمريكا الجنوبية إلى حدوث هذا بالنينو؛ لأنها تبدأ كلّ عام في الأنحاء جميعها في ديسمبر عند الاحتفال التقليدي بميلاد المسيح (المسيح هو النينو، "الطفل" بالإسبانية). وفي ظل الظروف العادية، فإنّ الرياح التجارية تعود مرة أخرى في أوائل الربيع، والمياه السطحية تهب مرة أخرى في اتجاه الغرب عبر المحيط، ثمّ يعود كل شيء إلى وضعه الطبيعي.

في بعض السنوات، تفشل الرياح التجارية في أن تتقوى، والمياه السطحية الدافئة لا تزال قبالة سواحل أمريكا الجنوبية لمدة سنة أو أكثر. وخلال هذه الظروف غير العادية، فإنّ صعود المياه الباردة إلى السطح يتوقف، والصيد في أمريكا الجنوبية يفشل. وعلى الرّغم من حدوث نينو صغير كلّ عام فإنّ امتداده يسمى ظروف النينو.

تؤثر ظروف النينو في المناخ على جانبي المحيط الهادئ الاستوائية في ظل ظروف طبيعية، والمياه الباردة الصاعدة على الجانب الشرقي من المحيط الهادئ؛ حيث تتزامنان مع الهواء البارد الجاف، والضغوط العالية والسماء الصافية. على الجانب الغربي من المحيط الهادئ، نجد أنّ المياه السطحية الساخنة والمندفعة خلال رحلتها الطويلة عبر المحيط تسخّن الهواء من حولها. ومع ارتفاع الهواء الرطب الحار، تتولّدُ ضغوط منخفضة وعواصف في الجانب الغربي الدافي في المحيط الهادئ. وخلال استمرار ظروف النينو، يتم عكس هذا النمط. تم العثور على المياه الدافئة ، وارتفاع الهواء الرطب الساخن ، والضغوط المنخفضة ، والعواصف على الجانب الشرقي من المحيط الهادئ بدلًا من الجانب الغربي. يسمى هذا التبادل لأنظمة الضغط وأنماط الطقس بين الشرق والغرب خلال ظروف النينو *التذبذب الجنوبيّ*.

يستمر الحزام الناقل في حركته، كما هو مبين في الشّكل 42.24. ولكن لاحظ أيضًا أنّ بعض المياه العميقة تصعد إلى سطح المحيط. إنّ المزيج من خليط المياه العميقة عن طريق المدّ والجزر، والتيارات الصاعدة بسبب الرياح المواتية يجلب المياه العميقة ببطء مرة أخرى إلى السطح. ويبين الشّكل 43.24 دورة من المياه الهابطة الباردة إلى المياه السطحية الأكثر دفئًا. وفي نهاية المطاف، فإنّ المياه العميقة كلّها تتدفق إلى سطح المحيط، وبالعكس، على الرغم من أنّ العملية قد تستغرق مئات أو آلاف السنين.

ملخّص المصطلحات

الحافة القارية Continental margin: الحدود بين القارات والمحيطات ، وتتكون من *الرصيف القاري* ، *والمنحدر القاري* ، *والمرتفع القاري*.

الملوحة Salinity: كتلة الأملاح الذائبة في 1000 جرام من مياه البحر.

مدّ وجزر الربيع Spring tide: مدّ أو جزر مرتفعان أو منخفضان. ويحدث عندما تكون الشمس والأرض والقمر على خط واحد؛ بحيث يتزامن المد والجزر بسبب الشمس والقمر معًا ، مما يجعل المد والجزر أعلى من المتوسط أو أدنى منه. ويحدث في أثناء البدر أو القمر الجديد.

المد والجزر المحاقي Neap tide: يحدث عندما يكون القمر في منتصف الطريق بين القمر الجديد والبدر في كلا الاتجاهين. يكون جذب القمر والشمس متعامدين، لذلك لا يتداخل المد والجزر الشمسي والقمري. وهذا لا يجعل المد مرتفعًا ولا الجزر منخفضًا.

التروبوسفير Troposphere: طبقة الغلاف الجوي الأقرب إلى سطح الأرض ، ترتفع 16 كم فوق خط الاستواء ، و8 كم فوق القطبين. تحتوي على 90% من كتلة الغلاف الجوي ، وكلّ من بخار الماء والسحب.

الستراتوسفير Stratosphere: الطبقة الثانية في الغلاف الجوي فوق الأرض التي تمتد من قمة التربوسفير إلى 50 كيلومترًا. وفيها يتشكل الأوزون.

الميزوسفير Mesosphere: الطبقة الثالثة في الغلاف الجوي للأرض فوق السطح، وهي فوق قمة الستراتوسفير حتى ارتفاع 80 كم.

الطبقة الحرارية Thermosphere: الطبقة الرابعة في الغلاف الجوي فوق سطح الأرض، وتمتد من قمة الميزوسفير إلى 500 كم.

الأيونوسفير Ionosphere: منطقة مكهربة داخل الطبقة الحرارية والجزء العلوي من الميزوسفير حيث تتركز كميات كبيرة من الأيونات والإلكترونات الحرة.

الإكسوسفير Exosphere: طبقة الغلاف الجوي الخامسة فوق سطح الأرض، وتمتد من الطبقة الحرارية إلى أعلى نحو الفضاء بين الكواكب.

ظاهرة الدّفيئة Greenhouse effect: تنشأ ظاهرة الاحتباس الحراري عن طريق الطاقة المشعة ذات الطول الموجي القصير من الشمس التي تدخل الغلاف الجوي بسهولة وتمتص من قبل الأرض. ثم تشع هذه الطاقة ثانية على شكل موجات طويلة لا يمكن أن تهرب بسهولة من الغلاف الجوي للأرض.

قوة تحدر الضغط Pressure-gradient force: القوة التي تنقل الهواء من منطقة ذات ضغط مرتفع إلى منطقة متاخمة ذات ضغط منخفض.

قوة كوريولوس Coriolis force: انحراف ظاهري عن مسار خط مستقيم لوحظ في أيّ جسم يتحرك بالقرب من سطح الأرض ، بسبب دوران الأرض.

جَيَر Gyre: نمط من الدوامة لها شكل دائريّ أو حلزونيّ يصير عادة إلى أنظمة التيارات الكبيرة جدًّا في المحيطات المفتوحة.

أسئلة مراجعة

1.24 الغلاف الجوي للأرض والمحيطات

1. لماذا تكون درجات الحرارة معتدلة في الأراضي المتاخمة للمحيطات؟
2. ما المكونات الرئيسة للغلاف الجوي الأولي للأرض؟ ماذا حدث لهذا الغلاف الجوي؟
3. تطور الغلاف الجوي للأرض على الأرجح عن الغازات التي انبعثت من باطنها خلال الانفجارات البركانية. ما غازات الغلاف الجوي الثلاثة الرئيسة الناتجة عن هذه الانفجارات؟
4. اشرح أهمية التمثيل الضوئي في تطور الغلاف الجوي.

2.24 مكونات محيطات الأرض

5. اذكر أربع مظاهر قد تجدها بين حافتين قاريتين (قعر المحيط)؟
6. تختلف ملوحة المحيط من مكان إلى آخر. ما العاملان اللذان يؤديان إلى زيادة نسبة الملوحة؟ ما العاملان اللذان يؤديان إلى نقص نسبة الملوحة؟

3.24 أمواج المحيط ، وخطوط الشواطئ، والمد والجزر

7. لماذا تصبح الموجات أعلى عند دخولها المياه الضحلة؟
8. ما انكسار الموجة؟ ولماذا يحدث في أمواج المحيط؟
9. لماذا تكون بحيرة الجزيرة الحاجزة عادة بيئة هادئة؟
10. لماذا يكون المد والجزر أكبر في وقت البدر أو القمر الجديد؟

11. متى يحدث أعلى مد: خلال مدّ الربيع أم خلال المدّ المحاقي؟

4.24 مكونات الغلاف الجوي للأرض

12. ما العناصر التي تشكل الغلاف الجوي الحالي؟
13. لماذا لا تقوم الجاذبية على تسطيح الغلاف الجوي على سطح الأرض؟
14. في أي طبقات الغلاف الجوي تحدث الأحوال الجوية جميعها ؟
15. هل تزيد درجة الحرارة عند تحركنا صعودًا في كلّ من التروبوسفير و الستراتوسفير، أم تنقص؟

5.24 الطاقة الشّمسية

16. ما علاقة زاوية سقوط الشّمس بالمناطق المعتدلة والقطبية؟
17. ما علاقة إمالة (ميل محور الأرض) الأرض مع تغير الفصول؟
18. لماذا تتساوى ساعات النهار في أنحاء العالم كلّه في الاعتداليين؟
19. كيف تختلف الإشعاعات المنبعثة من الأرض عن تلك المنبعثة من الشّمس؟
20. كيف يتم تسخين الجو بالقرب من سطح الأرض من أسفل؟

6.24 القوى الدافعة للحركة الجوية

21. ما سبب حركة الهواء؟
22. ما أسباب اختلاف الضغط، ومن ثم هبوب الرياح؟
23. في أيّ اتجاه تدور الأرض: من الغرب إلى الشرق أم من الشرق إلى الغرب؟
24. ما الذي تفعله قوة كوريولوس في الرياح، وفي تيارات المحيطات؟
25. كيف يمكن لقوة كوريولوس تحديد المسار العام لتدوير الهواء؟

7.24 أنماط التداول العالمي

26. لماذا توجد معظم صحارى العالم في المنطقة التي تعرف باسم خطوط عرض الخيول؟
27. ما الرياح التجارية؟
28. لماذا تكون رحلات الطائرات شرقًا عادة أسرع من تلك التي صوب الغرب؟
29. ما العوامل المحددة لحركة التيارات البحرية السطحية؟
30. اشرح نمط الدوران لتيار الخليج.

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

تنويه: عدد التمارين كثير، ولكن معلمك سيعين لك عددًا قليلًا من التمارين و/أو المسائل

1. ■ إذا كان الغاز يملأ الفراغ المتاح له كله، فلم لا ينطلق الغلاف الجوي إلى الفضاء؟
2. ■ إذا لم يكن هناك ماء على سطح الأرض، هل سيحدث الطقس؟ دافع عن إجابتك.
3. ■ فيم تختلف الموجات من الطاقة الإشعاعية باختلاف درجة حرارة المصدر؟ كيف يؤثر هذا في الأشعة الشمسية والأرضية؟
4. ● كيف يتأثر الاحترار العالمي بالشفافية النسبية للغلاف الجوي للإشعاع الكهرومغناطيسي ذي الموجة الطويلة والقصيرة؟
5. ■ اشرح لماذا تفتح أذنيك عند الصعود إلى ارتفاعات عالية.
6. ♦ كيف تختلف كثافة الهواء في منجم عميق مقارنة بكثافة الهواء عند مستوى سطح البحر؟ دافع عن إجابتك.
7. ● على الرغم من أنّ الأرض أقرب إلى الشمس في يناير إلا أنّه بارد في نصف الكرة الشمالي. لماذا؟
8. ■ فيم يختلف إجمالي عدد الساعات لضوء الشمس في السنة في المناطق الاستوائية مقارنة بالمناطق القطبية؟ ما سبب أن المناطق القطبية أشد برودة كثيرًا؟
9. ● إذا تغير تكوين الغلاف الجوي العلوي؛ بحيث يسمح لأكبر قدر من الإشعاع الأرضي بالانبعاث، ما تأثير ذلك في متوسط درجة حرارة الأرض؟ ماذا لو خفض الجو كمية الإشعاع الأرضية التي تتمكن من الانبعاث؟
10. ■ مع استهلاك البشر للمزيد من الطاقة ، يرتفع متوسط درجة حرارة سطح الأرض. ومع ذلك وبغض النظر عن مقدار استهلاك الطاقة، لا ترتفع درجة الحرارة بلا حدود. ما العملية التي تمنع الارتفاع اللانهائي؟ اشرح.
11. ● مع تزايد عدد سكان العالم فإنّ كمية انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون من احتراق الوقود الأحفوري تزيد أيضًا. ومع ذلك ، فإنّ كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعث أكبر من الكمية الموجودة في الغلاف الجوي. أين هو المستودع المحتمل لزيادة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؟
12. ■ لماذا يستعمل متسلقو الجبال النظارات الشمسية واستخدام واقي الشمس حتى عندما تكون درجة الحرارة دون الصفر؟
13. ■ إذا كانت الأرض لا تدور، ففي أيّ اتجاه سوف تهب الرياح السطحية في المنطقة التي تعيش فيها؟ في أي اتجاه تهب على الأرض عند خط عرض 15 درجة جنوبًا؟ ولماذا؟
14. ♦ ما العلاقة بين دوران الغلاف الجوي العالمي والتيارات البحرية؟ اربط الدوامات الكبيرة (الجَيَر) في المحيطات مع أنماط الضغط العالي تحت المداري.
15. ● اربط التيار النفاث مع الدوران في الهواء العلوي. كيف يرتبط هذا النمط من الدوران مع جداول شركات الطيران من نيويورك إلى سان فرانسيسكو، ورحلة العودة إلى نيويورك؟
16. ■ ما التيارات النفاثة؟ وكيف تتشكل؟
17. ■ لماذا تكون التقلبات في درجات الحرارة على اليابسة أكبر من الماء؟ اشرح.
18. ♦ لأنّ مياه البحر لا تتجمد بسهولة، فإنّ الجليد البحري لا يصبح سميكًا جدًّا. إذن من أين تأتي الجبال الجليدية الكبيرة؟
19. ● مياه البحر الأبيض المتوسط مالحة جدًّا. ما الذي يمكن أن تقوله عن المعدلات النسبية للتبخر وهطل الأمطار فوق البحر الأبيض المتوسط؟
20. ● ما الدور الذي تلعبه الشمس في دورة تيارات المحيط؟
21. ● كيف يمكن أن يؤثر المحيط في الطقس على اليابسة؟
22. ■ ما الذي سيحدث لملوحة مياه المحيطات إذا زادت سرعة التبخر عن سطح مياه المحيطات عن سرعة هطول الأمطار؟ أو عندما تزيد سرعة الهطول عن سرعة التبخر؟ عرف إجابت.
23. ♦ لماذا هنالك اهتمامًا وقلقًا حول ذوبان الثلج القطبي أكثر منه حول ذوبان الجليديات - الجبال الثلجية-؟
24. ■ عادة تغطس المياه الأكثر كثافة إلى الأسفل. بالنظر لكثافة مياه الأعماق، إلى أي مدى سيستمر غطس المياه الكثيفة إلى أسفل؟
25. ■ عندما تتجمد كمية من مياه البحار، تزداد ملوحة المياه المحيطة بها أو المجاورة بها؟ علل ذلك.

26. ● لماذا تعدّ مناطقُ القمم المناطقَ الرئيسةَ للتعرية؟
27. ♦ لنفترض أنه تم تكون أمواج متكسرة بشكل عمودي على الشاطئ. كيف تؤثر هذه البنية في التيارات الموازية للشاطئ ونقلها للرمل؟ دافع عن إجابتك.
28. ● تتشكل صخور الكربونات في البيئات البحرية. لماذا نجد رواسب كربونات وفيرة على اليابسة؟
29. ● لماذا يكون رمل بعض الشواطئ مكوّنا من قطع صغيرة من الصّدف؟
30. ♦ تتكون المحيطات من المياه المالحة. وبعد التبخر من سطح المحيط. تنتج الغيوم التي تسقط منها المياه العذبة. لِمَ لا تكون المياه مالحة؟
31. ■ مع اقتراب الأمواج من المياه الضحلة .نلاحظ أنّ الأمواج الأطول تبطئ بعكس الأمواج الأقصر. لماذا؟
32. ■ ما تأثير تشكيل الجليد في المناطق القطبية في كثافة مياه البحر؟ اشرح.
33. ● ما المناطق التي تتلقى المزيد من الطاقة الشمسية على مدار العام: الاستوائية أم المعتدلة؟ كيف يؤثر هذا في درجة ملوحة مياه المحيطات؟
34. ● في المناطق المدارية. تكون الطاقة الشمسية أعلى من إشعاع الأرض. ما تأثير ذلك في ملوحة المحيطات في تلك المناطق ؟
35. ♦ لماذا لا يمكن التنبؤ بالطقس في المناطق المعتدلة؟
36. ♦ ماذا يحدث لمستوى الماء في كوب من الماء عندما يذوب مكعب الجليد العائم فيه؟ وبالمثل. ماذا يحدث لمستوى المياه في منطقة البحيرات الكبرى عند ذوبان قطع الجليد العائمة؟
37. ♦ يعرف معظم الناس اليوم بأنّ سبب المد والجزر في المحيطات ناتج عن تأثير جاذبية القمر. كما أنّ معظمهم يعتقد أنّ جاذبية القمر على الأرض أكبر من جذب الشمس للأرض. ما رأيك؟
38. ● هل يوجد مدّ في المحيطات إذا كانت جاذبية القمر (والشمس) هي نفسها في أنحاء العالم كله؟ اشرح.
39. ■ لماذا لا يتشكّل المدّ في المحيطات كلّ 12 ساعة تمامًا؟
40. ● فيما يتعلق بمدّ الربيع والمدّ المحاقي. متى يحدث أدنى جزر؟ أي. ما الوقت الأفضل للبحث عن المحار؟
41. ♦ عندما يكون المدّ في المحيطات مرتفعًا بشكل غير عادي. فهل سيكون الجزر التالي منخفضًا بشكل غير عادي؟ دافع عن الإجابة من حيث "الحفاظ على المياه". (إذا سكبت ماء في حوض عميق في نهاية واحدة. فهل يكون الطرف الآخر ضحلًا؟)
42. ♦ كيف يمكن لقوة كوريولوس التأثير في حركة المياه السطحية؟
43. ■ ما المناخ المميز لمناطق الركود؟ ولماذا يحدث ذلك؟
44. ● لأنّ الغلاف الجوي تطور نتيجة لثوران البراكين . لماذا لا توجد آثار لارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون (واحد من الغازات البركانية الرئيسة) في الغلاف الجوي ؟
45. ● لماذا تكون الطبقة الحرارية أكثر سخونة من الغلاف الأوسط؟
46. ● ما مصدر الأيونات التي تعطي الأيونوسفير اسمه؟
47. ● إذا كان الفصل شتاء والشهر يناير في شيكاجو. فما الفصل والشهر المقابلان في سيدني بأستراليا؟
48. ● ما أسباب العرض الناري للضوء المسمى الشفق القطبي؟
49. ♦ اشرح السبب في أنّ معظم مياه قيعان المحيطات تتشكل في شمال المحيط الأطلسي وبالقرب من القارة القطبية الجنوبية.
50. ● كيف تختلف كثافة مياه البحر مع التغيرات في درجات الحرارة؟ كيف تتغير الكثافة مع الملوحة؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

ارجع إلى مربع تصور العلوم الفيزيائية في الصفحة 643 للإجابة عن كل من المسائل التالية:

1. ● ما الكتلة بالكيلوجرام من الهواء في غواصة سكوبا "فارغة" غير مضغوطة تحت الماء ذات حجم داخلي 0.0100م^3؟
2. ● ما الكتلة بالكيلوجرام من الهواء في غواصة سكوبا "فارغة" تحت الماء ذات حجم داخلي 0.0100م^3 وتحت الضغط بحيث إن كثافة الهواء في الخزان 240 كيلو جرام / م^3؟

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدًا. فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 على الأقل. وإن لم تستطع. فعليك المزيد من الدراسة.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤالٍ مما يلي:

1. يبقى الغلاف الجوي السفلي للأرض دافئًا بسبب:
(أ) الإشعاع الشمسي.
(ب) الإشعاع الأرضي.
(ج) الإشعاع قصير الموجة.
(د) طبقة الأوزون.
2. عند مقارنة الأراضي البعيدة عن المحيطات بالأراضي المجاورة لها. تميل الأراضي المجاورة لأن يكون بها:
(أ) تغيرات فصلية شديدة جدًّا (قصوى).
(ب) تغيرات فصلية صغيرة.
(ج) شتاء بارد ومماطر.
(د) صيف حار وجاف.
3. الذي يمارس أكبر سحب على محيطات الكرة الأرضية هو:
(أ) الشمس.
(ب) القمر.
(ج) كلّ من الشمس والقمر. وبقوة متساوية.
(د) لا توجد قوة.

4. عند الانتقال من اليابسة إلى حوض المحيط العميق، فإنّ الحافة القارية تتألف من:
(أ) المنحدر، والرصيف، والمرتفع.
(ب) المرتفع، والمنحدر، والرصيف.
(ج) الرصيف، والمنحدر، والمرتفع.
(د) الرصيف، والسهول السحيقة، وظهور وسط المحيط.
5. تنكسر أمواج المحيط بسبب:
(أ) تداخل الموجة.
(ب) انتفاخ المحيط.
(ج) المياه الضحلة.
(د) التيار الموازي للشاطئ.
6. العامل الذي يزيد ملوحة المحيطات هو:
(أ) الجريان السطحي من الجداول والأنهار.
(ب) تشكل الجليد البحري.
(ج) هطل الأمطار.
(د) ذوبان الجليد.
7. تهب الرياح استجابة لـ:
(أ) احتكاك السحب.
(ب) دوران الأرض حول محورها.
(ج) الاختلافات في الضغط.
(د) الاختلافات في الرطوبة.
8. تشهد الأرض تغيرات فصلية بسبب:
(أ) الاشعاع الشمسي الوارد إليها.
(ب) دوران الأرض حول الشمس.
(ج) قوة كوريولوس.
(د) ميل محور الأرض.
9. النتيجة الأكثر أهمية لقوة كوريولوس هي:
(أ) انحراف الهواء والتيارات المائية.
(ب) تشكل نقل إيكمن.
(ج) انعكاس تيارات الهواء ودوران الهواء عالميًّا.
(د) تشكل التيارات النفاثة.
10. السبب النهائي لتيارات سطح المحيطات هو:
(أ) التباعد في المناطق الاستوائية.
(ب) التدرج بين الركود وخطوط عرض الخيول.
(ج) اختلافات الكثافة.
(د) احتكاك السحب بواسطة الرياح السائدة.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

١٠أ، ٩أ، ٨ب، ٧ج، ٦د، ٥ج، ٤أ، ٣ج، ٢ب، ١ب

اكتشف المزيد

http://www.noaa.gov
تعتبر الصفحة الرئيسية لإدارة المحيطات والغلاف الجوي الوطنية المكان المناسب للعثور على احدث المعلومات حتى اللحظة حول المناخ والطقس .

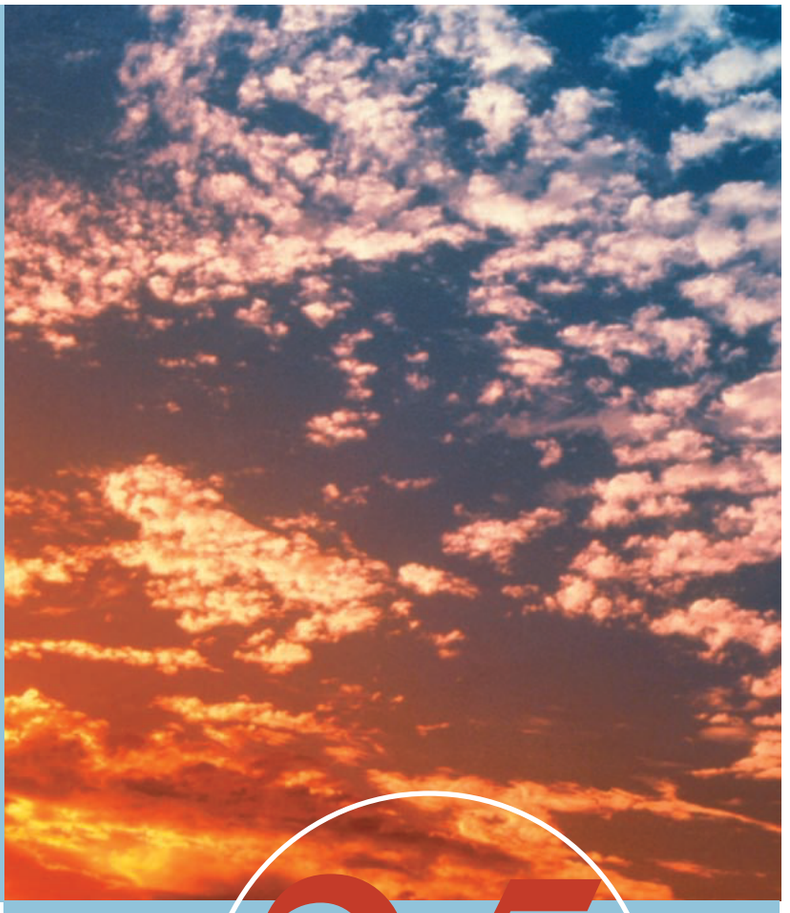
http://www.ncar.edu/ncar
هذا الموقع هو الصفحة الرئيسة للمركز الوطني لابحاث الغلاف الجوي، ويعتبر مصدر ممتاز للحصول على معلومات تفصيلية حول المناخ والطقس. بما في ذلك نمذجة المناخ والتنبؤ بالطقس.

الفصل 24 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية
- 24.8, 24.9

دروس تعليمية
- الهيكلة الرأسية للغلاف الجوي
- تأثير كوريليوس

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط



القوى المحرّكة للطّقس

25

1.25 رطوبة الغلاف الجوّيّ

2.25 متغيّرات الطّقس

3.25 تطوّر الغيوم

4.25 الكتل الهوائيّة والجبهات والعواصف

5.25 الطّقس العنيف

6.25 العنوان الرّئيس للنقاش

■ يحيط بأرضنا غلاف واهب للحياة من الهواء هو الغلاف الجوّيّ. وهو خليط من الغازات التي توفر لنا الهواء الذي نتنفسه، ويحمينا من الأشعّة فوق البنفسجية الضارة. في الفصل 24 ، تعلمنا بنية الغلاف الجوّيّ الرّأسيّ، وكيف أنّ معظم كتلة الغلاف الجوّيّ موجودة في الغلاف المُناخيّ (التروبوسفير)، وهي أدنى طبقات الغلاف الجوّيّ. هذا هو المكان الذي يحدث فيه طقس الأرض؛ محور موضوعنا. إنّ العوامل التي تؤثّر في الطّقس هي الرّطوبة في الغلاف الجوّيّ، ودرجة الحرارة، والضّغط الجوّيّ ، والترتيب الجغرافي للأراضي والمياه. نبدأ مناقشتنا للطّقس من خلال النظر أولًا في رطوبة الغلاف الجوّيّ، وكيف أنّ كمية الرّطوبة في الهواء تؤثّر في استقرار الغلاف الجوّيّ. ثم نناقش تطوير الكتل الهوائيّة المختلفة، وبعض أنماط الطّقس الناتجة. لنلقي بعد كلّ ذلك نظرة على القوى الجوّيّة العنيفة التي تؤثّر بشكل كبير في سطح كوكبنا.

1.25 رطوبة الغلاف الجوّيّ

من المؤكد أنّ المياه ضرورية للحياة على الأرض. ولكن فكر للحظة واحدة في دور الماء الهائل في العمليات الفيزيائية على الأرض: تشكّل المياه سطح الأرض، وتتحكم في الطّقس. وبغض النظر عن كيفية الإحساس بالهواء" الجافّ" الذي قد نشعر به في بعض الأحيان، إلّا أنّه ليس جافًّا كليًّا؛ حيث يوجد بعض تركيز لبخار الماء دائمًا.

ولكن بدلا من القول" تركيز بخار الماء"، نستخدم مصطلحًا أقصر كثيرًا هو **الرّطوبة *(Humidity)***. على وجه التحديد الرّطوبة هي كتلة بخار الماء في وحدة الحجم من الهواء . تمامًا كما أنّ التركيز عبارة عن كتلة المذاب في وحدة الحجم من المحلول. ومن المهم ملاحظة أنه عندما تسمع خبير الأرصاد الجوّيّة يصف الرّطوبة في التلفزيون، فإنه يتحدث بالفعل عن **الرّطوبة النّسبيّة *(Relative humidity)***. تعتمد الرّطوبة النّسبيّة على درجة الحرارة؛ فهي تصف كمية بخار الماء في الهواء في الوقت الراهن مقارنة مع أكبر قدر ممكن من بخار الماء التي يمكن أن تكون في الهواء في درجة الحرارة نفسها. إنّ الحدّ الأقصى للبخار يختلف تبعًا لدرجة الحرارة.

$$\text{الرّطوبة النّسبيّة} = \frac{\text{كمية بخار الماء}}{\text{سعة بخار الماء}} \times 100\%$$

وعلى سبيل المثال ، فإنّ رطوبة نسبية تساوي 50% تعني أنّ محتوى بخار الماء في الهواء هو نصف قدرة الهواء الاستيعابية عند تلك الحرارة (أي نصف سعته).

فكر في قدرة استيعاب (سعة) بخار الماء بالطريقة نفسها التي تفكر بها في ذائبية المعادن- كذوبانية الملح في الماء. إنّ تركيز الأملاح الذائبة في الماء له حدّ أعلى – ذائبية الملح (الفصلان 16 و 20) عند درجة حرارة معينة. ولا يمكن تخطّي تركيز الذوبانية. وإنْ أضفت المزيد من الملح فلن يذوب.

وينطبق الشيء نفسه على تركيز بخار الماء في الهواء. عند درجة حرارة معينة، للرطوبة حدّ أعلى لا يمكن تجاوزه ، كما أنّ لكل المعادن حدًّا لذوبانها. يسمّى حد الرّطوبة **ضغط بخار التّشبّع *(saturation vapor pressure)***.* عندما يصل الهواء إلى ضغط بخار التّشبّع هذا، لا يمكن للرطوبة (أو ضغط البخار) الزيادة، وتكون الرّطوبة النّسبيّة 100%. ويقال عندها إنّ الهواء *مشبع*.

إنّ للهواء الساخن ضغط بخار تشبع أعلى من الهواء البارد (الجدول 25-1). وهكذا عندما يكون الهواء مشبعًا عند درجة حرارة 10 درجات سيليزية، ثم تغيرت الحرارة إلى 20 درجة سيليزية ، ولم تتم إضافة أي بخار ماء الى الهواء، فلن يكون مشبعًا، وستنقص رطوبته النّسبيّة من 100% إلى نحو 52% في هذه الحالة. وعلى الرّغم من أنّ الرّطوبة النّسبيّة انخفضت، فإن الرّطوبة الفعلية -تركيز بخار الماء في الهواء- تظلّ كما هي، وسيظلّ للهواء الدافئ ضغط بخار تشبع أعلى، ويمكنه حمل بخار ماء أكثر.

يختلف ضغط بخار التّشبّع مع درجة الحرارة بسبب وجود عمليتين متنافستين: معدّل التّبخّر ومعدّل التكثيف (الفصل 7). يعتمد معدّل التّبخّر على درجة الحرارة ، ولكن معدّل التكثيف لا يعتمد عليها، بل يعتمد على الرّطوبة فقط (الشّكل 1.25). وعندما يساوي معدّل التّبخّر معدّل التكثف- في أيّ درجة حرارة- يكون الهواء مشبعًا، والرّطوبة النّسبيّة 100%.

لمعلوماتك

■ معظم قطرات المطر كرات مكتملة، وليست كشكل دمعة العين التي يصورها الفنانون. يدعى جذب الجزيئات في السّائل التّوتّر السّطحيّ، وهو يعمل على سحب القطرات إلى الشّكل الأصغر مساحة، وهو سطح الكرة. تستثنى من ذلك قطرات المطر الكبيرة جدًّا (وقطرها أكثر من 1 ملم) ، التي تسطّحها مقاومة الهواء لإنتاج شكل قرص أسفله منبسط ومنحنٍ قليلًا من الأعلى.

لمعلوماتك

■ الرّطوبة النّسبيّة مؤشر جيد على الراحة. فبالنسبة لمعظم الناس، تكون الظروف مثالية عندما تكون درجة الحرارة نحو 20 درجة سيليزية والرّطوبة النّسبيّة بين 50% و 60%. عندما تكون الرّطوبة النّسبيّة مرتفعة للغاية ، نشعر بالهواء" رطبًا وحارًّا". لأنّ التكثف يمنع تبخر العرق. إنّ الهواء البارد الذي يحتوي على رطوبة عالية نسبيًّا أبرد من الهواء الجاف في درجة الحرارة نفسها بسبب زيادة التوصيل للحرارة من الجسم. عندما تكون الرّطوبة النّسبيّة عالية، يكون الطّقس الحار أكثر سخونة، والطّقس أبرد.

*ضغط البخار يقيس الشيء نفسه مثل الرّطوبة؛ أي كمية بخار الماء في الهواء. إنّ الرّطوبة وضغط البخار يصفان الشيء نفسه، ولكن لديهما وحدات مختلفة؛ فوحدة الرطوبة هي الجرام لكلّ متر مكعب. أمّا ضغط البخار فوحدته المليبار (أو ملليمتر من الزئبق).

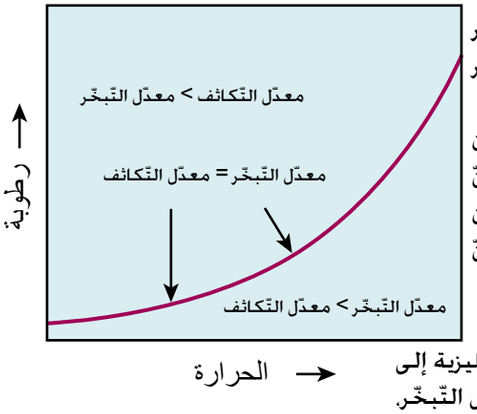
الجدول 1.25 ضغط بخار الإشباع والحرارة

درجة الحرارة	درجة الحرارة (فهرنهايت)	ضغط بخار
0	32	6.1
5	41	8.7
10	50	12.3
15	59	17.0
20	68	23.4
25	77	31.7
30	86	42.5
35	95	56.3

ومن المثير للاهتمام أنّ التّبخّر والتّكاثف يحدثان دائمًا دون توقف. وعندما يكون معدّل التّبخّر أكبر من معدّل التّكاثف، تكون الرّطوبة النّسبيّة أقل من 100%. وكلما زاد الفرق بين معدّلي التّبخّر والتّكاثف، انخفضت الرّطوبة النّسبيّة، وأصبح الهوء جافًّا.

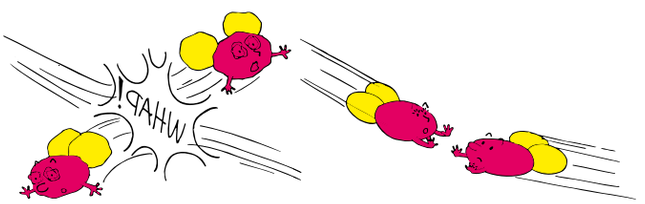
ومن ناحية أخرى، إذا كان معدّل التّكاثف أكبر من معدّل التّبخّر، فإنّ الهواء يصبح مشبعًا، وسيكون هناك فائض من بخار الماء. في مثل هذه الحالة، يتكاثف بخار الماء الزائد لتكوين الماء السائل؛ لأنّ معدّل التّبخّر ليس سريعًا بما يكفي لتحويل المياه السائلة التي أدخلت حديثًا إلى بخار قبل أن يتكاثف المزيد من المياه. ولأنّ الجزيئات التي تتحرك ببطء تميز درجات الحرارة الجوّيّة المنخفضة، فإنّ التشبع والتّكاثف، على الأرجح، يحدثان في الهواء البارد وليس الهواء الحار. الشّكل (2.25).

في المثال الوارد في الصفحة 664 عند درجة حرارة 10 سيليزية، كان معدّل التّبخّر يساوي معدّل التّكاثف، ولذلك كانت الرّطوبة النّسبيّة 100% وعندما ارتفعت درجة الحرارة من 10 درجات سيليزية إلى 20 درجة سيليزية، لم يتغير معدّل التكاثف، ولكن زاد معدّل التّبخّر. وعند زيادة درجة الحرارة، ومعدّل التّبخّر، وضغط بخار الإشباع، أمكن للهواء أن يستوعب المزيد من بخار الماء.



الشّكل 1.25

يمثل المنحنى في هذا الشّكل ضغط بخار التّشبّع مع درجة الحرارة والرّطوبة (ليست الرّطوبة النّسبيّة). على المنحنى ،الرّطوبة النّسبيّة 100% ومعدّل التّبخّر يساوي معدّل التّكاثف. أمّا تحت المنحنى، فالرّطوبة النّسبيّة أقلّ من 100% ومعدّل التّبخّر أكبر من معدّل التّكاثف. في حين يكون معدّل التّكاثف أكبر من معدّل التّبخّر فوق المنحنى ويحدث الهطل. يساعد هذا المنحنى على تفسير سبب شعورنا بأنّ أيام الصّيف الحارة رطبة وحارة جدًّا. لا يمكن لجلدك أن يبخّر المياه بسهولة. من المنحنى، هل يمكن رؤية أنّ الجو الحار له ضغط بخار تشبع أعلى من البارد؟



جزيئات H_2O سريعة الحركة ترتد عند التصادم

جزيئات H_2O بطيئة الحركة تتكاثف عند التصادم

الشّكل 2.25

تكاثف جزيئات الماء

لمعلوماتك

■ في طقس مطر، عندما يتكون الضباب على زجاج سيارتك، تأكد من أنّ أجهزة تكييف الهواء تعمل على تبخيره، حتى عندما يهب الهواء السّاخن. إنّ الذي يسبب الضباب على النافذة هو الرّطوبة في السيارة بسبب المطر، والملابس، ونَفَس الرّكاب. ولأنّ الهواء الخارج من المكيّف جاف للغاية، فإنه يمسح الزجاج الأماميّ بشكل تامّ في وقت قصير جدًّا.

كما انخفضت الرّطوبة النّسبيّة أيضًا، بسبب عدم إضافة أي بخار ماء؛ أي لم يعد الهواء مشبعًا عند درجة الحرارة الأعلى.

ماذا يحدث لو بدأنا بهواء درجة حرارته 20 سيليزية والرّطوبة النّسبيّة 60% ، ثم خفضنا درجة الحرارة إلى 10 درجات سيليزية؟ كلما انخفضت درجة الحرارة، قلّ معدّل التّبخّر، ولكنّ بخار الماء سيواصل التّكاثف بالمعدّل نفسه كما كان عندما كان الهواء عند 20°س. وسينخفض ضغط بخار التّشبّع ومعدّل التّبخّر. ولذلك، فإنّ الرّطوبة النّسبيّة سترتفع. في واقع الأمر، عندما تصل درجة حرارة الهواء إلى 12°س، فإنّ معدّلي التّبخّر والتّكاثف سيكونان على قدم المساواة، وستكون الرّطوبة النّسبيّة 100% ؛ أي أنّ الهواء يكون مشبعًا. ولكن عندما تنخفض درجة الحرارة دون 12°س، يحدث التّكاثف، وتتكون قطرات الماء السائل؛ المطر.

إنّ عمليتي التّبخّر والتّكاثف متعاكستان. إنّهما عمليتان لتغيير الماء بين الحالة السائلة والغازية. وكما نعلم، يتحوّل الماء السّائل إلى صلب- يتجمد- عند درجة 0°س. ويمكن أيضًا تغيير الماء من الحالة الصلبة إلى الغازية وبالعكس دون مروره بالحالة السّائلة. عندما يتغير الجليد مباشرة إلى بخار ماء، تسمّى العملية عندئذٍ *التسامي* (الفصل 7). أمّا *التّرسيب* فهي العملية المعاكسة؛ أي تغيّر بخار الماء مباشرة الى الجليد* .

تغيّرات درجات الحرارة والتّكاثف

عندما ترتفع كتلة هواء تتمدد. يحدث التّمدد لأنّ الهواء يتحرك نحو منطقة ذات ضغط منخفض. وكما تعلمنا في الفصل 7، فإنّ الهواء يبرد عندما يتمدد. وقد يبدو هذا متناقضًا؛ لأنّ الهواء السّاخن يرتفع. ولكن الهواء المرتفع يجب أن يقوم بعمل على البيئة المحيطة من أجل التمدد. وفعل هذا العمل يستخدم طاقة، وهي التي تفقد على شكل حرارة. عندما يبرد الهواء، تتحرك جزيئات الماء ببطء، كما أنّ التّكاثف يفوق التّبخّر. يتشكّل الماء السّائل على جزيئات مجهرية من الغبار، والدخان ، والملح- *سحابة نوى التّكاثف*- لتكوين سحابة. ومع نمو قطرات السّحابة، فإنها تهبط على الأرض ويتكون المطر. ويعدّ المطر أحد أشكال الهطُل، إضافة إلى الأشكال الأخرى المألوفة كالضباب، والبرد، والثّلج، والمطر المتجمد.

لا يحتاج بخار الماء إلى أن يكون عاليًا في سحابة ليشكّل الهطُل- يمكن أن يحدث التّكاثف في الهواء قريبًا من الأرض. عندما يحدث التّكاثف في/أو بالقرب من سطح الأرض، نسميه *الندى* أو *الضباب* أو *الصّقيع*. ففي الليالي الصافية ، تبرد الأجسام القريبة من الأرض بسرعة أكبر من الهواء المحيط. كما يبرد الهواء. ومع انخفاض حرارة الهواء ينخفض ضغط بخار التّشبّع، ولا يمكن للهواء أن يستوعب بخار الماء، كما لو كان أكثر حرارة. وعندما تنخفض درجة الحرارة إلى ما دون عتبة معينة تسمّى *درجة حرارة نقطة الندى*، يصبح الهواء مشبعًا؛ أي أنّ الرّطوبة النّسبيّة 100%، ويحدث التّكاثف. في هذه الحالة ، ليست هناك حاجة إلى نوى التّكاثف. يتكاثف الماء من الهواء المشبع على أيّ سطح؛ غصن، أو ورقة عشب، أو زجاج أمامي لسيارة ، وهلمّ جرّا. ونحن ندعو هذا النوع من التّكاثف في كثير من الأحيان *ندى الصباح الباكر*؛ لأنه يحدث عندما تكون درجات الحرارة اليومية أبرد ما يمكن ، وذلك قبيل شروق الشمس. عندما تكون نقطة الندى عند/ أو أقلّ من درجة تجمد الماء، يحدث الصقيع ** . وعندما تبرد كتلة كبيرة من الهواء، وتصل إلى نقطة الندى، نحصل على سحابة قرب سطح الأرض تدعى الضّباب.

الشّكل 3.25
تعرف مدينة سان فرانسيسكو بالضباب الصّيفي

■ **اختبر معلوماتك**

ما الفرق الرّئيس بين الضّباب والسّحابة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

الارتفاع.

* يشير مصطلح *التّرسيب* في مجال الأرصاد الجوّيّة إلى تحويل بخار الماء إلى مادة صلبة. وهو يختلف عن الطريقة التي تستخدم هذا المصطلح في الفصلين 20 و 23 ، حيث يشير التّرسيب فيهما إلى توضّع الرّواسب.

** من المثير للاهتمام أنّ الصقيع ليس الندى المتجمد. بل إنّ الصقيع تشكّل مباشرة من بخار الماء نتيجة للترسيب.

حساب العلوم الطبيعية

الرّطوبة

تعرف الرّطوبة بأنّها كتلة بخار الماء في وحدة الحجم من الهواء. والرّطوبة النّسبيّة هي نسبة بخار الماء في الهواء مقارنة بسعته من بخار الماء على درجة حرارة معينة.

افترض كتلة هواء مخبرية صغيرة عند درجة 30 مئوية ووزن 90 نيوتن (N) في المسائل الثلاث الآتية:

المسألة 1

إذا كانت كثافة m الهواء 1.25كج/م^3، فما حجم كتلة الهواء؟

الحل:

يخبرنا قانون نيوتن الثاني بأنّ

$$a = \frac{F}{m}$$

أعد ترتيب المعادلة

$$\text{الكتلة} = \frac{\text{القوة}}{\text{التسارع الجاذبي}} = \frac{90\ \text{N}}{10\,\text{m/s}^2} = 9\ kg$$

يمكن إيجاد حجم 9 كجم بالطريقة التالية

9كجم × 1م^3/1.25كجم= 7.2م^3

المسألة 2

إذا وجد 0.13 كجم من بخار الماء في كتلة الهواء، فما رطوبة الكتلة الهوائيّة؟

الحل

الرّطوبة = كتلة الماء/حجم الهواء = 0.13/7.2 = 0.018 كجم/م^3

المسألة 3

على درجة حرارة 30° س، أقصى كمية بخار في الهواء 30 جم/م^3. ما الرّطوبة النّسبيّة لكتلة الهواء؟

الحل

أولا، نحول الوحدات

30جم/م^3×1كجم/1000جم= 0.03 كجم/م^3

الرّطوبة النّسبيّة = كمية بخار الماء/الحد الأقصى عند 30°س

0.018 كجم/م^3 / 0.03 كجم/م^3 × 100%=

60%

2.25 متغيّرات الطّقس

إنّ الضّغط الجوّيّ، ودرجة الحرارة، والكثافة، هي المتغيّرات الرئيسة الثلاثة التي تتحكم في كيفية سلوك الهواء. ولهذا، فإنها تتحكّم في الطّقس. ولفهم الطّقس والتنبؤ به، يجب علينا أن نفهم هذه المتغيّرات الثلاثة: أولاها الضّغط الجوّيّ: الهواء مزيج من الجزيئات التي تتحرك بشكل عشوائي ويتصادم بعضها مع بعض مثل كرات البلياردو على الطاولة. عندما يصطدم جزيء مع شيء ما، فإنه يمارس دفعة صغيرة على ما يضرب. هذا الدفع من قبل عدد لا يحصى من الجزيئات ينتج *الضّغط الجوّيّ*.

وكلما زادت سرعة تحرك جزيئات الهواء، زادت الطاقة الحركية لها. وكلما زادت الطاقة الحركية، زاد تأثير اصطدام الجزيئات، وزاد ضغط الهواء أيضا. وإذا تساوت العوامل الأخرى، فإنّ الهواء الذي يتكوّن من جزيئات سريعة الحركة -الهواء الدافئ، يمارس المزيد من الضّغط الجوّيّ على المناطق المحيطة بها مقارنة بالهواء الأبرد.

وهناك متغير ثان آخر يؤثر في ضغط الهواء هو الكثافة. كلما زادت كثافة الهواء، زاد عدد الجزيئات، وبالتالي زيادة عدد التصادمات الجزيئية. ويعني المزيد من الاصطدامات ضغطا أعلى للهواء. ويصبح الهواء أكثر كثافة عندما يكون مضغوطا، وأقلّ كثافة عندما يتوسع. وتحدث التغيرات في الكثافة لأنّ حجم كتلة معينة من الهواء يصغر بالانضغاط ويكبر بالتوسع.

العمليات الأديباتية في الهواء

يبيّن لنا مفهوم *التبادل الحراري* ترابطَ الضّغط الجوّيّ ودرجة الحرارة والكثافة. وعند إضافة الحرارة إلى كتلة الهواء، تزداد درجة حرارة الهواء أو الضّغط أو كلاهما.

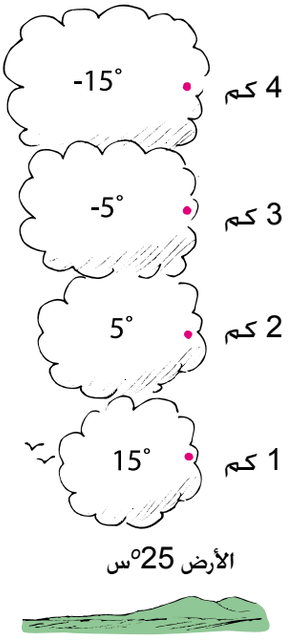
يمكن أن تضاف حرارة إلى الهواء من الأشعّة الشمسية، أو تكثيف الرّطوبة، أو الاتصال مع الأرض الدافئة. وعندما يتم طرح الحرارة من كتلة الهواء، تقلّ درجة حرارته أو ضغطه. ويمكن فقدان الحرارة من الهواء عن طريق الإشعاع إلى الفضاء، أو تبخر المطر الساقط من خلال الهواء الجاف، أو عن طريق الاتصال * مع السّطوح الباردة. ولكن يمكن تغيير درجة حرارة الهواء من دون خسارة أو كسب للحرارة. وعندما يكون انتقال الحرارة مساويا الصفر أو يكاد، تكون لدينا عملية **أديباتية*(Adiabatic process)*** (ثابتة الحرارة). تحدث العمليات الأديباتية عندما يتم توسيع الهواء أو انضغاطه. ولحدوث تغيرات أديباتية في درجات الحرارة، يجب أن يحدث توسيع أو انضغاط سريعان بما يكفي لعدم حدوث تبادل حراري في الوقت الذي يتغير فيه الحجم. ولمعرفة كيف تتصرف كتل الهواء؛ تصوّر جسما من الهواء محاطا بطبقة بلاستيكية رقيقة جدا، كحقيبة مثلا. ومثل بالون حرّ، يمكن أن تتوسّع الحقيبة أو تنكمش بحرية دون نقل الحرارة إلى الهواء الخارجي.

تذكر من الفصل 24 أنّ الضّغط الجوّيّ يتناقص مع الارتفاع. على سبيل المثال، مع تدفق الهواء على جانب أحد الجبال، تتناقص الضغوط التي تمارس عليه، سامحة لحقيبة الهواء بالتوسيع والتبرد دون أيّ تبادل حرارة. هذه التغيرات في درجات الحرارة ، الناجمة عن التغيرات في الضّغط تسمّى *قانون الغاز المثالي***

الضغط ~ الكثافة × الحرارة

على افتراض وجود تغييرات طفيفة نسبيا في كثافة الهواء، والتي تحدث عموما في الغلاف الجوّيّ السفلي، ينصّ قانون الغاز المثالي على أنّ درجة الحرارة تنخفض عندما ينخفض الضّغط. ونحن نعرف أنّ ضغط الهواء ينخفض عندما يتمدد الهواء. وفي المقابل ، ترتفع درجة الحرارة عندما يرتفع الضّغط - يرتفع ضغط الهواء عندما ينضغط الهواء. هل يمكنك الآن أن ترى بوضوح أكبر أنّ كتلة من الهواء تقل درجة حرارتها عندما ترتفع، وأنّ درجة حرارة الهواء تزداد عندما يهبط. وفقا لقانون الغاز المثالي، لا تتطلب تغيرات درجة الحرارة هذه خسارة أو كسبا في الحرارة- فهي أديباتية.

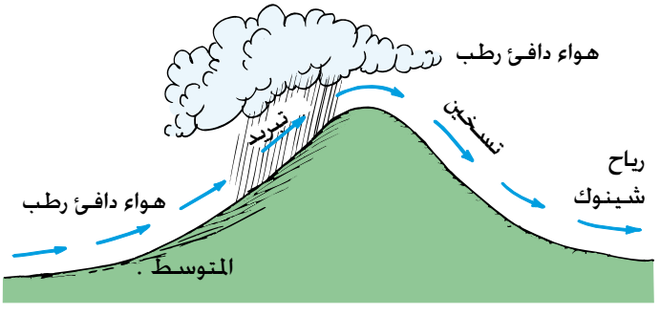
تقلّ درجة حرارة الهواء الجاف‡ 10 درجة مئوية لكلّ كيلومتر ارتفاع (الشّكل 4.25) مع التمدد الأديباتي. يدعى هذا المعدّل لتبريد الهواء الجاف **معدّل التّبريد الذّاتيّ للهواء الجاف *(dry adiabatic lapse rate)***. إنّ تدفّق الهواء فوق الجبال أو ارتفاعه في العواصف الرّعديّة، قد يغيرا لارتفاع عدة كيلومترات. وهكذا، فعندما ترتفع كتلة هواء جاف درجة حرارتها 25 درجة مئوية عند مستوى سطح الأرض 6 كيلومترات، تنخفض درجة حرارتها إلى التجمد 35- درجة مئوية! ومن ناحية أخرى، إذا كان الهواء على الارتفاع 6 كم، عند درجة حرارة غطية مقدارها 20- درجة مئوية، ونزل إلى سطح الأرض ، ترتفع درجة حرارته إلى 40°!



الشّكل 4.25

حرارة عينة هواء جاف متمددة مع ثبات الحرارة 10°س لكلّ كيلومتر ارتفاع

إنّ العمليات الأديباتية لا تقتصر على الهواء الجاف. فعندما يبرد الهواء مع الارتفاع، تقلّ قدرته على استيعاب بخار الماء، وتزيد الرّطوبة النّسبيّة. وإذا برد الهواء إلى نقطة الندى، فسترتفع الرّطوبة النّسبيّة إلى 100% ، ويتكاثف بخار الماء، وتتشكل الغيوم؛ ولأن التكثف ينتج حرارة (الفصل 7) ، فإنّ الكتلة الهوائيّة تسخن. إنّ الحرارة تتعارض إلى حد ما مع التّبريد نظرا للتمدد. وهذا يجعل تبريد الهواء في معدّل أقل - *معدّل التّبريد الذّاتيّ للهواء الرطب*. وعلى الرغم من أن معدّل التّبريد للهواء الرطب يختلف وفقا لدرجة الحرارة ومحتوى الرّطوبة في الهواء ، فإن الهواء المشبع يبرد نحو 6 درجات مئوية لكل كيلومتر ارتفاع تقريبا في المتوسط .



الشّكل 5.25

شينوك- رياح جافة دافئة- تحدث عندما يهبط هواء مرتفع ويسخن أديباتيا.

ومن الأمثلة المثيرة للتسخين الأديباتي رياح *شينوك*، وهي رياح جافة تهب باستمرار من جبال روكي عبر السهول الكبرى . (الشكل 5.25).

---

*كما تعلمنا في الفصل 7، يزيل التّبخّرُ الحرارةَ من البيئة المحيطة.

** يرتبط قانون الغاز المثالي بقانون بويل الذي نوقش في الفصل 5.

‡ طرد الهواء الجاف هو طرد للهواء غير المشبع . الرّطوبة النّسبيّة أقل من 100%.

ينضغط الهواء البارد المتحرك نحو أسفل المنحدر في أثناء تحركه إلى الارتفاعات الدنيا (حيث ضغط الهواء أكبر مما كان عليه في المرتفعات) .ويصبح أكثر حرارة. يبدو تأثير تمدد أو انضغاط الغازات مثيرا للغاية* .

استقرار الغلاف الجوّيّ

لنفرض عينة من الهواء المتحدر من مرتفع. إن الضّغط الجوّيّ في الارتفاعات المنخفضة أكبر من ضغط الهواء عاليًا. لذا، يتم انضغاط الهواء عندما ينزل مسببا ارتفاع حرارته. إذا ارتفعت درجة حرارة الهواء النازل ليصبح أكثر حرارة، وبالتالي أقلّ كثافة من الهواء على ارتفاع منخفض، فإنه سيرتفع مرة أخرى إلى الارتفاع الذي جاء منه. وبالقياس ، فكر في ما يحدث عندما تحاول إغراق أداة عائمة، أقلّ كثافة من الماء، في بركة سباحة. تكون الأداة العائمة والهواء النازل في هذا المثال على حدّ سواء، مستقرة بالنسبة لبيئاتها. إنها "تسخنُ" لتعود إلى مواقعها الأصلية.

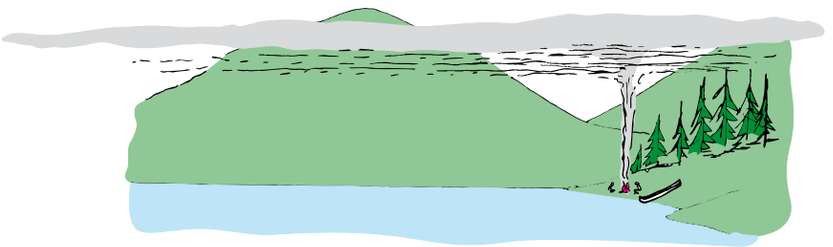
افرض أنّ كتلة الهواء اضطرت إلى الارتفاع. مثل هذا الهواء يتمدد كلما ارتفع ويصبح أكثر برودة. إذا كانت درجة حرارة الهواء المرتفع أكثر برودة من الهواء المحيط، فإنه يصبح أكثر كثافة، ويعود إلى الهبوط نحو المكان الذي جاء منه. هذا أيضا هواء مستقر.

ومن ناحية أخرى، إذا كان الهواء المرتفع أكثر حرارة من الهواء المحيط ، فإنه يستمر في الارتفاع بدلا من العودة إلى نقطة الانطلاق. هذا *الهواء غير مستقر*. في نهاية المطاف ، يتمدد الهواء ويبرد بما فيه الكفاية لمطابقة الهواء المحيط. عندما تتساوى درجات الحرارة، لا يرتفع الهواء أبعد من ذلك، ولا ينزل مرة أخرى إلى نقطة الانطلاق. ومن ثم، يرتفع الهواء غير المستقر، ولكن الهواء المستقر يتوقف. تستخدم بالونات الهواء الساخن هذه الاستراتيجية في الصعود أو النزول إلى المستوى المطلوب. تضاف حرارة إلى الهواء في البالون لجعله يرتفع، ويُسمح للهواء داخل البالون بأن يبرد كي ينزل.

إنّ الهواء المحيط ذو دور مهم في تحديد ما إذا كان الهواء مستقرا أو غير مستقر. في ظل الظروف العادية، تتناقص درجة حرارة الهواء مع الارتفاع. ويصف معدّل التّبريد الذّاتيّ البيئيّ الطريقة التي تحدث فيها التغييرات مع الارتفاع. يشير *معدّل التّبريد الذّاتيّ البيئيّ المنخفض* إلى أنّ درجات الحرارة تنخفض لكلّ متر من الارتفاع بمقدار أقل مما لو كان المعدّل مرتفعا. يختلف معدّل التّبريد الذّاتيّ من مكان إلى آخر ومن يوم إلى يوم ، حتى أنه قد يختلف في مدى اليوم الواحد! متوسط معدّل التّبريد الذّاتيّ هو انخفاض قدره 6.5 درجة مئوية لكل كيلومتر في الارتفاع.

يستمر الهواء المرتفع في الارتفاع طالما أنه أكثر حرارة وأقلّ كثافة من الهواء المحيط. ولكن الهواء الأبرد والأكثر كثافة من المناطق المحيطة يفعل العكس: إنّه ينزل. بوجود بعض الشروط ، كتل هواء بارد كبيرة تبقى على ارتفاعات منخفضة. وهذا ناجم عن أنّ الهواء فوقه أكثر حرارة. وعندما تكون المناطق العليا من الغلاف الجوّيّ أكثر حرارة من المناطق السفلى، وهو عكس ما يحدث عادة ، يحدث **انعكاس درجة الحرارة *(temperature inversion)***. في مثل هذه الحالات، لا يمرّ الهواء المرتفع إلى الأعلى من خلال الطبقة العليا من الجو الأكثر حرارة؛ لأنّ الهواء المرتفع أبرد وأكثر كثافة.

وعلى نطاق ضيّق، يمكن رؤية دليل وجود انعكاس لدرجة الحرارة بسهولة فوق بحيرة باردة عندما تنتشر الغازات المرئية والجسيمات الصغيرة كالدخان في طبقة مسطحة فوق البحيرة بدلا من الارتفاع والتشتت أعلى في الغلاف الجوّيّ (الشّكل 6.25).



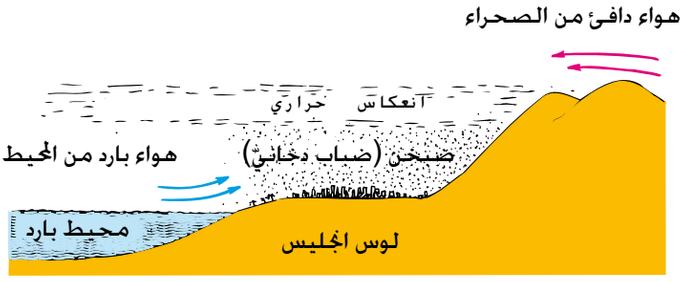
الشّكل 6.25

طبقة دخان مخيم فوق البحيرة يدل على انعكاس حراري. الهواء الأعلى من الدخان أكثر حرارة من الدخان أمّا الهواء الأسفل منه فأبرد.

لمعلوماتك

■ حتى ترى أن تمدد الهواء يبرده، انفخ على يدك مع فتح فمك. لاحظ دفء الهواء. كرر هذا، ولكن مع ضمّ شفتيك بحيث تصبح فتحة فمك صغيرة جدّا. في هذه المرة ، يتمدد النفس عندما يترك فمك؛ إنّها باردة!

* عندما كنت تطير على ارتفاعات عالية حيث درجة حرارة الهواء الخارجي عادة 35- درجة مئوية، كنت تشعر بالراحة كثيرا في المقصورة الدافئة؛ ولكن ليس بسبب التدفئة. عملية ضغط الهواء الخارجي للحفاظ على الضّغط في قمرة القيادة الى ما يقرب من الضّغط الجوّيّ عند مستوى سطح البحر يسخن الهواء الى 55 درجة مئوية (131 درجة فهرنهايت). لذا، يجب أن تستخدم مكيفات الهواء لاستخلاص الحرارة من الهواء المضغوط.



الشّكل 7.25
ضباب دخاني (ضبخن) في لوس أنجلوس محاصر بالجبال. وانعكاس الحرارة الناجم عن الهواء الدافئ من صحراء موجافي يعلو الهواء البارد من المحيط الهادئ.

لمعلوماتك

■ الهواء المستقر الذي أجبر على الارتفاع ينتشر أفقيّا. عندما تتكون الغيوم في هواء مستقر، فإنها تنتشر على شكل طبقات رقيقة أفقية ذات قمم وقيعان مسطحة. يفضل الهواء غير المستقر الحركة التصاعدية. عندما يصبح الهواء غير المستقر رطبا، تتكون سحب متموجة وشاهقة.

ضبخن (ضباب دخاني) لوس انجليس محاصر بمثل هذا الانعكاس الناجم عن هواء بارد من المحيط. تعلوه طبقة من هواء ساخن يتحرك غربا فوق الجبال من صحراء موهافي الساخنة. يساعد الجانب الغربي من الجبال على حصر الهواء المحبوس (الشّكل 7.25). تقوم جبال روكي في الحافة الغربية لدنفر بدور مماثل في محاصرة الضبخن تحت الانعكاس الحراري.

■ **نقطة فحص**

1. إذا تمددت كتلة من الهواء الجاف عند 0 درجة مئوية في أثناء تدفقها الصاعد إلى جانب الجبل، فما هي درجة الحرارة عندما ارتفاع 2 كم وعند ارتفاع 5 كم أيضا؟
2. ماذا يحدث لدرجة حرارة الهواء في واد عندما ينزل هواء بارد جاف إلى الوادي؟
3. عندما يكون الهواء مستقرا، فإنه يقاوم الحركة العمودية. ولكن عندما يكون الهواء غير مستقر، فإنه يريد الارتفاع إلى مستوى مستقر بحيث تساوي درجة الحرارة الجوّيّة درجة الحرارة في المناطق المحيطة بها. وفي مثال الانعكاس الحراري هل الهواء مستقر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. الهواء يبرد في معدّل تبريد للهواء الجاف مقداره 10 درجات مئوية لكلّ كيلومتر ارتفاع. عندما يرتفع الهواء إلى علوّ 2 كم ، تكون درجة الحرارة 20- درجة مئوية. ولكن درجة الحرارة على ارتفاع 5 كم تكون 50- درجة مئوية.
2. يتم ضغط الهواء أديابانيًّا. لذا، ترتفع درجة حرارته. يستفيد سكان بعض المدن من الضغط الأديباتي، في وادي جبال روكي، مثل ساليدا، وكولورادو. ويستمتعون بهذا الطقس" حزام المؤز" في منتصف الشّتاء.
3. يحدث انعكاس في درجة حرارة الجو عندما يعتلي هواءٌ دافئٌ هواءً باردًا. الهواء في هذا الوضع مستقر جدا- الهواء الأكثر كثافة وبرودة لا يمكن أن يرتفع فوق الهواء الأقلّ كثافة، والأكثر حرارة. وهكذا، فإنه يقاوم الحركة العمودية.

■ 3.25 تطوّر الغيوم

تزداد الرّطوبة النّسبيّة عندما يرتفع هواء غير مستقر لأنّ الهواء يبرد تبعا لمعدّل التّبريد الذّاتيّ للهواء الجاف. وعلى ارتفاع معين، تصل الرّطوبة النّسبيّة إلى 100%، ويصبح الهواء مشبعا. إنّ هذا الارتفاع هو **مستوى تكاثف الرّفع** (***lifting condensation level***).

ومع استمرار ارتفاع الهواء، يبرد تبعا لمعدّل تبريد الهواء الرطب. ولكن الأهم من ذلك أنّ معدّل التّكاثف يتجاوز معدّل التّبخّر فوق مستوى تكاثف الرّفع؛ تبدأ قطرات السّحابة بالتّشكّل. يعدّ مستوى تكاثف الرّفع الأساسَ في تكوين السّحب. تستمر الكتلة الهوائية في الارتفاع حتى تبرد بما يكفي لمباراة درجة حرارة الهواء المحيط. على هذا الارتفاع، تتوقف كتلة الهواء عن الارتفاع، ويكون معدّل التّكاثف مساويا لمعدّل التّبخّر. وهذا هو مستوى التوازن: الهواء الآن مستقر. يَسِمُ مستوى التوازن الحدّ الأعلى لتكون السّحب.

الجدول 2.25 مجموعات الغيوم الأربع الرئيسة

1.الغيوم العالية (أعلى من 6000م)	3 .الغيوم المنخفضة (أقل من 2000م)
سيروس: سمحاق	ستراتوس : طبقيّ
سيروستراتوس : طبقيّ سمحاقيّ	ستراتوكوميولاس: ركاميّ طبقي
سيروكوميولاس: ركام سمحاقيّ	نمبوستراتوس: طبقي مزني
2 .الغيوم المتوسطة (6000-2000م)	4 .الغيوم المتطوّرة عموديًا
ألتوستراتوس : طبقيّ متوسط الارتفاع	كوميولاس: ركاميّ
ألتوكوميولاس: ركاميّ متوسط الارتفاع	كوميولونمبوس: ركاميّ مزنيّ

تختلف نُطُقُ ارتفاع الغيوم في المجموعات الرئيسة مع الفصل وخطّ العرض. أيضا، تمتد بعض الغيوم عموديا في أكثر من مدى ارتفاع.

الغيوم لا تطفو فهي مدعومة حتى من قبل حزام هواء ناقل غير مرئي. الغيوم تتحرك دائمًا.

يعتمد ارتفاع مستوى التوازن على معدّل التّبريد الذّاتيّ البيئيّ. ولأنّ معدّل التّبريد الذّاتيّ يصف التّغيّرات في درجات الحرارة للهواء المحيط، فإنّ الارتفاع الذي تصبح فيه كتلة الهواء مستقرة يمكن أن يكون متغيرا.

ملخّص: يبرد الهواء المرتفع تبعا لمعدّل التّبريد الذّاتيّ للهواء الجاف حتى يصل درجة التّشبّع. بعد التّشبّع، يتحكم معدّل تبريد الهواء الرّطب في سمك السّحابة. لذا، فإنّ ارتفاع قاعدة سحابة وسمكها يعتمد على ثلاثة متغيّرات هي: معدّل التّبريد الذاتي البيئيّ، ومعدّل التّبريد الذّاتيّ للهواء الجاف، ومعدّل التّبريد الذّاتيّ للهواء الرطب.

تصنّف الغيوم تبعا لارتفاعها وشكلها. وهناك عشرة أشكال للغيوم، ينتمي كلّ منها إلى واحدة من أربع مجموعات رئيسة (الجدول 2.25)

■ **نقطة فحص**

إلامَ يشير معدّل التّبريد الذّاتيّ البيئيّ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

يشير معدّل التّبريد الذّاتيّ البيئيّ إلى تغير درجة حرارة الهواء مع الارتفاع. فهو يصف التغيرات في درجات حرارة الهواء الذي تمر خلاله كتلة هوائية. يختلف معدّل التّبريد الذّاتيّ البيئيّ مع الظروف المحلية. وفي المتوسط، يبلغ المعدّل نحو 6.5 درجة مئوية لكلّ كيلومتر ارتفاع.

الغيوم المرتفعة

السّحب العالية هي التي تتشكّل على ارتفاع أكبر من 6000 متر. السّحب العالية (سوى سحب سِرّس) يوضع لها بادئة *سرّو cirro-* . يكون الجو في هذا الارتفاع باردا وجافا، ولهذا تتكون الغيوم على هذا الارتفاع كلّها تقريبا من بلورات الجليد.

الغيوم العالية الأكثر شيوعا رقيقة ومتقطعة، وهي غيوم سِرّس. تهب غيوم *سِرّس* عن طريق الرياح العالية في شكلها الناعم المعروف، مثل"ذيل الفرس" أو" فرشاة الفنان". تشير غيوم سِرّس عادة الى طقس معتدل، ولكنها قد تشير أيضا إلى اقتراب المطر.

غيوم *سيروكوميولاس* هي نفثات بيضاء مألوفة مدورة. توجد في بقع، ونادرا ما كانت تغطي أكثر من جزء صغير من السّماء. إنّ تموجات صغيرة تجعل هذه الغيوم تبدو مثل العلامات على جسم سمكة الماكريل. ولهذا، فإنّ غيوم سيروكوميولاس تكوّن سماء مبقعة مثل سمكة الماكريل.

لمعلوماتك

■ تسمّى مونتانا"بلد السّماء الكبيرة" بسبب ارتفاع مستوى تكاثف الرّفع. المناخ الجاف يعني أن قواعد السّحاب عادة ما تكون في السّماء، وبالتالي تبدو السّماء"أكبر.

(أ)

(ج)

(ب)

(د)

الشّكل 8.25

مجموعات الغيوم الأربع

(أ) الغيوم المرتفعة: سِرّس، سِرّس المتطبقة، وسِرّس التراكمية

(ب) الغيوم المتوسطة: المرتفعة المتطبقة، والمرتفعة التراكمية

(ج) الغيوم المنخفضة: المتطبقة، والمتطبقة التراكمية، ونمبو المتطبقة

(د) الغيوم العمودية: التراكمية، وكميولونيمبوس

أمّا غيوم *سيروستراتوسُ* فهي رقيقة وذات شكل صفائحيّ. وكثيرا ما تغطي السّماء كلّها. بلورات الثلج في هذه الغيوم تكسر الضوء. وتنتج هالة حول الشّمس أو القمر. عندما تزداد سماكة غيوم سيروستراتوس فإنها تعطي السّماء لونا أبيض ساطعا. مؤشرا على مطر أو ثلج مقبل.

الغيوم المتوسطة

تتشكّل الغيوم المتوسطة بين 2000م و 6000 م. ويرمز إليها بالبادئة ألتو -*alto*. تتألف هذه السّحب من قطرات الماء. وعند درجة حرارة مناسبة. فإنّها تتألف من بلورات ثلج.

لون غيوم *التوستراتس* رمادية إلى رمادية زرقاء. وهي كثيرا ما تغطي السّماء لمئات من الكيلومترات المربعة. وهذه الغيوم غالبا ما تكون سميكة بحيث تشتّت ضوء الشّمس القادم إلى الحدّ الذي لا يوجد للأجسام على الأرض ظلّ. كما أنّها تتشكّل غالبا قبل العاصفة. انظر صوب الأرض وأنت تسير في نزهة. فإنْ لم تستطع رؤية ظلك. فتجاوز عما كنت مخططا له!

أمّا *التوكوميولاس* فهي غيوم رمادية. كما أنّها كتل منتفخة في تموجات أو حُزُم متوازية. النفثة الواحدة هي أكبر بكثير من تلك الموجودة في سحب سيروكوميولاس. ولونها أغمق. إنّ ظهور سحب التوكوميولاس في الأيام الحارة الرطبة من الصّيف غالبا ما يشير إلى عواصف رعدية بعد الظهر.

الغيوم المنخفضة

تبدأ الغيوم المنخفضة من السطح حتى ارتفاع 2000 م وتسمّى غيوم *ستراتوس*. وهي تتكون من قطرات الماء على الأغلب. ولكنها قد تحتوي أيضا على بلورات الجليد والثلج في الطّقس البارد. هذه الغيوم تكون رمادية. وعادة تغطي كامل السّماء.

وهي شائعة جدًّا في فصل الشّتاء. كما أنها تسبب" سماء ضبابية في فصل الشّتاء". إنها تشبه الضباب العالي الذي لا يلامس الأرض. وعلى الرّغم من أنّ غيوم ستراتوس ليست على صلة مباشرة مع الهطل، إلا أنّها تولّد أحيانًا رذاذًا أو ضبابًا خفيفًا.

تتشكّل سحب *ستراتوكوميولاس* إما منخفضة، بشكل طبقة عقدية تنمو في صفوف أفقيًّا، أو بقع، أو مع حركة ارتفاع ضعيفة، تبدو وكأنها كتل مدورة. لونها رمادي غامق على الأغلب. ولمعرفة الفرق بين غيوم التوكوميولاس وغيوم ستراتوكوميولاس؛ مدّ يدك على طول ذراعك وأشر نحو السّحابة في السّؤال. سحابة التوكوميولاس تبدو عادة في حجم إبهامك؛ أمّا سحابة الستراتوكوميولاس فتبدو بحجم قبضة اليد. إنّ هطل المطر أو الثلج لا ينتج عادة عن غيوم الستراتوكوميولاس.

لاحقة (نمبوس nimbus) تعني "إنتاج الأمطار".

غيوم *نيمبوستراتوس* مظلمة وتوحي بالتشاؤم. فهي سحب تبدو رطبة مرتبطة بالمطر أو الثلج المعتدل.

الغيوم المتطوّرة رأسيًّا

إنّ السّحب الرّكاميّة أكثر شيوعًا من أنواع السّحب الكثيرة. فهي تشبه قطعة من القطن عائمة، مع حواف حادة وقواعد منبسطة. لونها أبيض إلى رمادي فاتح، وتتكوّن بشكل عام على 1000 متر فوق سطح الأرض. إنّ قمم السّحب الرّكاميّة غالبًا ما تكون على شكل أبراج مرتفعة، مما يدل على أعلى حدّ لارتفاع الهواء. هذه هي غيوم أحلام اليقظة في فترة الطفولة! هل رأيت في أيّ وقت مضى القلاع أو الأشكال من الحيوانات في السّحب؟

عندما تتحول السّحب الرّكاميّة الى معتمة ويرافقها تساقط الأمطار، يشار إليها بالسّحب المكفهرة (كوميولونيمبوس). في هذه الحالة، فإنها تشير إلى وجود عاصة مقبلة. وكما سنرى، فإنّ السّحب المكفهرة غالبًا ما تصبح قمم العواصف الرّعديّة.

الهطل

يجب أن تحدث العديد من الأشياء قبل حدوث الهطل.. كل خطوة تجري نحو الهطل هي جزء من عملية *اصطدام – التحام collision-coalescence*. أول متطلب لذلك هو وجود غبار؛ نوى التّكاثف. وقد نوقش سابقًا في هذا الفصل.

إنّ بخار الماء أقلّ كثافة من الهواء. ولكن عند تشكّل رذاذ السّحابة، فإنّ القطرات تكون أكثر كثافة من الهواء كثيرًا. تسحب قوة الجاذبية القطرات نحو الأسفل بما يكفي لجعلها تسقط. فلماذا لا تسقط قطرات الماء كلّها في سحابة على الأرض؟ الجواب ينطوي على الانحراف نحو الأعلى؛ الحركة التصاعدية للهواء. تحتوي السّحابة الرّكاميّة على تيار صاعد بسرعة لا تقلّ عن 1 م / ث ، وهي أسرع من وقوع الرذاذ. لذا تطفو القطرات بسبب الهواء المتصاعد. ومن دون التيارات الهوائيّة، تهبط القطرات ببطء نحو الأسفل، وتتبخر بسرعة بحيث لا تكون لديها فرصة للوصول إلى الأرض. وتحلّ مكانها قطرات تشكّلت حديثًا.

وفي عملية الاصطدام - الالتحام، تتجمع قطرات صغيرة لتشكّل مجموعة من القطيرات بمختلف الأحجام. وفي وقت مبكر، تكون التيارات الصاعدة أقوى من حركة الهبوط في القطيرات، وتهب القطيرات جميعها مرارًا وتكرارًا إلى أعلى، ولا يسقط مطر. ومع نمو القطيرات، فإنها تسقط أخيرًا بالمعدّل نفسه للتيار الصاعد ليصبح ثابتًا تقريبًا. لكن القطيرات تخضع لقصف مستمر من قطيرات أصغر مرتفعة مع التيار الصاعد. يشبه هذا النوع من القصف، رشق حبيبات الرمل الصغيرة الشّخص الواقف على الشاطئ عندما تهب رياح قوية ومستمرة. يحدث هذا نموًّا كبيرًا في القطيرات. وأخيرًا، تنمو قطرات الماء الثابتة أكثر، وتصبح ضخمة مقارنة بقطيرات السّحب؛ تصبح قطرات مطر. ولأنّ سقوط قطرات المطر يكون أسرع من التيار الصاعد، يحدث الهطل. تتطلب هذه العمليـــة تطوّرًا عمـــوديًّا في السّحابة، وإلا فإنه لا يوجد اصطدام بين القطـــيرات بما يكـــفي لنمـــو القطيرات الفردية لتصبح كبيرة وتبلغ نقطة الثبات. لذا فإن وجود غيوم

لمعلوماتك

■ السّحب الرّكاميّة أكثر كثافة من الهواء المحيط. فلماذا لا تهبط؟ والجواب هو أنها تسقط! إنها تسقط بالسرعة نفسها لارتفاع الهواء، فهي لا تزال ثابتة في الارتفاع. ودون التيارات الصاعدة لن تكون هناك أيّ غيوم ركامية.

الجدول 3.25 تصنيف كتل الهواء وخصائصها

منطقة المصدر	التّصنيف	الرّمز	الخصائص
القطب الشّماليّ	قطب متجمد مائيّ	mA	بارد، رطب، غير مستقر
جرينلاند	قطب متجمد قاريّ	cA	بارد، جاف، مستقر
شمال الأطلسي والمحيط الهادئ	قطب مائيّ	mP	بارد، رطب، غير مستقر
كندا وسيبيريا	قطب قاريّ	cP	بارد، جاف، مستقر
البحر الكاريبي وخليج المكسيك	مداريّ مائيّ	mT	دافئ، رطب، عادة غير مستقر
المكسيك وجنوب غرب الولايات المتحدة	مداريّ قاريّ	cT	حار، جاف، علوي مستقر، غير مستقر عند السطح

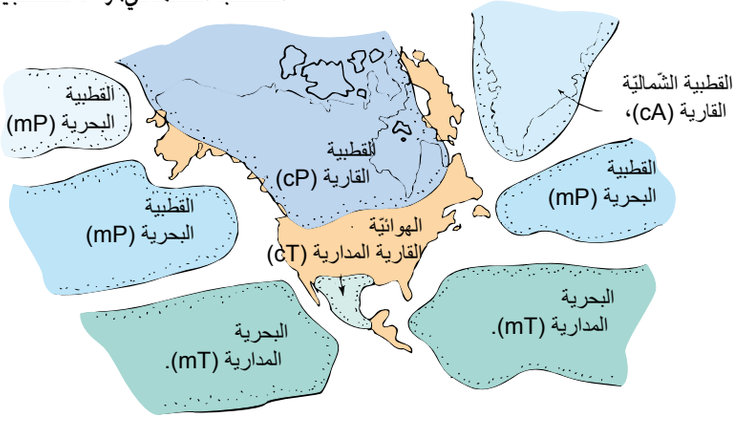
أكثر سمكًا يعني فرصة أعلى للمطر- وفرصة أعلى لمطر غزير. تعطي الغيوم الأسمك القطيرات مزيدًا من الوقت والفضاء حتى تندمج في قطرات ثقيلة بما يكفي للتساقط.

تتشكّل قطرات المطر؛ لأنّ معدّل التّكاثف يتجاوز معدّل التّبخّر. لكن قطرات المطر تتقلص عندما تسقط لأنها عندما تغادر السّحابة يصبح معدّل التّبخّر أعلى من معدّل التّكاثف. ولكن التّبخّر يكون عاليًا في بعض الأحيان، بحيث تختفي قطرات المطر قبل أن تصل الأرض. وعندئذٍ تسمّى هذه الأمطار *فيرجا virga*.

4.25 الكتل الهوائيّة والجبهات والعواصف

الكتلة الهوائيّة هي حجم من الهواء أكبر كثيرًا من الطرد (جمع طرود *parcel*) الهوائي الذي ناقشناه حتى الآن. تغطي كتل هوائية متميزة أجزاء كبيرة من سطح الأرض. ولكلّ خصائصها. تختلف كتلة الهواء التي تشكّلت على المياه الاستوائية عن تلك التي تتشكّل على الأرض في المناطق القطبية. تنقسم الكتل الهوائيّة إلى ست فئات عامة وفقًا لنوع الأراضي، أو المياه، أو خطوط العرض التي تشكّلت عليها (الجدول 3.25 والشّكل9.25). يشار إلى نوع السّطح الذي تتشكّل كتلة الهواء عليه بحرف صغير (*m* للبحري، و*c* للقاري). في حين يشار إلى منطقة المصدر التي تتشكّل الكتلة الهوائيّة فيها بحرف كبير (*A* لمنطقة القطب الشّماليّ، و *P* للقطبية، و*T* للمدارية.)

الشّكل 9.25
المناطق المصدرة للكتل الهوائيّة في أمريكا الشّماليّة



وعمومًا تنتج الكتل الهوائيّة القطبية القارية (cP) والقطبية الشّماليّة القارية (cA)، طقسًا باردًا جافًّا في فصل الشّتاء، وباردًا لطيفًا في الصّيف. تلتقط الكتلُ الهوائيّة القطبية البحرية (mP) و القطبيةُ الشّماليّة البحرية الرّطوبةَ في أثناء تنقلها عبر المحيطات، فتجلب طقسًا باردًا رطبًا إلى المنطقة. أمّا الكتل الهوائيّة القارية المدارية (cT) فهي المسؤولة عمومًا عن الطّقس الحار الجاف في الصّيف. في حين تنشأ الظروف الدافئة الرطبة عن الكتل الهوائيّة البحرية المدارية (mT). لذلك فإنّنا نرى أنّ مختلف أنواع الكتل الهوائيّة ذات سمات خاصة لكلّ منها. وعندما تلتقي كتلتان هوائيتان مختلفتان تتطور ظروف طقس متنوعة.

رفع الغلاف الجوّيّ

تعدّ الغيوم مؤشرات جيدة على الطّقس. للحصول على السّحب، لا بدّ من رفع الهواء. إنّ آليات الرّفع الرئيسة الثلاث في الغلاف الجوّيّ هي: رفع تيارات الحمل (أو الرّفع الحملي)، والرّفع الجبليّ، ورفع الجبهات.

رفع تيارات الحمل

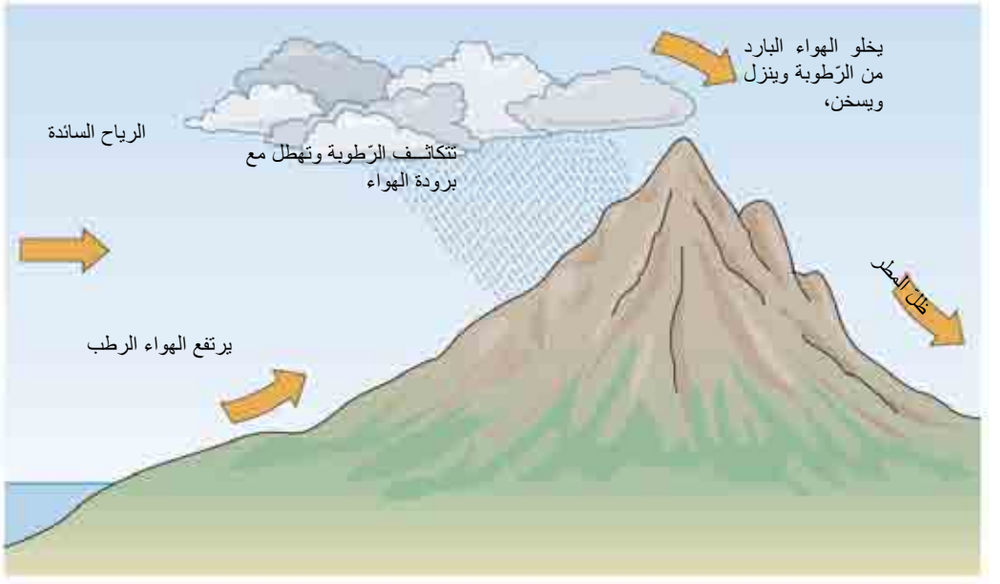
يتم تسخين سطح الأرض بشكل غير متساو؛ حيث تمتصُّ بعضُ المناطق الطاقةَ الشمسية على نحو أفضل من غيرها. ولذلك تسخن بسرعة أكبر. إنّ الهواء الذي يمسّ هذهِ النقاط الساخنةَ يصبح أكثر حرارة من الهواء المحيط، ويرتفع ويتمدد ويبرد. ويرافق ارتفاع الهواء هواء بارد هابط من أعلى. إنّ الحركة الدورانية تنتج تيارات الحمل(*Convential lifting*).

وإذا حدث التّبريد بالقرب من درجة حرارة التّشبّع في الهواء، فإنّ الرّطوبة المتكاثفة تنتج سحابة ركامية. يتحرك الهواء داخل سحابة الرّكام في دورة هي ارتفاع الهواء الحار وهبوط الهواء البارد. ولأنّ الهواء البارد النازل يحول دون تمدد الهواء الحار تحتها، فإنّ السّحب الرّكاميّة الصغيرة عادة ما تحوي مناطق متسعة من السّماء الزرقاء بينها (الشّكل 10.25).

تبقى الغيوم الرّكاميّة غالبًا في الأماكن التي تشكّلت فيها، وتتشتّت وتتكوّن مرات كثيرة. وعندما تكبر فإنها تظلل الأرض تحتها من الشمس، وهذا يؤدي إلى إبطاء تسخين السّطح، ويحول دون انتقال الهواء الحار إلى أعلى. ومن دون إمدادات مستمرة من ارتفاع الهواء فإنّ سحابة الرّكام تبدأ في التلاشي. وإذا اختفت السّحابة فسيعاد تسخين الأرض، والسماح للهواء فوقه بالتسخين والصعود. وهكذا يبدأ من جديد رفع تيارات الحمل، ويبدأ تكوّن الغيوم الرّكاميّة في المكان نفسه.

الرفع الجبلي

تخضع كتلة الهواء التي يتم دفعها تصاعديًّا فوق عقبة، مثل سلسلة جبال، **للرفع الجبلي (*orgraphic lifting*)**؛ الهواء المرتفع يبرد. وإذا كان الهواء رطبًا فإنّ السّحب تتشكّل. وتعتمد أنواع الغيوم التي تتشكّل على استقرار الجو ومحتوى الرّطوبة؛ فإذا كان الهواء مستقرًّا، فإنّ طبقة من غيوم ستراتوس تتكون. أمّا إذا كان الهواء غير مستقر، فإنّ السّحب الرّكاميّة هي التي تتشكّل. وعندما يتحرك الهواء أسفل الجانب الآخر من الجبال (المنحدر المعاكس) . فإنه يسخن دون تغير في الطاقة. هذا الهواء النازل جاف ودافئ؛ لأنّ معظم رطوبته تمت إزالتها على شكل سحب وتساقط للأمطار في جانب مهب الريح من الجبل (المرتفع). كما أنّ الهواء النازل حارّ؛ لأنّ التّكاثف يحرر طاقة. ولأنّ الجوانب الجافة المحمية في الجانب المعاكس من الجبل محمية من الأمطار والرّطوبة، فإنّها تسمّى *ظلّ المطر* (الشّكل11.25).



الشّكل 11.25

السلسلة الجبلية قد تنتج ظلّ المطر عند الجانب المقابل. ومع ارتفاع الهواء الدافئ الرطب على جانب مهب الريح ، يبرد الهواء وتهطل الأمطار. وعندما يصل الهواء إلى المنحدر المحمي من الريح والهواء الخالي من الرّطوبة ، فإنّ الجانب غير المواجه للريح يكون جافًا. إنه يقع في ظلّ المطر.

لمعلوماتك

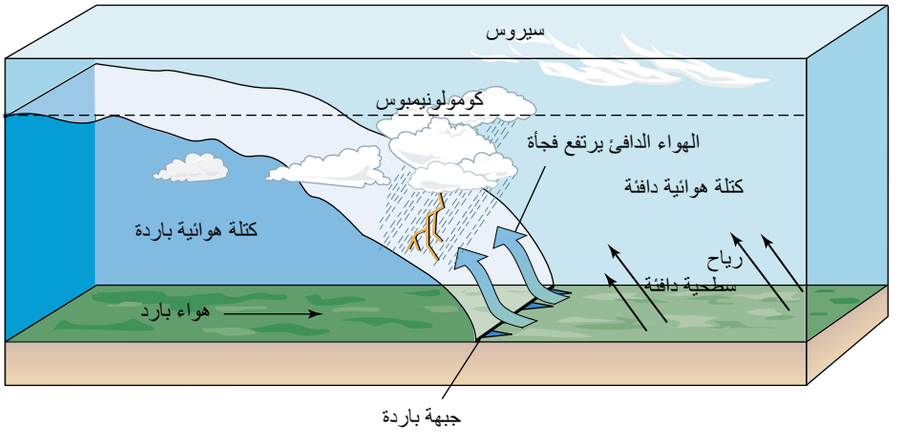
■ تمامًا كما أنّ الظّلّ"العاديّ" هو المكان الذي يوجد فيه القليل من الضوء، لأنّ عقبة ما تعيق وصول الضوء، فإنّ ظل المطر هو المكان الذي يسقط المطر فيه قليلًا بسبب عقبة ما (مثل جبل) يحجز الهطل.

الشّكل 10.25

توجد في كثير من الأحيان السّحب الرّكاميّة على شكل غيوم منفصلة شاهقة بيضاء مفصولة بعضها عن بعض بمساحات ممتدة من السّماء الزرقاء.

لمعلوماتك

■ كما يُلاحظ أيّ طيار طائرة شراعية، لا توجد طريقة يمكن أن يرتفع بها الهواء كلّه. بعض الهواء يجب أن يهبط. وحيث يرتفع الهواء ويتكاثف بخار الماء نرى الغيوم؛ وحيث ينزل نرى السّماء الزرقاء بين الغيوم.



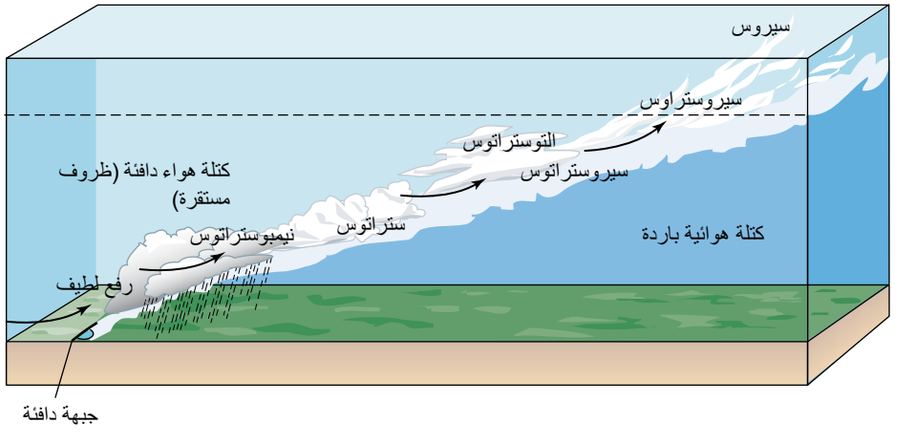
الشّكل 12.25
تتكوّن الجبهة الباردة عندما تتحرك كتلة هواء باردة إلى هواء حار. الهواء البارد يلزم الهواء الحار بالصعود، حيث يتكثف على شكل غيوم. إذا كان الجو أكثر حرارة ورطوبة وغير مستقر، فستسقط الأمطار الغزيرة وتتطوّر الرياح القوية

رفع الجبهات

في تقارير الطّقس، كثيرًا ما نسمع عن الجبهات. **الجبهة (*front*)** هي منطقة الاتصال بين كتلتين هوائيّتين مختلفتين. وعند التقاء كتلتين جويتين، فإنّ اختلافًا في درجة الحرارة، والرّطوبة، والضّغط يسبب رُكوب واحدة من الكتل الهوائيّة فوق الأخرى. وعندما يحدث هذا ، يحدث **رفع للجبهة (*frontal lifting*)**. إذا تحركت كتلة هوائية باردة إلى منطقة تحتلها كتلة هواء حارة ثابتة فإنّ منطقة الاتصال بينهما تسمّى *جبهة باردة*. ولكن إذا تحرك الهواء الحار إلى المنطقة المحتلة من كتلة هوائية باردة ثابتة فإنّ منطقة الاتصال تسمّى *جبهة دافئة*. يصاحب الجبهات عادة الرياح والسّحب والمطر والعواصف. أمّا *الجبهة المحتجبة* فتحدث عندما تعلو جبهةٌ باردة جبهةً دافئة أو العكس. وإنْ لم تتحرك إحدى الكتل الهوائيّة، فعندئذٍ تسمّى *منطقة الاتصال جبهةً ثابتة*.

إنّ خبراء الأرصاد الجوّيّة وغيرهم من المراقبين للسماء هم الذين يعرفون في كثير من الأحيان موعد اقتراب جبهة باردة من خلال مراقبة غيوم سيروس العالية، وتحول اتجاه الرياح، وانخفاض كلّ من درجة الحرارة والضّغط الجوّيّ. عنما يتحرك هواء بارد نحو هواء حار مشكّلًا جبهة باردة، يتم إجبار الهواء الدافئ على الصعود إلى أعلى، الشّكل (12.25). ومع ارتفاعها تبرد، ويتكاثف بخار الماء إلى سلسلة من السّحب المكفهرة، ونيمبوستراتوس. يتطوّر الجدار المتقدم في السّحب إلى عواصف رعدية مع أمطار غزيرة ورياح عاصفة. وبعد مرور الجبهة، يبرد الهواء وينزل، ويرتفع الضّغط، ويتوقف المطر. وما عدا السّحب الرّكاميّة في الطّقس المعتدل فإنّ السّماء تصبح صافية، ويحدث الهدوء بعد العاصفة.

وعندما يتحرك الهواء الحار إلى كتلة هواء باردة، وتتشكّل جبهة حارة، فإنّ الهواء الأقلّ كثافة والأكثر حرارة يعلو تدريجيًّا الهواء الأكثر برودة، والأكثر كثافة (الشّكل 13.25). إنّ اقتراب جبهة دافئة، وإنْ كانت أقلّ وضوحًا وأكثر تدريجيًّا من اقتراب جبهة باردة، يستدلّ به عن طريق سحب سيروس.



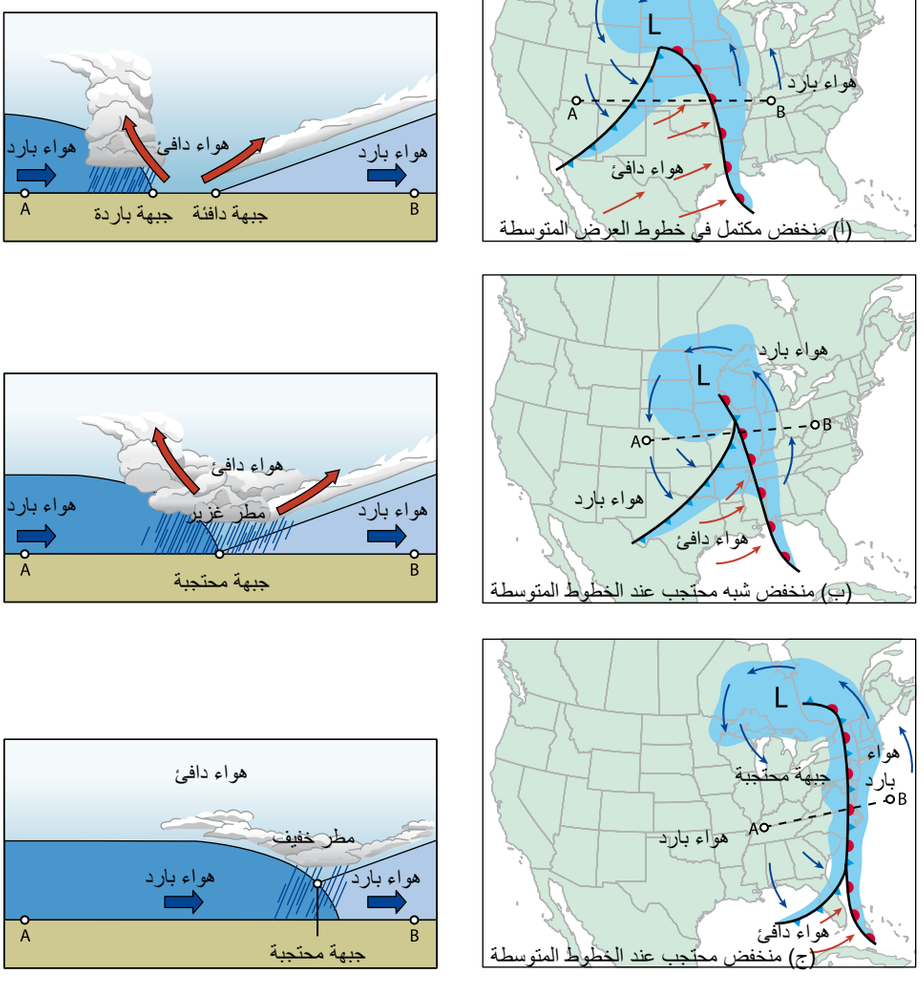
الشّكل 13.25
تحدث الجبهة الدافئة عندما تنتقل كتلة هوائية دافئة إلى كتلة هواء بارد. يعلو الهواء الدافئ الأقلّ كثافة فوق الهواء البارد الأعلى كثافة مكوّنا غيوما وأمطارا خفيفة إلى متوسطة تغطي مساحات كبيرة.

أمام الجبهة، تنحدر سحب سيروس ويزداد سمكها إلى سحب التوكوميولاس والتروستراتوس التي بدورها تكسب السّماء لونًا رماديًّا. ومع اقترابها من الجبهة، يتكوّن مطر أو ثلج معتدل، وتصبح الرياح نشطة. في الجبهة، ترتفع درجة حرارة الهواء تدريجيًّا، ويتحوّل المطر أو الثلج إلى رذاذ، في حين يكون الهواء حارًّا والغيوم مبعثرة وراء الجبهة.

عندما تندمج جبهتان: الأولى باردة والأخرى حارة، تكون النتيجةُ جبهةً محتجبة. وهناك عدة آليات تؤدي إلى تشكيل الجبهة المحتجبة. وللتبسيط، فإنّ الشّكل 14.25 يوضّح الخطوات التي تؤدي إلى تشكيل الجبهة المحتجبة عندما تدرك جبهةٌ باردة جبهةً دافئة تتحرك ببطء. في البداية، لا تتداخل الجبهات، ثم تلتقي النهايات الشّماليّة لكلّ جبهة في منطقة مركز ضغط منخفض (الشّكل 14.25أ). في هذه المرحلة، يكون الهواء الحار على اتصال مع الأرض بين الجبهتين. وعندما تعلو الجبهةُ الباردة الجبهةَ الحارة، تجتمع الجبهتان على الأرض، بحيث لا يلامس الهواء الدافئ فوق كلّ جبهة الأرض (الشّكل 14.25ب). ومع استمرار توجه الجبهة الباردة نحو الجبهة الدافئة، فإنّ الجبهة الحارة نفسها لا تلامس الأرض (الشّكل 14.25ج). تتقدم الجبهة الباردة على شكل إسفين تحت الجبهة الدافئة، والتقاطع بين الجبهتين هو فوق سطح الأرض. وكما كنت تتخيل، فإنّ هناك منطقة واسعة من الطّقس الممطر ترافق الجبهة المحتجبة.

لمعلوماتك

■ بغض النظر عن أيّ كتلة هواء تتقدم، فإنّ الكتلة الأكثر حرارة والأقلّ كثافة هي التي تدفع دائمًا عاليًا. الهواء السّاخن له ميل إلى الإرتفاع. في حين أن للهواء البارد ميلًا إلى الهبوط. لذا، فإنّ الهواء البارد الأعلى كثافة يسلك سلوك إسفين حيث الرّفع يأخذ مكانه.



الشّكل 14.25

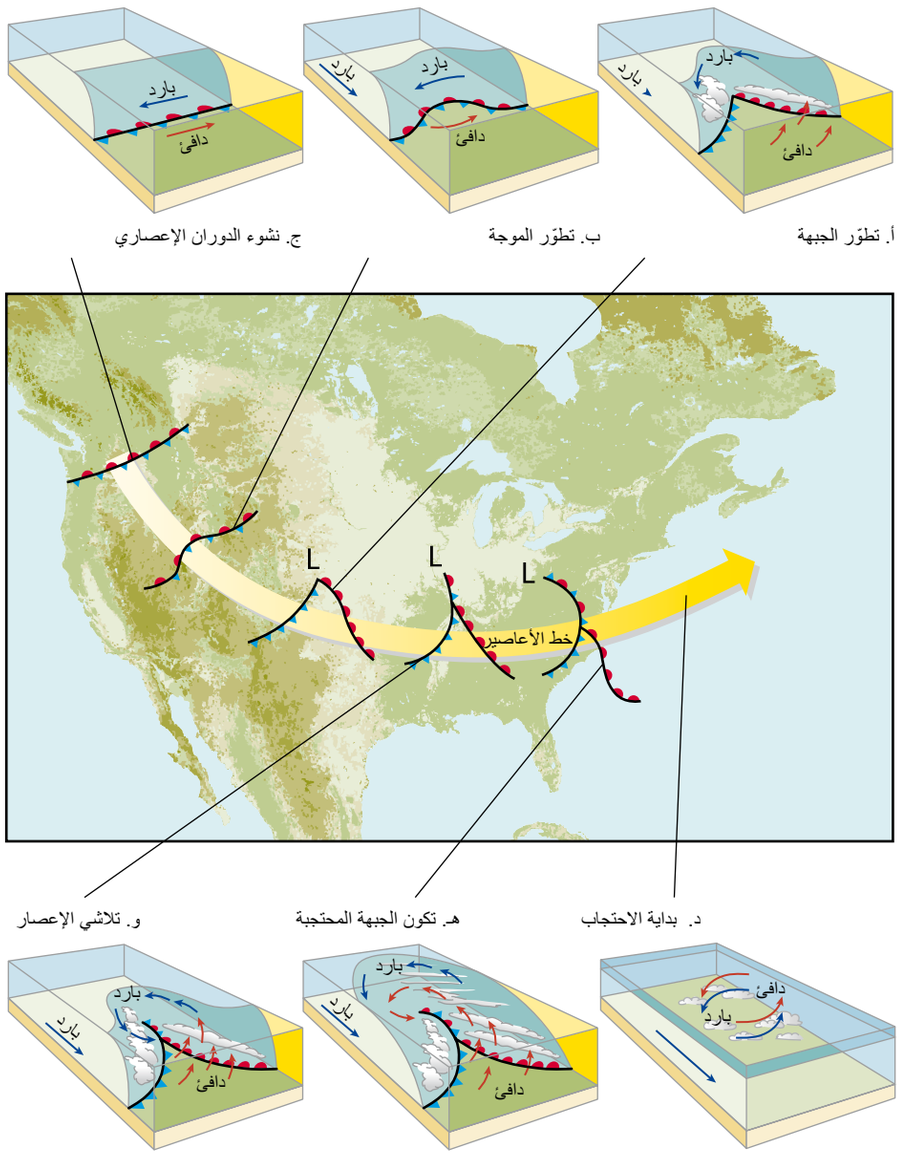
خطوات تشكيل الجبهة المحتجبة عندما تعلو الجبهة الباردة فوق الجبهة الحارة. يمثل الجانب الأيمن مقاطع عمودية للخرائط على اليسار. موقع كلّ مقطع عرضي مبين على كلّ الخريطة.

عندما توجد اثنتان من الكتل الهوائيّة المختلفة غير قويتين بما يكفي لتجاوز إحداهما الأخرى، فإنّ الحدود بينهما تصبح *جبهة ثابتة*. الجبهة الثابتة مثل طريق مسدود بين الجبهات. وعلى هذا النحو، يمكن أن تبقى في المنطقة عدة أيام. وفي نهاية المطاف ينتهي هذا الجمود، فإمّا أن تبدد الجبهة، أو ترتفع، أو تتغير إلى جبهة باردة أو دافئة اعتمادًا على الظروف.

أعاصير خطوط العرض الوسطى

إنّ **أعاصير خطوط العرض الوسطى *(Midlatitude Cyclones)*** أنظمة عواصف تعبر الولايات المتحدة عادة (وغيرها) من الغرب إلى الشرق. ويرتبط تشكّل هذه الأعاصير بشكل وثيق مع التفاعلات بين الكتل الهوائيّة عند الجبهة القطبية. ويشير مصطلح *الإعصار* إلى دوران عكس اتجاه عقارب الساعة، في شمال الأرض، حول مركز الضّغط المنخفض. تدور الأعاصير المعكوسة *anticyclone* في اتجاه عقارب الساعة حول مركز ضغط عال.

يتطوّر إعصار خطوط العرض الوسطى من خلال ست خطوات متميزة، بدءًا من نشأة الإعصار؛ أي ولادته (الشّكل 15.25). تحدث المرحلة الأولى في الجبهة القطبية في مكان يتصف بخصائص الجبهة الثابتة، حيث تتحرك كلّ من الكتل الهوائيّة بالتوازي مع الجبهة (الشّكل 15.25أ).



الشّكل 15.25
خطوات حياة إعصار خطوط العرض المتوسطة.

لمعلوماتك

■ لماذا نسمي منطقة الاتصال بين الكتل الهوائيّة جبهة؟ كلمة (الجبهة) مصطلح عسكري يستخدم لوصف الحدود بين جيشين. وفي أثناء الحرب العالمية الأولى، اعتمد خبراء الأرصاد الجوّيّة النرويجية الجبهة وسيلة لوصف حدود الخط الفاصل بين كتلتين هوائيتين "متحاربتين".

ينشأ الإعصار عندما تصبح الجبهة الخطية مضطربة ويتطوّر منحنى كالموجة، بحيث يكون الهواء الحار بارزًا في الكتلة الهوائيّة الباردة (الشّكل 15.25ب). وفي العادة، تسير الموجة شرقًا مع الرياح الغربية.

وإذا لم تتلاشَ الموجة فإنّ الهواء الحار يواصل التحرك صوب القطب. أمّا الهواء البارد فيدفع في اتجاه خط الاستواء. في هذه المرحلة تتطوّر جبهتان؛ الأولى دافئة على الحافة الأمامية للنظام، تليها أخرى باردة. تنتهي الجبهات في المركز الذي أصبح يُشكّلُ منطقة دائرية تقريبًا من *الضّغط المنخفض* (الشّكل 25-15ج). إنّ قوة تحدّر ضغط الهواء تحرّكه إلى الداخل نحو مركز الضّغط المنخفض، ولكن قوة كوريوليس تحرف الريح إلى اليمين. تقوم الرياح بالدوران عكس اتجاه عقارب الساعة حول مركز الضّغط المنخفض. وهناك فرق في درجة الحرارة بين الجانب الأكثر حرارة إلى الشرق من النظام والجانب البارد الغربي.

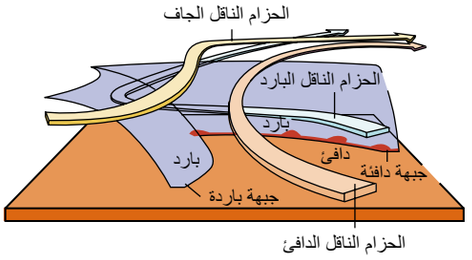
في معظم الظروف، تتحرك الجبهة الباردة شرقًا أسرع من الجبهة الحارة. يبدأ هواء بارد برفع الجبهة الدافئة، وتشكيل جبهة محتجبة (الشّكل15.25د). ومع استمرار نمو الجبهة المحتجبة (الشّكل 25-15هـ)، فإنّ هواء دافئًا أكثر يصعد إلى أعلى، حتى لا يوجد فرق كبير في درجة الحرارة أفقيًّا عبر العاصفة. ولكن أين يذهب الهواء الدافئ؟ يبين الشّكل 15.25 أنّ الهواء الدافئ جميعه أجبر على الصعود فوق الجبهة الباردة المتقدمة. ودون أن يكون هناك فرق في درجة الحرارة أفقيًّا، تصبح العاصفة بلا مصدر للطاقة. ويتوقّف تدفّق الإعصار عكس اتجاه عقارب الساعة، ويسود طقس بارد صافٍ.

هذا هو *نموذج الإعصار النرويجي*، وهو يقوم بجهد كبير لوصف بداية إعصار خطوط العرض الوسطى ووسطه ونهايته. وقد تم تطويره في أوائل القرن العشرين عندما كانت بيانات الأرصاد الجوّيّة محدودة على السطح. وهناك حاجة إلى بيانات لعمليات المستوى العلوي لكي نفهم سبب استمرارية أعاصير خطوط العرض الوسطى. لقد استدعت وجهةُ النظر الحديثة عن أعاصير الخطوط الوسطى فكرةَ ثلاثة حُزم ناقلة كبيرة من الهواء هي: الحزام الناقل الحار، والحزام الناقل البارد، والحزام الناقل الجاف.الشّكل (16.25).

يهبّ الحزام الناقل الحار شمالًا من خليج المكسيك، ومن ثم يحمل رطوبة كبيرة معه. يتبع تدفقًا للهواء بالقرب من السطح.

إلا أنه يخضع لرفع أمامي عندما يصادف جبهة دافئة. ثم يبرد الهواء الدافئ ذاتيًّا، مما يؤدي إلى التّكاثف وتساقط الأمطار. أمّا الحزام الناقل البارد فيهب منخفضًا من الشرق في شمال الجبهة الدافئة. يتدفق الهواء البارد تحت الناقل الحار ملتقطًا الرّطوبة من تبخر قطرات المطر التي تقع من خلاله من الهواء الساخن فوقه. وعندما يقترب الحزام الناقل البارد من مركز الإعصار، يرفع الهواء البارد، ويبرد أكثر. ويصبح الهواء المرتفع مشبعًا فينتج المزيد من الأمطار. الآن، يصبح الحزام الناقل البارد جزءًا من الرياح الغربية في المستويات العليا. في حين ينشأ الحزام الناقل الجاف إلى الغرب من العاصفة، في الجزء العلوي من التروبوسفير. وهو تدفق جاف بارد يحافظ على التزود من الهواء البارد وراء الجبهة الباردة. وبعد أن يوقفه التدفق الإعصاري، ويتجه شمالًا فإنّ الحزام الناقل الجاف يصبح أيضًا ضمن الرياح الغربية في المستوى العلوي.

إنّ نموذج الحزام الناقل يكمل نموذج الجبهة القطبية النرويجي عن طريق إلقاء الضوء على القوى الدافعة التي تغذي إعصار خطوط العرض الوسطى.



الشّكل 16.25

نموذج الحزام الناقل لأعاصير خطوط العرض الوسطى والتي تبين علاقة الحُزم الناقلة الدافئة، والباردة، والجافة للجبهات المشاهدة على السطح .

5.25 الطّقس العنيف

إنّ الأنواع الثلاثة من الرّفع التي نوقشت تجلب ظروف طقس مختلفة. ويعتمد الطّقس الناتج عن اتصال الكتل الهوائيّة على ظروف المناطق المصدرة لها. يمكن أن تحدث تغيرات الطّقس بسرعة أو ببطء شديد. إنّ معظم التغيرات السريعة، والأكثر عنفًا تحدث مع ثلاثة أنواع من العواصف الرئيسة هي: الرّعديّة، والقمعيّة، والبحرية *hurricanes*.

العواصف الرّعديّة

الشّكل 17.25
مرحلة مكتملة من سحابة العاصفة الرّعديّة تظهر على شكل غيمة من السّحب المكفهرة التي تصل إلى نحو 12 كيلومترًا. الرياح القوية الأفقية ودرجات الحرارة الجليدية تسطح تاج السّحابة وتُمدِّدُه على شكل سندان.

تبدأ العاصفة الرّعديّة من هواء رطب غير مستقر، مرتفع، يتعرض للتبريد والتّكاثف متحوّلًا إلى سحابة ركام واحدة. تبنى هذه السّحابة وتنمو تصاعديًّا ما دام هناك تغذية من التيار الصاعد المكون من الهواء الساخن المرتفع من الأسفل. وتنمو قطيرات الغيمة بشكل أكبر وأثقل داخل سحابة حتى تبدأ في نهاية المطاف إلى سقوط كالمطر. إنّ المطر الساقط يسحب بعض الهواء البارد معه، مكونًا تيارًا هابطًا؛ الهواء المبرد أكثر برودة وأكثر كثافة من الهواء الذي حوله. معًا، يكون ارتفاع التيار الصاعد الحار ونزول التيار البارد أسفل السّحابة في عاصفة على شكل خلية. وهذه هي مرحلة النضج، والتي تظهر فيها غيمة السّحابة الرّعديّة كالعملاق؛ مظلم وطويل في السّماء. إنها تحوي قاعدة قطرها عدة كيلو مترات في العادة، ويمكن أن تصل إلى ارتفاع 12 كيلومترًا. وعلى مثل هذا الارتفاع، تُمدّدُ الرياحُ الأفقية وانخفاضُ درجات الحرارة تاجَ الإعصار وتسطّحُه على شكل سندان، الشّكل (17.25). وبعد تبدّد العاصفة الرّعديّة، تترك وراءها غيمة سيروس السندان للتذكير بوجودها الضخم.

تتطوّر نحو 1800 عاصفة رعديّة في الغلاف الجوّيّ للأرض في أيّ وقت من الأوقات. وحيثما تحدث العواصف الرّعديّة، يوجد البرق والرّعد. وكلما اصطدمت قطيرات الماء وفركت في السّحابة بعضها بعضًا، تصبح السّحابة مشحونة كهربائيًّا. وبدلًا من توزيعها بشكل موحد من خلال السّحابة، تنفصل الشحنات الكهربائية؛ وهي عادة ما تكون مشحونة إيجابيًّا حيث توجد بلورات الثلج (على برودة أعلى سحابة) وسالبة الشحنة حيث السّحابة أكثر حرارة (في أسفل سحابة). ومع بناء الجهد الكهربائيّ بين المناطق المتعاكسة في الشحنات، تصبح الشحنة كبيرة بما يكفي لتحرر الطاقة الكهربائية، ونقلها إلى نقاط أخرى من الشحنة المعاكسة، والتي تعني الأرض غالبًا. إنّ الطاقة الكهربائية التي تتدفق من السّحابة إلى الأرض هي البرق (الشّكل 18.25). ولما كان البرق يسخن الهواء، فإنه يتمدد، ونسمع قصفه الصاخب المرافق. تضرب الصواعق الأرض حوالي 100 مرة كلّ ثانية، مع بعض الصواعق ذات الجهد الكهربائيّ الذي يصل إلى 100 مليون فولت. ويصيب البرق حوالي 100 فرد سنويًّا في الولايات المتحدة وحدها.

الأعاصير القمعيّة

هي جسم دوار، مثل الكرة الدوارة المربوطة بخيط، تزداد سرعتها عندما تسحب نحو محور دورانها، ومن ثم تحافظ على زخمها الزاوي. وبالمثل، تزداد سرعة الرياح الدوارة ببطء على مساحة واسعة عندما يقلّ نصف قطر دورانها. هذه الزيادة في السرعة يمكنها إنتاج إعصار قمعيّ *tornado*، وهو سحابة على شكل قمع تمتد من أسفل سحابة كبيرة مكفهرة.

الشّكل 18.25
عندما تتعرض الأرض لبرق في أثناء عاصفة رعدية شديدة، تظهر الألوان الأزرق، والأخضر، والأحمر بسبب الوميض الناجم عن تحدّب عدسة آلة التصوير عند التقاط الصورة.

الشّكل 19.25
مثل مكنسة كهربائية عملاقة، تستطيع الرياح القوية من الإعصار القمعي التقاط كل شيء في طريقها وطمسها.

تسمّى سحابة القمع التي أنتجت من عاصفة رعدية قوية إعصارًا قمعيًّا فقط بعد أن تلامس الأرض. تدور رياح الإعصار القمعيّ عكس اتجاه عقارب الساعة (اتجاه عقارب الساعة في نصف الكرة الجنوبيّ) في سرعة رياح منخفضة 65 كم / ساعة. ولكنها قد تصل إلى 450 كم / ساعة اعتمادًا على قوة الإعصار.

ومع حركة الإعصار فوق الأرض وبسرعة 95-45 كم. فإنه يتبع مسار السّحابة الرّعديّة الأم. ويمكن للإعصار أن يصعد ويهبط. وقد يرتفع لفترة وجيزة عن الأرض ثم يعود إليها مرة أخرى. يسلك الإعصار القمعيّ سلوك مكنسة كهربائية عملاقة؛ فهو يلتقط كلّ شيء في طريقه. كما أنّه يلحق فوضى بسبب عصف الرياح في الدوامة وليس بسبب السّحب فقط. ويترك هذا الإعصار آثارًا من الأوحال والأنقاض في الهواء. الشّكل (19.25).

تحدث الأعاصير القمعيّة في أنحاء كثيرة من العالم؛ ففي السهول الوسطى للولايات المتحدة. تمتد منطقة الإعصار من تكساس الشّماليّة خلال أوكلاهوما. وكنساس. وميسوري. وتتعرّض هذه المنطقة إلى أكثر من 300 إعصار قمعيّ كلّ عام. ومن هنا جاءت تسمية هذ المنطقة بزقاق الأعاصير القمعيّة. إنّ الأعاصير القمعيّة تكثر في هذا الجزء من البلاد؛ حيث اضطر السكان إلى بناء العديد من الملاجئ تحت الأرض كمنازل لهم؛ قوة الإعصار مخيفة ومدمرة.

الأعاصير البحرية (Hurricanes)

في المناطق المدارية المشبعة بالبخار. حيث ترفع الشمس درجة حرارة المحيطات. يكون انتقال الحرارة إلى الغلاف الجوّيّ عن طريق التّبخّر والتوصيل شاملًا. بحيث تكون حرارة كلّ من الهواء والماء متساوية تقريبًا. إنّ الرّطوبة العالية في هذا الجزء من العالم تؤدي إلى تطوّر السّحب الرّكاميّة والعواصف الرّعديّة بعد الظهر. معظم العواصف الفردية ليست حادة. ولكن العواصف الرّعديّة تصبح أحيانًا. جهازًا آليًّا. وتبدأ في السلوك كنظام واحد يسمى اضطراب المناطق المدارية. يكوّن الهواء الحار المرتفع منطقة وسطى ذات ضغط منخفض توجه المزيد من الهواء نحو وسط الاضطرابات باستمرار. يسير الهواء المتدفق على شكل لولب نحو الداخل بسبب قوة كوريوليس (الفصل 24). وإنْ لم تكسر هذه العاصفة المتصاعدة برياح المستوى العلوي. فإنّها قد تتطوّر إلى منخفض مداري. (سرعة الرياح أقلّ من 60 كم / ساعة). وقد سمّي كذلك بسبب وجود المنطقة الوسطى من الضّغط المنخفض. إذا زادت شدة العاصفة فإنها تتطوّر إلى عاصفة استوائية مع زيادة سرعة الرياح فوق 60 كم / ساعة. وإذا كانت الظروف مواتية فستتطوّر عاصفة أشد هي الإعصار. مع سرعة الرياح فوق 120 كم / ساعة. وتصل إلى ما يقرب من 300 كم / ساعة.

تكتسب الأعاصير الطاقة من الحرارة المتحررة من تكثيف المياه (الفصل 7). يُنتج التّكاثف كميات هائلة من الأمطار التي تكون مثالية للعواصف من هذا القبيل. تسخن الحرارة الهواء المحيط في المستوى العلوي. مما يتسبب في ارتفاعها. ومع ارتفاع هواء المستوى العلوي. يتم امتصاص الهواء السّطحيّ من الأعلى. وزيادة الضّغط المنخفض في الوسط؛ أي عين الإعصار.

لمعلوماتك

■ تشكل إعصار كاترينا في 23 من أغسطس 2005م. بالقرب من جزر البهاما. وضرب ساحل خليج المكسيك في الولايات المتحدة بعد ستة أيام. فأحدث دمارًا كبيرًا في نيو أورليانز. ولويزيانا. وساحل مسيسبي. ولكن مثل هذه العاصفة الكبيرة دمرت مناطق في الخليج الساحلي تصل إلى بُعد 160 كم من عين العاصفة. وقد قتل حوالي 1836 شخصًا نتيجة الإعصار والفيضانات التي تبعته. وكان الإعصار الأكثر دموية في الولايات المتحدة منذ إعصار كيشوبي عام 1928م. وكان مكلفًا أيضًا؛ أكثر من 100 بليون دولار لإصلاح دمار العاصفة وإزالة الأضرار. وما زالت بعض المناطق دون إصلاح. لقد كان أكبر كارثة مكلفة في تاريخ أمريكا.

الشّكل 20.25
صورة الأقمار الصناعية لإعصار كاترينا عام 2005
تبين الصورة سمة الإعصار وهي حُزم من الغيوم المكفهرة تدور حول عين الضّغط المنخفض من العاصفة.

إنّ الهواء الأفقيّ يتدفّق على شكل لولب عكس اتجاه عقارب الساعة (في نصف الكرة الشّماليّ) حول العين. إنّ الحُزم اللوبية من السّحب المكفهرة تعطي الإعصار مظهره المألوف. الشّكل (20.25).

يشكّل تدفّق الهواء الذي يحدث في عين الإعصار حلقة تغذية راجعة إيجابية. يحرر التّكاثف طاقة توجه الهواء الرطب نحو أعلى سطح المحيط. يبرد الهواء الرّطب، ويحدث تكاثف أكثر، وهذا يحرّر مزيدًا من الحرارة التي توجه المزيد من الهواء الرطب الدافئ إلى أعلى. تستمر هذه الدورة - محرك حرارة طبيعي – إلى أن تعترض رياح قوية علوية من خارج العاصفة نمط التدفق نحو الأعلى، أو يتحرك الإعصار البحري فوق اليابسة. عندما يسير الإعصار البحري على اليابسة يُحرم من مصدر الطاقة.

لمعلوماتك

■ نسمع كلام خبراء الأرصاد الجوّيّة حول التنبؤ بقولهم: قصير ومتوسط وطويل المدى. ماذا تعني هذه التنبؤات؟
يتوقع التنبؤ قصير المدى لليومين القادمين مع تفاصيل حول الحرارة والرياح والطّقس. أمّا المتوسط المدى فيتنبأ مسبقًا عن الطّقس ما بين 3 و 7 أيام، ولكن بتفاصيل أقلّ. في حين يتنبأ البعيد المدى لأكثر من سبعة أيام. في هذه التنبؤات يتم توقع أن يكون الطّقس أعلى من العادي أو أدنى منه.

■ 6.25 العنوان الرّئيس للنقاش

إنّ وظيفة خبراء الأرصاد الجوّيّة ذات أهمية بالغة وهي التنبؤ بالأعاصير البحرية وغيرها من العواصف. ومن مهام التنبؤ بالطّقس تحديدُ خصائص الهواء: كيفية تغيرها، وسبب هذا التغيّر، وفي أيّ اتجاه قد تتحرك الكتل الهوائيّة؛ لأنّ التنبؤ بالأعاصير البحرية والقمعيّة ينقذ حياة الأفراد. ولدى خبراء الأرصاد الجوّيّة سجل طويل ورائع من إنقاذ الأرواح البشرية والحدّ من الخسائر في الممتلكات.

يشمل التنبؤ بالطّقس بيانات كثيرة جدًّا من أنحاء العالم كلّه. وقبل ستينيّات القرن العشرين، جمعت معظم هذه البيانات، وحلّلت، ورسمت باليد على خرائط الطّقس. وقد احتاج ذلك إلى الآلاف من العمليات الحسابية، وعمل دؤوب لساعات طويلة. أما الآن، ومع وجود أجهزة الحاسوب، يمكن معالجة أعداد كبيرة من البيانات من أنحاء العالم جميعه في غضون دقائق. إنّ أجهزة الحاسوب تقوم بأكثر من مجرد تحليل البيانات التي يمكن أن تساعد على التنبؤ بالطّقس ورسمها؛ إنّها ترسم الخرائط للأحوال الجوّيّة المتوقعة التي يستخدمها المتنبئ كدليل للتنبؤ بالطّقس. ومع ذلك، فإنّ العديد من المتغيّرات كثيرًا ما تعيق التنبؤات الدقيقة. لذا لا تعتمد على غياب المطر في تنبؤاتك.

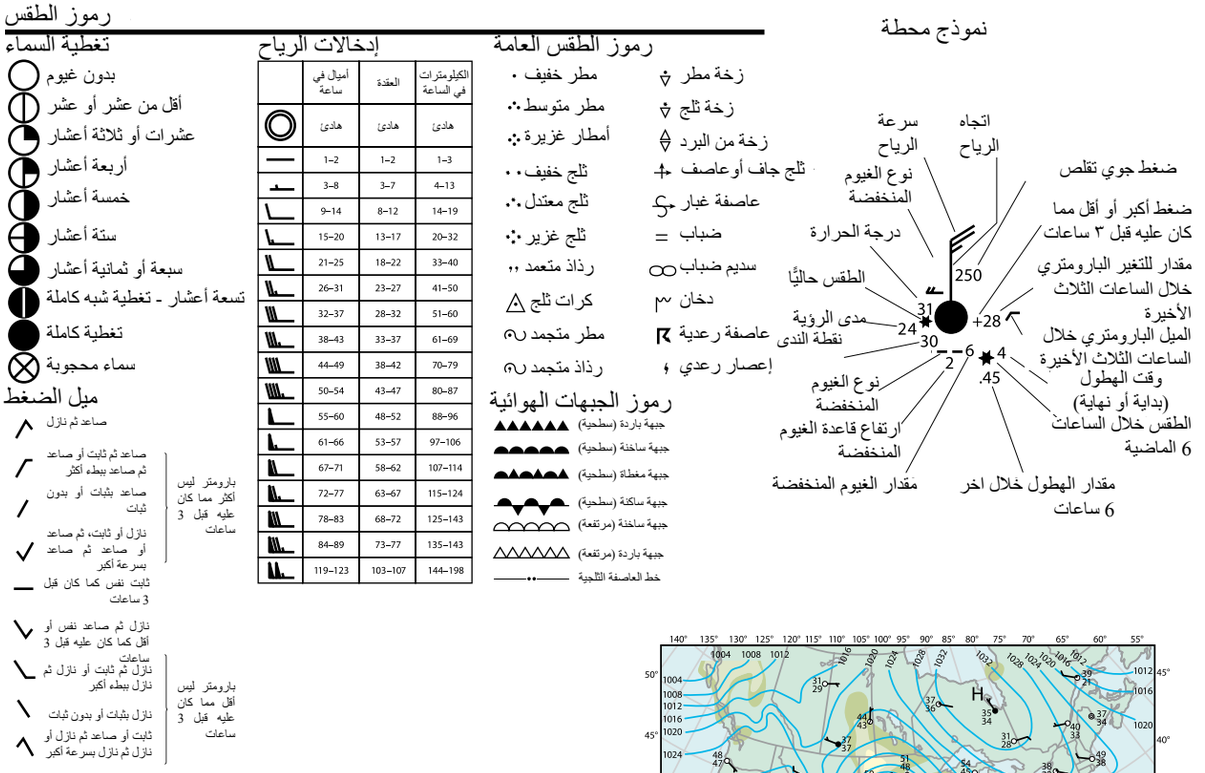
لمعلوماتك

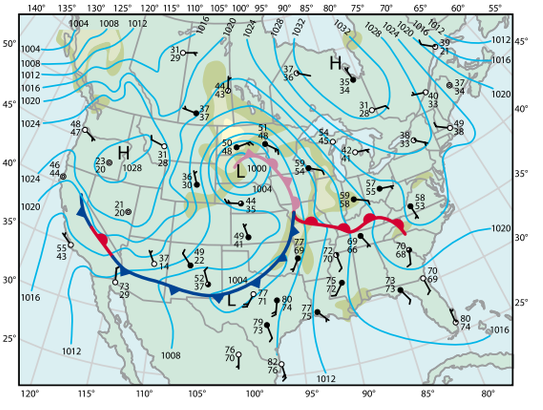
■ العواصف الدوارة والاضطرابات الناجمة عن النشاط الشّمسيّ تنتج "الطّقس الفضائيّ" بين الشمس والأرض. مشاعل الطاقة الشمسية، واندفاعات الكتل الإكليلية، والعواصف المغناطيسية لا تؤثّر في الأقمار الصناعية للأرض فقط، بل وفي بيئة سطح الأرض أيضًا. يعزى فشل نظام الاتصالات غالبًا، وانقطاع التيار الكهربائيّ والإضاءة إلى الأحوال الجوّيّة الفضائية. ومع زيادة استخدامنا للفضاء يجب أن تزداد قدرتنا على التنبؤ بالطّقس فيه.

خرائط الطّقس

تعدّ خريطة الطّقس، أو مخطط الطّقس الأداةَ الرئيسة للمتنبئ، وهي تمثيل لأنظمة الجبهات، وأنظمة الضّغط المنخفض والمرتفع في المناطق التي تعلو الأماكن المرسومة على الخريطة. إنّ الرموز على خريطة من هذا القبيل هي تدوين مختزل لتمثيل البيانات المجمعة من محطات المراقبة المختلفة. تسمّى الرموز رموز الطّقس. يقوم تدوين الاختزال هذا بتصنيف 18 نوعًا من البيانات في منطقة صغيرة تسمّى نموذج المحطة. إنّ الدائرة في المركز تصف المظهر الشامل للسماء. كما أنّ البروز من الدائرة هو سهم الرياح، وذيله في الاتجاه الذي تأتي منه الريح. في حين يشير الريش إلى سرعة الرياح. إن العناصر الخمسة عشر الأخرى في الطّقس هي في موقع معياري حول الدائرة.

خريطة الطّقس مغطاة بخطوط هي خطوط تساوي الضّغط *isobar* ، التي تربط بين نقاط الضّغط المتساوي. عندما يتحرك الهواء من مناطق الضّغط العالي إلى الضّغط المنخفض، فإنه يرتفع ويبرد والرّطوبة فيه تتكاثف إلى غيوم. على مقربة من المنخفض (*L* على الخريطة)، نرى غطاء سحابيًّا واسع النطاق. وبالقرب من المرتفع (*H* على الخريطة)، نرى السّماء صافية. في المناطق العالية الضّغط، ينزل الهواء ويبرد ذاتيًّا. ولأنّ نزول الهواء لا يكون غيومًا، فإنّنا نجد السّماء صافية والطّقس معتدلا. تمثّل الخطوط السميكة على خريطة الطّقس الجبهات. ولأنّ الجبهات عموما تعني تغييرًا في الطّقس، فهي ذات أهمية كبيرة على خرائط الطّقس.





تظهر خرائط الطّقس الظروف الجوّيّة. عندما يرتفع الهواء الدافئ، فإنه يتمدد ويبرد. وعندما يبرد، تتكاثف جزيئات بخار الماء لتشكيل الغيوم. ولأنّ الهواء يتحرك من مناطق الضّغط العالي إلى مناطق الضّغط المنخفض، فإنّ مناطق الضّغط المنخفض يرافقها غطاء من السّحب. وفي منطقة الضّغط العالي، يهبط الهواء عمومًا. ولأنّ الهواء النازل لا يكون الغيوم فإنّنا نجد السّماء صافية والطّقس معتدلا.

ملخّص المصطلحات

الرّطوبة: ***Humidity*** مقياس لتركيز بخار الماء في كتلة هواء أو مقداره؛ أي كتلة بخار الماء في وحدة الحجم من الهواء.

الرّطوبة النّسبيّة: ***Relative humidity*** كمية بخار الماء في الهواء على درجة حرارة معينة معبرًا عنها بنسبة مئوية لأكبر كمية من بخار الماء يمكن استيعابها في الهواء في درجة الحرارة تلك.

ضغط البخار المتشبّع: **Saturation vapor pressure** الحدّ الأقصى لمقدار الرّطوبة التي يمكن أن تُستوعب في الهواء عند درجة حرارة معينة، وهو الحدّ الأعلى للرطوبة.

أدياباتي: **Adiabatic** مصطلح يصف التّغيّر في درجة الحرارة عند غياب تحول (نقل) الحرارة؛ الهواء المتمدد يبرد والهواء المنضغط يسخن.

الانعكاس الحراري (انعكاس درجة الحرارة): **Temperature inversion** ظرف تكون فيه المناطق العليا من التروبوسفير أكثر حرارة من المناطق السفلى.

مستوى تكاثف الرّفع: **Lifting condensation level** الارتفاع الذي يصبح عنده الهواء المرتفع مشبعًا ومتكثفًا تبعًا لمعدّل التّبريد الذّاتيّ الجاف.

رفع تيارات الحمل (أو الرّفع الحملي): **Convectional lifting** نمط لدوران الهواء الناجم عن ارتفاع الهواء المسخن من سطح الأرض، في حين يهبط الهواء الأبرد العالي.

الرّفع الجبلي: **Orographic lifting** رفع كتلة هواء فوق حاجز طوبوغرافي مثل الجبل.

الجبهة: **Front** منطقة التماس بين كتلتين من الكتل الهوائيّة المختلفة.

الرّفع الجبهي: **Frontal lifting** رفع كتلة هوائية فوق أخرى بسبب التقائهما.

إعصار خطوط العرض الوسطى: **Midlatitude cyclone** أعاصير تتحرك من الغرب إلى الشرق مع منطقة وسطى ذات ضغط منخفض، يتطوّر حولها دوران عكس اتجاه عقارب الساعة (في نصف الكرة الشّماليّ)، والتي عادة ما تكون جبهة باردة وجبهة دافئة ؛ وعادة ما تكون جبهة قطبية.

أسئلة مراجعة

1.25 رطوبة الغلاف الجوّيّ

1. ميز بين الرّطوبة من جهة والرّطوبة النّسبيّة من جهة أخرى.
2. لِمَ لا تزداد الرّطوبة النّسبيّة في الليل؟
3. عندما تنخفض درجة حرارة الهواء، هل تزداد الرّطوبة النّسبيّة، أم تنخفض، أم تبقى كما هي؟
4. ما علاقة نقطة التّشبّع بنقطة الندى؟
5. ماذا يحدث لبخار الماء في الهواء المشبع عندما يبرد؟
6. ما العوامل المسببة للتّكاثف؟
7. عند أيّ درجات الحرارة يحدث التّكاثف بسهولة أكبر. المنخفضة أم المرتفعة؟ اشرح.
8. عندما يتكاثف بخار الماء إلى الماء السائل ، فهل تمتص طاقة أم تتحرر؟
9. ميّز بين التّكاثف وتساقط الأمطار.

2.25 متغيّرات الطّقس

10. اشرح لماذا يرتفع الهواء الدافئ ويبرد عند تمدده.
11. عندما يرتفع الهواء، هل يصبح أكثر حرارة، أم أكثر برودة، أم يبقى عند درجة الحرارة نفسها؟
12. ما العملية الأدياباتية؟
13. اذكر طريقتين على الأقل تزداد فيهما طاقة الهواء الحرارية.
14. اذكر طريقتين على الأقل تقل فيهما الطاقة الحرارية في الهواء.
15. ما انعكاس درجة الحرارة؟ استشهد بما لا يقل عن مثال مبينًا مكان نشوئه.
16. ماذا يحدث لضغط الهواء ودرجة حرارته عندما يتدفق مرتفعًا بجانب جبل؟

3.25 تطوّر الغيوم

17. اشرح كيفية تشكّل الغيوم.
18. سمّ شكل السّحابة فيما يلي: (أ) ظلّ ضبابيّ في فصل الشّتاء. (ب) سماء على شكل الماكريل. (ج) قطن عائم. (د) تساقط ثلوج.
19. سمّ المجموعة التي تنتمي إليها كلّ سحابة مما يلي: (أ) ألتوكويولاس. (ب) سيروستراتوس. (ج) نمبوستراتوس. (د) سحب ركاميّة.
20. أيّ السّحب الآتية أكثر احتمالًا لإنتاج المطر أو الثلج؟

أ. سيروستراتوس

ب. نيمبوسترتوس

ج. ألتوكوميولاس

د. ستراتوكوميولاس

21. أيّ مما يأتي تميزه الغيوم التي تتطوّر رأسيًّا: الهواء المستقر *stable* أم الهواء الثابت *stationary h* وغير المستقر، أم الجاف؟
22. أيّ أنواع الغيوم أكثر احتمالًا لأن تصبح مقدمة رعد؟

4.25 الكتل الهواء، والجبهات، والعواصف

23. اشرح الدور الذي يقوم به رفع تيارات الحمل في تشكيل الغيوم الرّكاميّة.
24. اشرح كيف يتم إنشاء دورة تيارات الحمل.
25. هل يتكوّن ظلّ المطر على الجانب المواجه للريح من سلسلة الجبال أم على الجانب غير المواجه لها؟ اشرح.
26. ما الفرق بين الجبهتين: الباردة والدافئة؟
27. ما الآليات الرئيسة الثلاث للرفع في الغلاف الجوّيّ؟
28. ما الظروف التي يحدث بوجودها تساقط الأمطار بسبب الرّفع الجبلي؟

5.25 الطّقس العنيف

29. كيف تحدث الحركة نحو الأسفل في العواصف الرّعديّة؟
30. صف بإيجاز تكوّن الرّعد والبرق.

تمارين

لا تقلق من عدد التمارين الكبير في هذا الفصل والفصول الأخرى. سيقوم معلمك بتعيين عدد قليل منها فقط.

1. ● ميز بين الطّقس والمُناخ.
2. ■ ما الكتلة الهوائية التي تنتج هطل الأمطار: الرطوبة المرتفعة أم الرطوبة النازلة، أم كلاهما؟
3. ■ لماذا تتشكّل الغيوم فوق قمم الجبال؟
4. ■ لماذا يحدث الضباب من هبوب الهواء الرطب الدافئ فوق الماء البارد؟
5. ● لماذا يتشكّل الندى على الأرض في ليالي الصّيف الصافية الهادئة؟
6. ● لماذا نشعر بأنّ يوما في يوليو في خليج المكسيك أكثر سخونة من يوم في يوليو في ولاية أريزونا، حتى عندما تكون درجات الحرارة هي نفسها؟
7. ■ هل تتوقع تبخر كوب من الماء بسرعة أكبر في يوم صيفيّ حار عاصف جاف أم في يوم شتويّ هادئ بارد جاف؟ دافع عن إجابتك.
8. ● لماذا تزداد درجة حرارة سطح الأرض في ليلة صافية وهادئة وغطاء السّحب المنخفضة تعبر السّماء؟
9. ♦ خلال زيارة قمتَ بها في الصّيف إلى كانكون في المكسيك، بقيتَ في غرفة مكيفة الهواء، استعددت للمغادرة صوب الشاطئ، وقد وضعتَ نظارتَك الشّمسيّة على عينيك. وفي اللحظة التي خطوت فيها خارج البيت، تشكّل ضباب على نظّارتك. لماذا؟
10. ♦ بعد يوم من التزلج في جبال روكي، قررتَ الذهاب نحو الداخل للحصول على كوب من الكاكاو الحار. وعندما دخلتَ امتلأتِ النظارة الطبية الخاصة بك بالضباب. لماذا؟
11. ● هل يمكن تغير درجة حرارة الجو إن لم تزدد الحرارة أو تنقص؟ اشرح.
12. ■ لماذا يجب على الكتلة الهوائيّة الارتفاع من أجل إنتاج تساقط للأمطار؟
13. ● مع تحرك كتلة هواء إلى أعلى منحدر لأحد الجبال ثم نحو أسفله، ماذا يحدث لدرجة حرارة الجو ومحتوى الرّطوبة؟
14. ● لماذا يحدث التّشبّع والتّكاثف في يوم بارد وليس في يوم حار؟
15. ● إذا كانت السّماء ملبدة بالغيوم والسّماء تمطر. فما نوع السّحابة فوقك: نمبوستراتوس أم كوميولونمبوس؟
16. ■ ما الفرق بين الندى والصقيع؟
17. ■ ما الذي يفسر المسافات الكبيرة من السّماء الزرقاء بين الغيوم الرّكاميّة؟
18. ● لِمَ لا تتشكّل السّحب الرّكاميّة في منطقة لا يوجد فيها تيار حمل للهواء؟

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

19. ■ أيّ أشكال السّحب يرتبط بالكتلة الهوائيّة المستقرة؟
20. ● ما شكل السّحابة المرتبط مع العواصف الرّعديّة؟
21. ■ ما العلاقة بين ضغط بخار التّشبّع والرّطوبة؟
22. ■ عند يكون معدّل التّكاثف أكبر من معدّل التّبخّر، ماذا يحدث للهواء؟
23. ● استشهد بما لا يقل عن أربعة أنواع من المعلومات اللازمة للتنبؤ بالطّقس.
24. ● تعتمد دقة التنبؤات الجوّيّة على بيانات كثيرة جدًّا، وآلاف من العمليات الحسابية. إذا قلّ عدد البيانات، فهل تقلّ الدقة أيضًا؟
25. ■ ما الفرق بين الأمطار المصاحبة لمرور جبهة حارة والأمطار المصاحبة لمرور جبهة باردة؟
26. ■ متى تحدث العملية الأدياباتية في الجو؟
27. ♦ كيف يمكن لطبقة من سحب ألتروستراتوس أن تتحوّل إلى ألتوكوميولاس؟
28. ♦ القارة القطبية الجنوبيّة مغطاة بالأنهار الجليدية والمسطحات الجليدية الكبيرة. هل يكون تساقط الثلوج في هذه القارة ثقيلًا أم خفيفًا؟ لماذا؟
29. ● كيف تسبب الجبهات تكوّن الغيوم وتساقط الأمطار؟
30. ● اشرح لماذا تكون الأمطار المتجمدة أكثر شيوعًا مع الجبهات الحارة وليس مع الجبهات الباردة؟
31. ■ ما الخطوات التي يجب حدوثها قبل تساقط الأمطار؟
32. ● بإيجاز، ما الجبهة المحتجبة؟
33. كيف تتشكّل صحراء ظلّ المطر؟
34. ■ يسخن الهواء النازل، ولكن التيارات المنحرفة نحو الأسفل في العاصفة الرّعديّة باردة. لماذا؟
35. ♦ تتشكّل الأعاصير القمعيّة في مناطق تيار صاعد قوي، ومع ذلك فإنها تنحدر من قاعدة سحابة. اشرح.
36. ■ تحدث الأعاصير في الساحل الشرقي للولايات المتحدة أكثر منها في الساحل الغربي. لماذا؟
37. ● لماذا تكون السّحب التي تتشكل فوق المياه أكثر كفاءة في إنتاج تساقط الأمطار من السّحب التي تتشكل فوق اليابسة؟
38. ■ ما مصدر الكمية الهائلة من الطاقة المتحررة من إعصار ما؟
39. ● ما المنطقة التي في الولايات المتحدة التي يحدث فيها أعلى نسبة من الأعاصير القمعيّة؟
40. ● في أيّ طبقة من الغلاف الجوّيّ تحدث لدينا الأحوال الجوّيّة جميعها؟

مسائل

ارجع إلى صندوق تصور العلوم الطبيعية صفحة 667 لحل التمرينين التاليين:

1 . ♦ في درجة 50 فهرنهايت، الحدّ الأقصى لبخار الماء في الهواء 9 جم/م^3. إذا كانت الرّطوبة النّسبيّة 40% ، فما كتلة بخار الماء في 1 م^3 من الهواء؟

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

2 . الرّطوبة النّسبيّة لهواء 50% والضّغط هو 1000 مليبار (*mb*). إذا ازداد الضّغط إلى 1053 مليبار دون تغيير في درجة الحرارة أو محتوى بخار الماء، فما الرّطوبة النّسبيّة؟ (مساعدة : استخدم قانون بويل في الفصل 5).

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة. وإنْ لم تستطع، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤالٍ مما يلي:

1. الهواء الذي يحوي أكبر قدر ممكن من بخار الماء عند درجة حرارة تلك الكتلة الهوائية:
أ. ذو رطوبة نسبية 100%.
ب. مشبع.
ج. معدّل تبخره يساوي معدّل تكاثفه.
د. كلّ ما ذكر
2. تكون الجبهة الحارة في معظم أعاصير خطوط العرض الوسطى:
(أ) وراء الجبهة الباردة، وإلى الغرب منها.
(ب) أمام الجبهة الباردة، وإلى الشرق منها.
(ج) تنتهي في وسط الضّغط العالي.
(د) تلتوي مرة أخرى إلى جبهة ثابتة.
3. تحدث العملية الأدياباتية عند:
(أ) تسخين الهواء من الإشعاع الشّمسيّ.
(ب) طرح الحرارة عن طريق التّبخّر.
(ج) تمدد الهواء وتبريده.
(د) تشكّل الغيوم.
4. عندما ينزل الهواء:
(أ) ينضغط وترتفع درجة حرارته.
(ب) يصل إلى مستوى توازن ثم يبدأ في الهبوط.
(ج) يتمدد ويبرد.
(د) يتشكّل إلى غيوم.
5. عندما تكون المناطق العليا من الغلاف الجوّيّ أكثر حرارة من المناطق الدنيا، يحدث:
(أ) رفع تيارات الحمل.
(ب) انعكاس الحرارة.
(ج) عدم الاستقرار المطلق.
(د) عملية أدياباتية.
6. من العوامل الرئيسة اللازمة لتساقط الأمطار حدوث:
(أ) التيار الصاعد في سحب كثيفة نسبيًّا.
(ب) معدّل تكاثف يتجاوز معدّل التّبخّر.
(ج) نوى التّكاثف.
(د) كلّ ما ذكر
7. للحصول على السّحب لا بدّ من رفع الهواء. إنّ آليات الرّفع الرئيسة هي:
(أ) الجبلي، وتيارات الحمل، والرّفع الجبهي.
(ب) القاري، والجبلي، والرّفع المحتجب.
(ج) الرّفع الكلامي، والرّفع المقوم، والرفع الوجهي.
(د) الرّفع الثابت، والرّفع المحتجب، ورفع التماس.
8. عندما تنخفض درجة حرارة الهواء، فإنّ الرّطوبة النّسبيّة:
(أ) تزداد.
(ب) تنقص.
(ج) تبقى كما هي.
(د) لا شيء مما ذكر
9. في نصف الكرة الشّماليّ، تدور الأعاصير البحرية والأعاصير القمعيّة في اتجاه ..... بسبب .....
(أ) عقارب الساعة ، قوة كوريولوس .
(ب) عكس عقارب الساعة، قوة كوريولوس .
(ج) عقارب الساعة، قوة سيكلوجين .
(د) عكس عقارب الساعة، قوة نشأة الإعصار.
10. عندما يكون الهواء مشبعًا، فإنّ معدّل التّكاثف يكون:
(أ) أكبر من التّبخّر
(ب) أقلّ من معدّل التّبخّر.
(ج) مساويًا لمعدّل التّبخّر.
(د) معتمدًا على درجة الحرارة.

إجابات إختبار الإستعداد للقراءة

10ج، 9ب، 8أ، 7ب، 6ب، 5أ، 4ج، 3ج، 2ب، 1ج

اكتشف المزيد

http://www.noaa.gov

توفر الصفحة الرئيسة لخدمة الطقس الوطنية معلومات مفصلة عن الطقس وتوقعاته. راجع الخرائط والصور واكتشف انماط الطقس وتوقعاته. راجع الخرائط والصور واكتشف انماط الطقس التاريخية. اطلع على الصفحة التربوية للحصول على روابط ممتازة مع أنشطة وأدوات تعليمية.

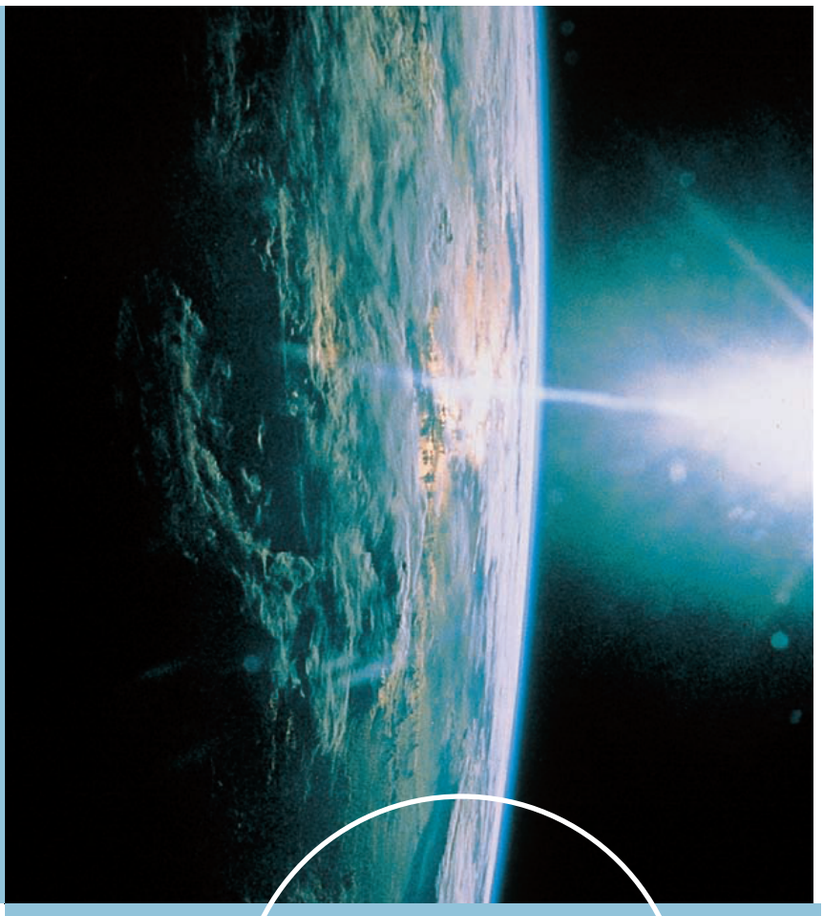
http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc/html

إذا كنت تبحث عن ملفات أو أرشيف متجددة عن بيانات الطقس حول العالم، عليك الدخول الى هذا الموقع. يحتوي الموقع على معلومات شاملة ولكنه يتطلب النقر على روابط متعددة قبل الحصول على البيانات.

الجزء الرابع

الفلك

لقد بدأنا كتابنا هذا *بالفيزياء* اليومية، ومن ثَمَّ انتقلنا إلى عالم *الكيمياء* دون المجهرية. وبعد ذلك قمنا بسبر *العلوم الأرضية* الكبيرة مقارنة بما سبق. والآن سنختم دراستنا الأولية هذه بدراسة لما يحيط بنا من هذا الكون الشاسع: النِّظام الشّمسيّ، والنّجوم، والمجرات، وحتى الكون نفسه. وسنتعلم، على سبيل المثال، عن القمر الذي يُرى في مراحل الكسوف المختلفة في الأسفل، وكيف يظهر بلون أحمر حول العالم عند مغيب الشّمس؛ فإلى دراسة *علم الفلك*.



النِّظام الشّمسيّ

26

1.26 النِّظام الشّمسيّ ونشأته

2.26 الشّمس

3.26 الكواكب الدّاخليّة

4.26 الكواكب الخارجيّة

5.26 قمر الأرض

6.26 الإخفاق في تكوين كوكب

■ قبل ما يربو على خمسة بلايين عام، لم يكن هناك شمس. ولكن جزء المجرة الذي أصبح لاحقًا النِّظام الشّمسيّ كان مكونًا من غيمة من الغاز والغبار على شكل دوامة تنتشر وتدور بهدوء. فكيف إذن تطورت هذه الغيمة إلى نظامنا الشّمسيّ الحالي؟ وكيف ولّدت الشّمس هذا الكمّ من الطّاقة؟ وفيم تتشابه بعض الكواكب؟ وفيم تختلف، وفيم تشكّل القمر وأصبح يبدو بأطوار مختلفة؟ ولماذا نشاهد وجهًا واحدًا فقط للقمر؟ وما الكسوف والخسوف؟ ولِمَ يحدثان نادرًا؟ وما الشهب والمذنبات والكويكبات؟ وكيف يتكرر تصادمها مع كوكبنا؟ ولماذا يكون ذنب المذنب في الاتجاه البعيد عن الشّمس؟

منذ آلاف السنين والإنسان يرقب السّماء ليلاً متفكرًا ومتسائلًا مثل هذه الأسئلة. ولقد مرت أجيال وأجيال مندهشة ومتسائلة عن مكاننا في هذا الكون. ولكن حديثًا، وحديثًا فقط، بدأنا نفهم ذلك. وسنبدأ برحلة في هذا الكون الفسيح مع التركيز على نظامنا الشّمسيّ، والذي يعدّ الحديقة الخلفية للأرض.

1.26 النِّظام الشّمسيّ ونشأته

يعدّ نظامنا الشّمسيّ تجمعًا لأجرام ترتبط جاذبيًّا بالشّمس. ويضم هذا النِّظام، بالإضافة إلى الشّمس، ثمانية **كواكب** ***(Planets)*** على الأقل، وهي أجرام كبيرة، وذات أحجام كتلية كبيرة كافية لجعلها كروية بسبب جاذبيتها، ولكنها صغيرة إلى درجة تجنبها الاندماج النووي في مراكزها. لقد قامت هذه الكواكب وبنجاح على تنظيف مسارات أفلاكها من الفتات حيث تقع كلّها في استواء واحد تقريبًا. يطلق على هذا المستوى اسم **دائرة البروج** ***(Ecliptic)***، ويعرّف بأنه مستوى مدار الأرض. يضمّ النِّظام الشّمسيّ العديد من الأقمار (أجرام تدور حول الكواكب)، والكويكبات (أجرام صخرية صغيرة)، والمذنبات (أجرام جليدية صغيرة) ومجموعة من الكواكب الصغيرة تعرف بالكواكب القزمة التي تدور عند الحافة الخارجيّة للنظام الشّمسيّ. وأشهر هذه الكواكب القزمة بلوتو الذي استثنى من الكواكب في عام 2006. وتعدّ هذه الكواكب والأجرام الأخرى جميعها صغيرة إذا ما قورنت بالشّمس. يبين الشّكل 1.26 أحجام هذه الكواكب مقارنة بحجم الشّمس، والتي تضم نحو 99.86% من كتلة النِّظام الشّمسيّ.

وحتى ندرك المسافات الهائلة بين الشّمس والأجرام التي تدور حولها، دعنا نتصور الشّمس بحجم كرة شاطئ كبيرة نصف قطرها متر واحد. سيكون حجم أقرب الكواكب إليها، وهو عطارد، بحجم بذرة تفاح تبعد 40 مترًا عنها. وسيكون حجم الكوكب التالي وهو الزّهرة بحجم حبة البازلاء، ويبعد عنها 80 مترًا. وسيكون حجم الأرض بحجم حبة البازلاء أيضًا، ولكنها تبعد عنها 110 أمتار؛ أي أطول من ملعب كرة القدم. أمّا حجم الكوكب التالي وهو المريخ فسيكون أكبر قليلًا من عطارد أي أنّه أكبر من بذرة التفاح، ويبعد عن كرة الشاطئ الممثلة للشمس ضعف طول ملعب كرة القدم.

تدعى هذه الكواكب الأربعة الأولى وهي: عطارد، والزّهرة، والأرض، والمريخ **الكواكبَ الدّاخليّة** ***(Inner Planets)*** بسبب قربها النسبي من الشّمس. إنّ هذه الكواكب الدّاخليّة جميعها صلبة وصخرية. أما الكواكب الخارجيّة فهي أكبر حجمًا وغازية، وتقع بعيدًا عن الشّمس. وأول هذه **الكواكب الخارجيّة** ***(Outer Planets)*** هو المشتري، والذي يعدّ وفق المقياس المذكور بحجم كرة البيسبول، ويبعد نصف كيلومتر. أما الكوكب الخارجي الثاني فهو زحل المشهور بحلقاته، وحجمه يعادل حجم كرة البيسبول، ويبعد أكثر من كيلومتر. في حين أنّ حجم كلّ من الكوكبين: أورانوس ونبتون بحجم كرة الطاولة، ويبعدان 2 و 3 كيلومترات على الترتيب. وهكذا نرى أنّ أجرام نظامنا الشّمسيّ ما هي إلا بُقع صغيرة في تخوم هذا الفراغ الكوني الواسع.

لقد اعتمد الفلكيون الوحدة الفلكية لقياس تلك المسافات؛ بسبب هذه المسافات الهائلة بين هذه الكواكب. فالوحدة الفلكية *Astronomical unit* (*AU*) تقدر بـ 1.5×10^8 كم، والتي تعادل 9.3×10^7 ميل، وهي تساوي المسافة بين الأرض والشّمس. يبين الجدول 1.26 المسافات بين الكواكب والشّمس بالوحدة الفلكية. كما يبين الجدول 1.26 أيضًا تقسيم هذه الكواكب إلى مجموعتين وصفاتها المتشابهة.

فالكواكب الدّاخليّة: عطارد، والزّهرة، والأرض، والمريخ صلبة وصغيرة نسبيًّا، وذات كثافة عالية. وتسمى

استطاع القدماء بيان الاختلاف بين الكواكب والنّجوم استنادًا إلى اختلاف حركتها في السّماء؛ فالنّجوم تبقى ثابتة تقريبًا في أماكنها في السّماء، في حين أنّ الكواكب تتجول فيها ؛ فكلمة (الكوكب) جاءت من الإغريقية والتي معناها النّجم المتجوّل.

الشّكل 1.26

يبين الشّكل ترتيب الكواكب وحجمها النسبي. فترتيبها من الأقرب من الشّمس إلى الأبعد كالتالي: عطارد، الزّهرة، الأرض، المريخ، المشتري، زحل، أورانوس ونبتون. وتختلف هذه الكواكب اختلافًا بيّنًا في أحجامها، ولكنها كلها أقزام بالنسبة إلى الشمس؛ تحوي أكثر من 99% من كتله النِّظام الشّمسيّ. لاحظ أنّ المسافات بين هذه الكواكب في الشّكل ليست وفق مقياس رسم.

الكواكب الأرضية. أما الكواكب الخارجيّة، فهي كبيرة، ولها العديد من الحلقات والأقمار، ومكونة مبدئيًّا من غازي الهيدروجين والهيليوم. وتدعى هذه المجموعة **كواكب المشتري** لأنّ أحجامها وتكوينها الغازي يشبه المشتري.

الجدول 1.26 معلومات عن الكواكب

	متوسط البعد عن الشّمس. (بعد الأرض =1 AU)	مدة الدوران (سنة)	القطر (كم)	متوسط الكتلة (الأرض=1)	متوسط الكتلة (كجم)	الكثافة (الأرض=1)	الكثافة (جم/سم^3)	الميل عن دائرة البروج
الشّمس			1392000	109,1	1.99×10^{30}	3.3×10^5	1.41	
الكواكب الأرضية								
عطارد	0.39	0.24	4880	0.38	3.3×10^{23}	0.06	5.4	7.0°
الزّهرة	0.72	0.62	12100	0.95	4.9×10^{24}	0.81	5.2	3.4°
الأرض	1.00	1.00	12760	1.00	6.0×10^{24}	1.00	5.5	0.0°
المريخ	1.52	1.88	6800	0.53	6.4×10^{23}	0.11	3.9	1.9°
الكواكب الجوفينية								
المشتري	5.2	11.86	142800	11.19	1.90×10^{27}	317.73	1.3	1.3°
زحل	9.54	29.46	120700	9.44	5.7×10^{26}	95.15	0.7	2.5°
أورانوس	19.18	84.0	50800	3.98	8.7×10^{25}	14.65	1.3	0.8°
نبتون	30.06	164.79	49600	3.81	1.0×10^{26}	17.23	1.7	1.8°
الكواكب القزمة								
بلوتو	39.44	247.70	2300	0.18	1.3×10^{22}	0.002	1.9	17°
إيريس	67.67	557	2400	0.19	1.6×10^{22}	0.002	1.9	44°

تمثيل العلوم الفيزيائية

■ مقياس النِّظام الشّمسيّ

تعدّ المسافات الكونية مفزعة للعقل. ولتصور أحجام الأجرام في النِّظام الشّمسيّ والمسافات بينها بشكل جيد، حاول تطبيق المسائل الآتية. استخدم معادلة المسافات التالية: المسافة= السرعة× الزمن والمعلومات من الجدول 1.26

السؤال 1

إذا كانت المسافة بين الأرض والقمر 384401 كم. فكم قطرًا للأرض يعادل ذلك؟

الحلّ: $30 \text{ L } \frac{38{,}401 \text{ km}}{12{,}760 \text{ km}}$

أي يمكن وضع نحو 30 كرة أرضية بين الأرض والقمر.

السؤال 2

كم من الوقت يمكن أن يستغرق قيادة سيارة من الأرض إلى القمر بسرعة 55 ميلاً/ ساعة؟ أعط الإجابة بالساعات والسنين.

الحلّ: المسافة= السرعة× الزمن ← الزمن = المسافة/السرعة

حول الوحدات إلى مترية.

1 كم/ ساعة= 0.62 ميل/ ساعة

(55ميل/ساعة)(1كم/0.62ميل)= 89كم/ ساعة

الزمن = 384,401كم ÷ 89 كم / ساعة = 4319 ساعة ÷ 24 ساعة ÷ 365 يوم ~ 0.5 سنة.

وهكذا تستغرق القيادة نحو نصف عام من الأرض إلى القمر بسرعة مفتوحة مقدارها 89كم/ ساعة.

السؤال 3

لو استطعت السفر إلى الشّمس بطائرة سرعتها 1000كم/ س، إليها كم سنة تحتاج لكي تصل إليها؟

الحل: الزمن=المسافة/السرعة

$=(10^8 X 1.5$ كم$) / (10^3 X 1$ كم/ساعة$)$

$=(10^5 X 1.5$ ساعة$)(1$يوم/24ساعة$)$

$(1$سنة/ 365 يوم$)=$ 17 سنة

وهكذا لو استطعت السفر إلى الشّمس بطائرة سرعتها 1000كم/س دون أن تتبخر فإنك ستحتاج إلى 17 سنة

السؤال 4

إذا كان قطر الشّمس 1390000 كم فكم يعادل ذلك بالوحدات الفلكية *AU*؟ وكم قطرًا للشمس تعادل المسافة بينها وبين الأرض؟

الحلّ:

1,39× 10 6كم× 108 ×1,5 ÷1*AU*

0,01 *AU* كجم

$$\frac{1\text{AU}}{0{,}010\text{AU}} = 100$$

وهكذا، فإنّ قطر الشّمس يعادل0,01 *AU* تقريبًا. وهكذا، فإنّ المسافة بين الأرض والشّمس هي حوالي 100 مرة قطر الشّمس. وبالمقارنة بكبر حجم الشّمس، فإنّ النِّظام الشّمسيّ يعدّ فضاء فارغًا نسبيًّا.

النّظريّة السّديميّة (Nebular Theory)

يعدّ النّظام الشّمسيّ شديد الانتظام لمجموعة من الأجرام، وبأنماط واضحة لتوزيع الكواكب. وأنّ هذا الانتظام لم ينشأ مصادفة، بل نشأ نتيجة عمليات فيزيائية ولدت النّظام الشّمسيّ. وهكذا، فإنّ الترتيب الملاحظ في النّظام الشّمسيّ فيه مفاتيح جيدة لطريقة تشكّله.

إنّ أيّ نظرية لتكون النّظام الشّمسيّ يجب أن تفسّر انتظامين رئيسين هما: (1) *الحركات المنتظمة لأجرام النّظام الشّمسيّ الكبيرة.* (2) *تقسيم الكواكب إلى قسمين رئيسين:* الأرضية والمشترية. وأكثر من ذلك، فإنّ أيّ نظرية لنشأة النّظام الشّمسيّ تكون قابلة للتطبيق، يجب أن تفسر الظواهر الأخرى لهذا النّظام بما فيها وجود الكويكبات والمذنبات والأقمار.

إنّ النّظريّة العلمية الحديثة التي تفي بهذه المتطلبات تسمى **النّظريّة السّديميّة**، والتي تفيد أنّ الشّمس والكواكب نشأت عن **سحابة *(Nebule)*** من الغاز والغبار (وهي كلمة لاتينية تعني الغيمة). ووفقًا لهذه النّظريّة، بدأ النّظام الشّمسيّ بالتكاثف من سحابة الغاز والغبار قبل نحو 5 بلايين سنة. ولقد كانت هذه السحابة تنتشر بشكل واسع، وبقطر يزيد آلاف المرات على قطر دوران بلوتو. ويمكن مشاهدة سحابة شبيهة في الوقت الحاضر في كوكب الجوزاء، كما يظهر في الشّكل 26. 2.

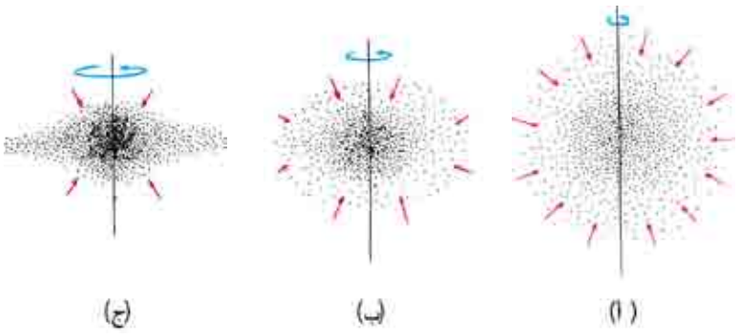
ومن السّديم الذي تشكّل فيه نظامنا الشّمسيّ، تغلّبت قوة الجاذبيّة للجزيئات على قابلية الغاز للانتشار وتعبئة الفضاء المتاح. وعندما بدأت عملية انهيار السحابة، ضمنت الجاذبية استمراريتها. إنّ قانون الجاذبيّة العام (الفصل الرابع) هو قانون مربع معكوس المسافة الذي يشير إلى أنّ قوة الجذب تزداد بشكل كبير كلما اقتربت الجسيمات بعضها من بعض. لقد حافظت السحابة على كتلة ثابتة بالانكماش والتقلص، ولقد زادت قوى الجذب بزيادة الكتلة وأخذت السحابة شكلًا كرويًّا.

ويجب أن يكون لهذه السحابة السّديمية دوران خالص خفيف، قد يكون بسبب دوران المجرة نفسها. وبعد ذلك، وفي أثناء ملايين السنين، وبانهيار المزيد من السّديم، ارتفعت درجة الحرارة، وأخذت تدور بسرعة أكبر، وأصبحت مسطحة آخذة شكل قرص. ونتيجة لذلك، تحول السّديم من غاز وغبار منتشر على شكل سحابة كروية كبيرة إلى قرص أصغر كثيرًا ذي مركز حار يدور حول نفسه، كما يظهر في الشّكل 26. 3.

ويزيد من الانكماش لهذا السّديم تحت تأثير الجاذبيّة، تحرر المزيد من الطّاقة بفعل تصادم الجسيمات، كما أدى هذا الانكماش أيضًا إلى زيادة سرعة الدوران حول نفسه (وفق مبدأ *حفظ العزم الزاوي* كما ورد في الفصل الثالث). وكما هو الحال في أيّ جسم منقبض يدور حول نفسه، فإنّ سرعته تزداد لأنّ الحركة الزاوية محفوظة. والمثال المعروف على ذلك هو الزلاجات الجليدية التي يزداد معدل سرعتها عندما تسحب أذرعها في اتجاه الداخل. وهكذا يعمل السّديم.

ماذا يحدث للشكل الكروي عندما يدور حول نفسه بسرعة كبيرة؟ الجواب: إنه يستوي. والمثال المألوف لذلك هو ما يعمله خباز البيتزا عندما يحول كرة العجين إلى قرص وهو يديرها بين يديه. فحتى كوكب الأرض تفلطح "استوى" قليلًا نتيجة دورانه اليومي حول محوره. أما زحل، حيث الدوران الأسرع، فقد تغير شكله الكروي بوضوح. وهكذا، فإنّ الشّكل المبدئي الكروي للسديم تحول تدريجيًّا بفعل الدوران إلى قرص تحتل مركزه *الشّمس الأولية*.

إنّ نشأة القرص الدوراني يفسّر الحركة الدورانية المنتظمة لنظامنا الشّمسيّ في الوقت الحاضر. فالكواكب كلّها تدور حول الشّمس في مستوى واحد تقريبًا؛ لأنها نشأت جميعها من القرص السّديمي المستوي نفسه.



الشّكل 3.26
(أ) السّديم الذي تشكّلت منه المجموعة الشّمسيّة التي كانت في الأصل سحابة كبيرة ومنتشرة وتدور بسرعة بطيئة. بدأت السحابة بالانهيار تحت تأثير الجاذبيّة. (ب) بانهيار السحابة، ارتفعت الحرارة حيث تحولت الطّاقة الكامنة للجاذبية إلى حرارة. وأصبح دورانها حول نفسها أسرع بفعل حفظ العزم الزاوي. (جـ) تسطحت السحابة على شكل قرص نتيجة الدوران السريع. هذا القرص المسطح الدائر حول نفسه تجمعت كتلته في مركزه الحار.

الشّكل 2.26
تبين هذه الصورة المأخوذة من مقراب هابل سديم الجوزاء الذي يشبه السّديم الذي نشأ منه النّظام الشّمسيّ، فهي سحابة بين نجمية من الغاز والغبار ومكان لولادة النجوم.

فالاتجاه الذي كان يدور فيه القرص السّديمي أصبح هو اتجاه دوران الشّمس ودوران الكواكب حولها. وهذا يفسر دوران معظم الكواكب حول نفسها في الاتجاه نفسه في وقتنا الحاضر.

■ **نقطة فحص**

كلما انكمش السّديم زادت سرعة دورانه حول نفسه. ما القاعدة الطبيعية التي تحكم ذلك؟

هل كانت هذه إجابتك؟

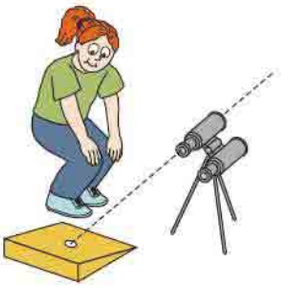
إنّ القاعدة التي تطبق على الأجرام التي تدور حول نفسها هي *العزم الزاوي*. وتعدّ هذه القاعدة إضافة إلى قاعدة *حفظ الطّاقة* من القواعد السائدة في الكون.

إنّ الجزء المركزي الحار من السّديم الشّمسيّ: لقد كانت الشّمس الأولية كتلة من الغاز والغبار تولّدت منها الشّمس عندما أشعل في جوفها الاندماج الحراري النووي. وكان القرص المحيط المصدر الذي نشأت عنه الكواكب الأخرى. ولقد تجمعت المواد من القرص الدوار في بقع كثيفة معينة أكثر منها في مواقع أخرى. ومن الممكن أن تكون الجزيئات الدقيقة للغاز والغبار قد التصقت معًا بفعل الجاذبيّة أو الجاذبيّة الكهربائية الساكنة. ونتيجة لزيادة كتلتها، فإنّ هذه التجمعات أعطت قوى جاذبية بعضها إلى بعض أقوى من القوى المؤثرة في جاراتها في القرص نفسه. وهكذا سحبت المزيد من المواد إليها. ولقد أدى ذلك إلى نمو هذه الأجرام إلى ما يعرف *بالكويكبات الصغيرة*، والتي تراوحت بين الجلاميد وعدة كيلومترات. ولقد نمت هذه الكويكبات الصغيرة بفعل تصادمها معًا إلى أن سيطرت جاذبيتها على ما حولها من مواد وأصبحت كواكب كاملة النمو.

لقد نمت الكويكبات الصغيرة إلى كواكب في الوقت نفسه تقريبًا الذي بدأت فيه الشّمس الأولية الاندماج النووي. (سنعود إلى حرارة الاندماج النووي للشمس في المقطع 2.26) فعندما حدث الاندماج النووي، وأخذت الشّمس بإشعاع الطّاقة، دفئ القرص السّديمي، وأصبحت حرارة الجزء الداخلي أعلى من الجزء الخارجي. ونتيجة لذلك، كان تطور الكواكب الدّاخليّة مختلفًا عن تطوّر الكواكب الخارجيّة: فالكواكب الدّاخليّة تكونت من المواد الصلبة المتبقية في درجات الحرارة العالية، ولذا أصبحت كواكب صخرية. وبخلاف ذلك، فإنّ الكواكب الخارجيّة تكونت في غازات الهيدروجين والهيليوم التي التأمت في المناطق الباردة من النّظام الشّمسيّ بعيدة عن الشّمس. وهكذا نرى أنّ النّظريّة السّديميّة تفسّر نشأة الكواكب وتقسيمها إلى مجموعتين مختلفتين.

■ 2.26 الشّمس

تنتج الشّمس الطّاقة من حرارة الاندماج النووي للهيدروجين، وتحوله إلى هيليوم: ففي كلّ ثانية يندمج نحو 657 مليون طن من الهيدروجين منتجًا 653 مليون طن من الهيليوم. ويتحول الفرق الضائع في الكتلة وهو 4 ملايين طن إلى طاقة تنفث على شكل إشعاعات. لقد بدأ هذا التحول من الهيدروجين إلى الهيليوم في الشّمس منذ نشأتها قبل 5 بلايين سنة تقريبًا، ويُتوقعُ له أن يستمر إلى خمسة بلايين سنة أخرى. يصل إلى الأرض جزء بسيط جدًّا من هذه الطّاقة الشّمسيّة. ويتحول بفعل التمثيل الضّوئيّ النباتيّ إلى طاقة كيميائية تخزن في الجزيئات الكبيرة. وتعدّ هذه الجزيئات الغنية بالطّاقة المصدر الأولي للطاقة للكائنات الحية جميعها في هذا الكوكب. وهكذا فإنّ الشّمس، وهي أقرب النّجوم للأرض، تعد مصدر الطّاقة للنّظام الشّمسيّ كلّه.



الشّكل 4.26
لا تنظر إلى الشّمس مباشرة على الإطلاق. وبدلًا من ذلك، تستطيع الحصول على منظر جميل لها بتركيز صورتها بالمنظار على سطح أبيض. فإذا كانت الشّمس مكسوفة بالقمر، وهذا حدث نادر، فإنّ الشّمس ترى على صورة هلال. وغالبًا ما تظهر صورة الشّمس بقعًا شمسية.

إنّ الطّاقة الشّمسيّة تتولد عميقًا في لبّ الشّمس الذي يشكّل نحو 10% من حجم الشّمس كاملاً. وهو حار جدًّا؛ حيث تزيد حرارته على 15 مليون درجة كلفن. وهو كثيف جدًّا؛ حيث تزيد كثافته على كثافة الرصاص الصلب بأكثر من 12 مرة. أما الضغط على هذا اللب فيعادل 340 بليون مرة الضغط الجوي للأرض! ونظرًا لهذه الظروف الشديدة، فإنّ الهيدروجين والهيليوم والكميات الصغيرة من العناصر الأخرى توجد على شكل بلازما. (البلازما هي طور من أطوار المادة ما بعد الغازية، وهي تتكون من أيونات وإلكترونات، وليس على شكل ذرات، حيث تجرد الذرات من إلكتروناتها بفعل الطّاقة العالية). تتحرك نوى هذه البلازما بسرعة عالية وكافية لحدوث الاندماج النووي، كما ذكر في الفصل 13 - 7. وترتفع الطّاقة المحررة نتيجة هذا الاندماج النووي إلى السطح حيث تؤدي بالغازات إلى إطلاق أطياف واسعة من الإشعاعات الكهرومغناطيسية من تحت الحمراء إلى الأشعة السّينيّة.

الشّكل 5.26
البقع الشّمسيّة على سطح الشّمس مناطق باردة نسبيًّا، ونقول نسبيًّا لأنّ حرارتها تزيد على 4000 كلفن. وتبدو سوداء بخلاف ما يحيط بها، والذي تبلغ حرارته 5800 كلفن.

إنّ سطح الشّمس طبقة متوهجة درجة حرارتها 5800 كلفن مكونة من البلازما. وهذه أبرد كثيرًا من لبّ الشّمس، ولكنها حارة بما يكفي لتوليد الكثير من الضوء. تسمى هذه الطبقة الغلاف الضوئي والتي يقارب سمكها 500 كم. يوجد في الغلاف الضوئي مناطق باردة نسبيًّا تظهر على شكل **بقع شمسيّة *(Sunspots)*** عندما ترى من الأرض. وتكون هذه البقع الشّمسيّة أبرد وأشدّ عَتَمَة من بقية الغلاف الضوئيّ وتتكوّن بفعل الحقل المغناطيسي الذي يعترض الغازات الحارة عند صعودها إلى السطح. وكما يبدو في الشّكل 26. 4، يمكن مشاهدة البقع الشّمسيّة بتركيز صورة الشّمس بالمقراب أو المنظار على سطح أبيض مستو. تبلغ البقع الشّمسيّة هذه ضعف حجم الأرض، وهي متحركة بفعل دوران الشّمس حول نفسها، وتستمر مدة أسبوع تقريبًا. وغالبًا ما تتجمع على شكل مجموعات، كما يظهر في الشّكل 26. 5.

تدور الشّمس ببطء حول محورها. وبما أنّ الشّمس مائعة وغير صلبة، فإنّ المناطق المختلفة من عروضها تدور بسرعات مختلفة؛ فالمناطق الاستوائية تدور مرة واحدة كلّ 25 يومًا. في حين تدور في العروض الأعلى حتى 36 يومًا لتكمل دورة واحدة. وهذا الاختلاف في الدوران التفاضلي يعني أنّ سطحها عند خط الاستواء يسبق السطح إلى الشمال أو الجنوب. يؤدي اختلاف دوران الشّمس حول نفسها إلى طيّ الحقل المغناطيسي الشّمسيّ الذي يندفع مكونًا البقع الشّمسيّة، المذكورة سابقًا، وتحريفه وتشوّهه. وينعكس القطبان المغناطيسيان مرة كلّ 11 سنة. كما يبلغ عدد البقع الشّمسيّة حدّه الأعلى أيضًا كلّ 11 سنة. إذن فالدورة الكاملة للنشاط الشّمسيّ هي 22 سنة.

الشّكل 6.26
يمكن أن يرى الغلاف الزهري الملون عندما يحجب القمر معظم ضوء الغلاف الضوئي عند كسوف الشّمس.

يعلو طبقةَ الغلاف الضّوئيّ (*Photosphere*) غلافٌ شفافٌ سمكه 10,000كم يسمى الغلاف الملون (*Chromosphere*) الذي يمكن مشاهدته في حالة الكسوف بتوهج زهري اللون يحيط بالشّمس المكسوفة. إنّ الغلاف الملون أسخن من الغلاف الضوئيّ، حيث تصل درجة حرارته إلى 10,000 كلفن. وينتج لونه الزهري الجميل، الموضح في الشّكل 6.26، بسبب انبعاث الضوء من ذرات الهيدروجين.بعد الغلاف الملون، توجد جداول وخيوط متحركة إلى الخارج ذات حرارة عالية من البلازما منعطفة بفعل الحقل المغناطيسي الشّمسيّ. ويسمى هذا الجزءُ الخارجي للغلاف الجوي للشمس الإكليلَ(*Corona*)، والذي يمتد إلى الخارج عدة ملايين من الكيلومترات (الشّكل 26. 7).

ودرجة حرارة الإكليل مرتفعة جدًّا، قد تصل إلى مليون درجة كلفن. وتتولد فيه معظم الأشعة السينية الجبارة. وبما أنّ الإكليل ليس كثيفًا جدًّا، فإنّ سطوعه ليس شديدًا كسطح الشّمس، والذي يجعل الإكليل آمنا عند رصده خلال الكسوف الكلي للشمس، وخلال هذا الوقت فقط. إنّ السرعة الكبيرة للبروتونات والإلكترونات يلقى بها خارج الإكليل لتولد *الرّياح الشّمسيّة* . والتي تقوي الشفق القطبي *aurora* على الأرض، وتولد الذيول في المذنبات.

الشّكل 7.26
يشاهد الإكليل الأبيض اللؤلئي فقط عند كسوف الشّمس. لاحظ كيف أنّ هذه الصورة الاستثنائية للإكليل، والتي أوضحت جزءًا من الغلاف الملون الزهري وجزءًا من وجه القمر الجديد تضاء بإنارة خافتة بفعل الضوء المنعكس عن الأرض بشكلها الكامل. وبعبارة أخرى، لو كنت واقفًا على سطح القمر عندما التقطت هذه الصورة، فإنك سترى ظلك خافتًا بفعل الإضاءة الكاملة للأرض المشرقة من فوقك.

■ **نقطة فحص**

1. هل كانت كتلة الشّمس أكبر من اليوم قبل نحو 1000 سنة؟ دافع عن إجابتك.
2. ما الأقل سمكًا: الغلاف الضوئيّ، أم الغلاف الملون، أم الإكليل؟ أيها أعلى حرارة؟ ما الأوسط منها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. نعم، أكبر قليلًا مقارنة بكتلتها الكبيرة في الوقت الحاضر. فالشّمس تفقد قليلًا من كتلتها عندما تندمج نوى الهيدروجين لإعطاء نوى هيليوم.
2. الغلاف الضوئيّ هو الأقلّ سمكًا. والإكليل هو الأعلى حرارة. الغلاف اللوني هو الطبقة الزهرية التي تعلو الغلاف الضوئيّ وتقع أسفل الإكليل الضخم.

لمعلوماتك

■ يتكون الأسبوع من سبعة أيام؛ لأنّ الأوربيين القدماء قرروا تسمية الأيام نسبة إلى الأجرام السماوية المتجولة السبعة التي أمكن رصدها. فأسماء الأيام بالإنجليزية اشتقت من لغة قبيلة التيوتونك الجرمانية التي عاشت فيما يعرف اليوم بألمانيا. فبلغة التيوتونك:
الشّمس *Sunday=sun*، الأحد، القمر *Monday=moon*، الاثنين، المريخ، الثلاثاء *Tuesday=twin-mars*، الأربعاء، عطارد *Wednesday=woden-mercu-ry* المشتري *Thursday=thor-jupiter* الخميس، الزّهرة *Friday=fria-venus* الجمعة، وزحل *Saturday=sturn* الأحد.

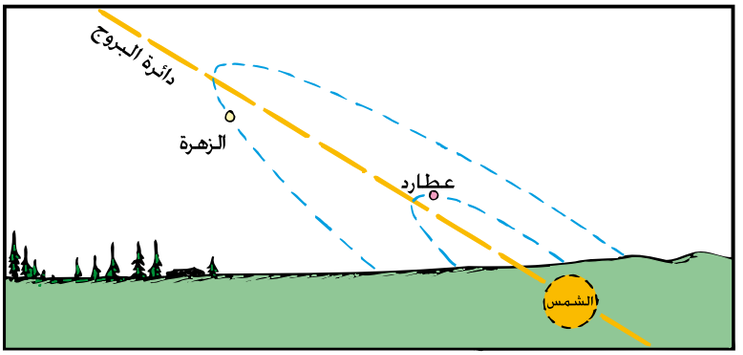
■3.26 الكواكب الدّاخليّة

مقارنة بالكواكب الخارجيّة، فإنّ الكواكب الدّاخليّة الأربعة والأقرب إلى الشّمس هي الأقرب بعضها إلى بعض أيضًا. وكل واحد من هذه الكواكب الصخرية يحتوي على معادن تكوّن القشرة الصلبة له.

عطارد (Mercury)

يعدّ عطارد، وكما يبدو من الشّكل 26. 8، أكبر قليلًا من قمر الأرض، ويشبهه إلى حدّ بعيد في المظهر. إنه أقرب الكواكب إلى الشّمس. وبسبب قربه منها، فهو الكوكب الأسرع، حيث يدور حول الشّمس في 88 يومًا من أيام الأرض التي تساوي سنته. يدور عطارد حول نفسه ثلاث مرات في أثناء دورتين كاملتين له حول الشّمس. وهذا يجعل يومه طويلاً جدًّا وحارًّا جدًّا، حيث تصل حرارته إلى 430°س. وبسبب حجم عطارد الصغير وضعف جاذبيته، فإنّ له كمية صغيرة جدًّا من الغلاف الجوي.

الشّكل 8.26
هذه الصورة فسيفسائية لعطارد تم الحصول عليها من قبل سفينة مارنر 10 في مهمتها خلال السنتين 1975 - 1974. المناطق التي لا تتوافر لها بيانات موضحة بالأبيض .
عطارد مشوه بسبب التصادمات مع النيازك عطارد كوكب صغير بحجم وكتلة 5% من حجم وكتلة الأرض.



الشّكل 9.26
بما أنّ دورتي عطارد والزّهرة تقعان داخل دورة الأرض حول الشّمس، فهما دائمًا تقعان أقرب إلى الشّمس في سمائنا. وعند الغروب أو الشروق يشاهدان كنجوم الغروب أو كنجوم الشروق

فغلافه الجوي يعادل فقط واحد على تريليون من كثافة الغلاف الجوي للأرض. فهو مفرغ من الهواء أكثر مما يمكن الحصول عليه في المختبرات على سطح الأرض. وهكذا فمن الغطاء من الغلاف الجوي، ولعدم وجود الرياح التي تنقل الحرارة من منطقة إلى أخرى، فإنّ ليل عطارد بارد جدًّا حيث يصل إلى 170-°س. يظهر عطارد جسمًا لامعًا قليلًا في الليل، ويشاهد بصورة أفضل كنجم في مساء شهري مارس وأبريل، أو نجم صباحي في سبتمبر وأكتوبر. إنّه يشاهد بجانب الشّمس عند الشروق أو الغروب مباشرة.

الزّهرة (Venus)

إنّ كوكب الزّهرة هو الكوكب الثاني بُعدًا عن الشّمس، والذي يظهر كجسم أشبه بالنجم بعد مغيب الشّمس. ولهذا يدعى غالبًا "نجمة المساء" كما يبدو في الشّكل 26. 9. وبالمقارنة مع الكواكب الأخرى، فإنّ كوكب الزّهرة هو الأقرب شبهًا للأرض من حيث الحجم والكثافة والبُعْد عن الشّمس. ومع ذلك، وكما يبدو من الشّكل 26. 10، فإنّ الغلاف الجوي للزهرة كثيف. ويحتوي غطاء من الغيوم المعتمة التي تؤدي إلى ارتفاع حرارة سطحه حتى 470°س. يتكوّن الغلاف الجوي للزهرة بشكل رئيس من ثاني أكسيد الكربون الذي يشكّل 96% . وعلينا ألا ننسى من الفصل 24 أنّ ثاني أكسيد الكربون هو أحد غازات الدفيئة. وهذا يعني أنّ ثاني أكسيد الكربون يمنع الأشعة تحت الحمراء من الهروب من سطح الأرض إلى الفضاء الخارجي، ويسهم في رفع حرارته. ويحشر الغطاءُ السميك من ثاني أكسيد الكربون الذي يحيط بالزّهرة الحرارةَ على سطحه بفاعلية. إنّ هذا السبب، بالإضافة إلى قرب الزّهرة من الشّمس، يجعل هذا الكوكب أكثر الكواكب حرارة في النّظام الشّمسيّ.

وهناك فرق آخر بين الزّهرة والأرض في كيفية دوران كلّ منهما حول نفسه؛ فكوكب الزّهرة يستغرق 243 يومًا من أيام الأرض ليدور دورة كاملة حول نفسه. في حين يستغرق 225 يومًا من أيام الأرض ليدور دورة كاملة حول الشّمس. كما أنه يدور في اتجاه معاكس لدوران الأرض.

وهكذا فالشّمس على الزّهرة تشرق من الغرب وتغيب في الشرق. ولكن بما أن غلاف الغيوم كثيف جدًّا، فإن شروق شمسه أو غروبها لا يرى من سطحه على الإطلاق.

إنّ الدوران البطيء لكوكب الزهرة حول نفسه يعني أنّ غلافه الجوي ليس موزعًا بحسب ظاهرة كوريولوس التي وردت في الفصل 24. ونتيجة لذلك، فإنّ الرّياح والطقس على سطحه قليلة جدًّا. وبدلًا من ذلك، فإنّ الغاز الحار الكثيف الخانق موجود ليلاً ونهارًا.

لقد هبط في السنوات الأخيرة 17 مجسًّا على سطح الزّهرة. ومر بجانبه 18 مركبة فضائية (بشكل ملحوظ *Pioneer Veuns* عام 1978م ومجلان 1993م). ومن بيانات السفن الفضائية، استطاع العلماء معرفة سبب اختلاف الغلاف الجوي بين كلّ من الزهرة والأرض. ووفق النموذج الأكثر قبولا فإنّ كمية المياه كانت متساوية بينهما عندما تكوّنا. وعلى أي حال، فالزّهرة أقرب قليلًا للشمس. كما أنها تدور حول نفسها بسرعة أقلّ كثيرًا من سرعة الأرض. هذان العاملان يسهمان في جعل سطح الزّهرة المقابل للشمس أدفأ كثيرًا من الأرض. وبزيارة دفء كوكب الزّهرة، فإنّ معظم مائه قد تبخر إلى غلافه الجوي. وكما هو الحال في ثاني أكسيد الكربون، فإنّ بخار الماء هو غاز دفيئة أيضًا.

الشّكل 10.26
هذه الصورة لكوكب الزهرة، والتي التقطت من قبل رواد ناسا NASA'S Poiner Venus Orbiter بكاميرات حساسة للضوء فوق البنفسجي، تبين الكثير من مظاهر الغيوم للكوكب.

لمعلوماتك

■ اعتمد الأمريكيون القدماء في حياتهم على ثلاثة تقاويم. فلقد كان تقويمهم الدنيوي اللاديني والذي يرشدهم إلى موعد البذار مثلاً يقوم على دوران الأرض حول الشّمس كلّ 365 يومًا. أما تقويمهم الديني فيستند إلى دوران الزّهرة حول الشّمس كلّ 260 يومًا والذي أعطاهم تقويمًا بواقع 20 يومًا للأسبوع و 13 يومًا للشهر. فكل من هذين التقويمين كان دوريًّا ولم يأخذ في الحسبان السنوات اللاحقة. ولهذا السبب، طوروا تقويم الحساب الطويل باستخدام مفهوم الصفر. لقد قاموا بذلك قبل عدة قرون من استخدام الهنود لهذا المفهوم.

لذا، فإنّ تبخر المزيد من المياه إلى الغلاف الجوي سبَّب مزيدًا من الدفء، والذي أدى بدوره إلى المزيد من تبخر المحيطات مسببًا المزيد من الدفء مرة أخرى، مما أدّى إلى الاحترار الشامل! لقد احتوت محيطات الزّهرة المبكرة على كميات كبيرة من الكربونات الذائبة كما الحال بالنسبة إلى الأرض. وعندما تبخرت المحيطات، تحولت هذه الكربونات إلى ثاني أكسيد الكربون، وانتقلت إلى الغلاف الجوي مؤدية إلى زيادة في دور الدفيئة. لقد تعرض بخار الماء في المراحل المبكرة للغلاف الجوي للزهرة إلى الأشعة فوق البنفسجية للشمس، والتي أدت إلى تكسير الماء إلى مكوّنَيْه: الأكسجين والهيدروجين. ولقد انطلق الهيدروجين إلى الفضاء الخارجي، في حين تفاعل الأكسجين كيميائيًّا مع المعادن السّطحية. وأخيرًا، انتهى تزويد الكوكب بالمياه إلى حيث لا رجعة أبدًا. فكلّ هذه البقايا وكما نراها اليوم عبارة عن غلاف جوي سميك من غاز الدفيئة ألا وهو ثاني أكسيد الكربون.

لمعلوماتك

■ لم يتسرب ماء الزّهرة كلّه إلى الفضاء الخارجي، بل تفاعل جزء منه مع ثاني أكسيد الكبريت المولد من البراكين معطيًا حامض الكبريتيك، والذي يزركش الآن المستويات العليا من الغلاف الجوي للزهرة، والذي يقف كذلك وراء هذا التفاعل مع ثاني أكسيد الكبريت وبشكل رئيس الماء الذي يحتوي على نظائر الهيدروجين الثقيلة، والتي تعرف بالديتيريوم. ولقد أثبت ذلك بالقياس المباشر بالمجسمات الفضائية التي بينت نسبة الديتيريوم المرتفعة بشكل غير عادي. وهذا بدوره عزز النّظريّة التي تقول إنّ مياه الزّهرة فقدت بالانبعاث بفعل الدفيئة، ولو لم يحدث ذلك، لكانت نسبة الديتيريوم في غلاف الزّهرة الجوي تشبه تلك الموجودة على الأرض.

■ **نقطة فحص**

كلما زاد عمر الشّمس، زادت حرارتها. كيف يؤثر ذلك في كمية بخار الماء في غلافنا الجوي؟

هل كانت هذه إجابتك؟

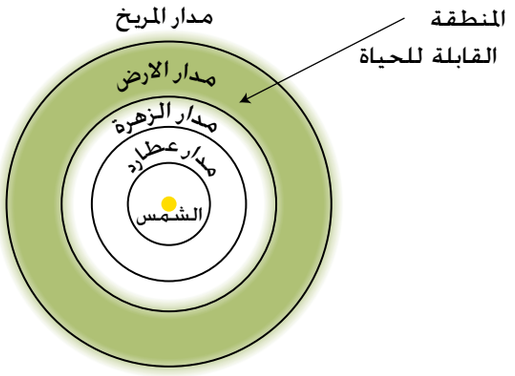
مبدئيًّا، زيادة الحرارة من الشّمس تزيد معدل التبخر من البحار، وزيادة بخار الماء في الغلاف الجوي تؤدي إلى تعزيز دور الدفيئة، مما يؤدي إلى ارتفاع الحرارة، والذي سيؤدي بدوره إلى مزيد من التبخر ... وهكذا. وكلما اختفت المحيطات، زادت مستويات ثاني أكسيد الكربون بشكل مثير، مؤكدة على أنّ أثر الدفيئة يبقي الماء في حالة تبخر.

وعلى كل حال، فإنّ الأشعة فوق البنفسجية من الشّمس ستؤدي إلى نفاد الماء من الغلاف الجوي. وهكذا، فكلما ارتفعت حرارة الشّمس انخفضت كمية بخار الماء في الغلاف الجوي إلى الصفر. وسوف نشارك الزّهرة هذه الظاهرة، ولكن بإمكانك أن تتنفس الصعداء عندما تعلم أن هذا الأمر سيحتاج إلى نحو بليون سنة.

الأرض (Earth)

يقع كوكب الأرض، وهو موطننا الذي نعيش عليه، في النطاق القابل للحياة في النّظام الشّمسيّ، حيث إنه المكان الذي ليس قريبًا جدًّا من الشّمس ولا بعيدًا جدًّا عنها. لذا، فهو يحتوي على الماء الذي يكون على الغالب في طوره السائل كما يبدو في الشّكل 26. 11. هناك تزويد غزير من المياه السائلة للأرض حيث يغطي نحو 70% من سطحها بالماء، والذي جعل هذا الكوكب أزرق اللون مما أدى إلى تسميته الكوكب الأزرق.

الشّكل 11.26
تقع الأرض في الجانب الداخلي لنطاق الاستيطان، حيث الظروف مناسبة للحياة كما نعرفها.



تدعم المحيطات *دورة ثاني أكسيد الكربون* على الأرض، والتي تعمل كمنظم للحرارة، مما يمنع درجة حرارة الكوكب من الوصول إلى حدود الجفاف. فمثلًا، لو تجمدت الكرة الأرضية بالكامل، فإنّ ثاني أكسيد الكربون المنبعث من البراكين لا يمتصّ أبدًا من قبل المحيطات. وبالعكس من ذلك، لو تزايدت حرارة الأرض أكثر فأكثر، فإنّ المزيد من الماء سيتبخر. وسيؤدي ذلك إلى مزيد من الأمطار التي ستزيل ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي.

وبانخفاض ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي، فإنّ أثر الدفيئة سينخفض إلى حده الأدنى، وستبرد الأرض. وهكذا، فنحن لسنا محظوظين على سطح الأرض ببعدنا المناسب عن الشّمس فحسب، ولكن أيضًا احتواء غلافنا الجوي كميات مناسبة من الماء وثاني أكسيد الكربون تحافظ على الحرارة ضمن معدلاتها المفضلة للحياة. بل وأكثر من ذلك، فإنّ معدل دوران الأرض اليومي والسريع نسبيًّا يسمح بانخفاض قليل لدرجة الحرارة في الجانب الليلي للأرض. وهكذا، فإنّ الحدود القصوى لدرجات الحرارة ليلاً ونهارًا تبقى معتدلة.

ولمزيد من المعلومات عن الجيولوجيا والطقس وتاريخ كوكب الأرض، راجع الفصول 20-25 التي تتناول علوم الأرض.

■ **نقطة فحص**

لو حُميَ كوكب الزّهرة بواسطة دورة ثاني أكسيد الكربون في يوم ما، فما الخطأ الذي قد يكون حدث؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إن دورة ثاني أكسيد الكربون بحاجة إلى ماء. لذا، فإنّها تتكسّر عندما يتفكك الماء بفعل الأشعة فوق البنفسجية.

المريخ (Mars)

لقد جذب المريخ الانتباه في رغبة أن يكون عالمًا آخر، بل عالمًا قابلًا للعيش لأنّه يقع على الحافة الخارجيّة لنطاق الاستيطان. يبلغ حجم المريخ أكثر قليلًا من نصف حجم الأرض؛ فكتلته تعادل تُسْعَ كتلة الأرض تقريبا. وله لبّ، وستار، وقشرة، وغلاف جوي رقيق، وبلا غيوم تقريبًا. وللمريخ أقطاب مغطاة بالجليد. وأطوال فصوله ضعف أطوال فصول الأرض؛ لأنّ المريخ يستغرق نحو سنتين من سني الأرض ليدور حول الشّمس. يدور كلّ من المريخ والأرض حول المحور بالمعدل نفسه تقريبًا. وهذا يعني أنّ لهما طول اليوم نفسه تقريبًا.

عندما يكون المريخ أقرب ما يمكن إلى الأرض، وهذا ما يحدث كلّ 15 - 17 سنة، فإنّ سطوعه ولونه المتورّد يفوق أكثر النّجوم تألقًا.

يتكون الغلاف الجوي للمريخ من 95% ثاني أكسيد الكربون تقريبًا، ونحو 0,15% من الأكسجين. وبما أنّ هذا الغلاف الجوي رقيق نسبيًّا أيضًا، فإنه لا يحتبس الحرارة من خلال الدفيئة كما يقوم به الغلاف الجوي لكلّ من الأرض والزّهرة. ولهذا، فإنّ حرارة المريخ عادة ما تكون أقلّ من حرارة الأرض؛ حيث يتراوح ما بين 30° س في النهار على خط الاستواء إلى 130- ° س في الليل المتجمد. ولو تمكنت من زيارة المريخ يومًا ما، فلست بحاجة إلى سترة مطرية؛ لأنّ بخار الماء قليل جدًّا في غلافه الجويّ، وهو بعيد عن إمكانية حدوث أمطار. حتى إنّ الجليد القطبيّ على قطبيه يتكوّن مبدئيًّا من ثاني أكسيد الكربون. كما أنّك لست بحاجة إلى حذاء واقٍ من الماء؛ لأنّ الضغط المنخفض لغلافه الجوي لا يسمح بوجود برك أو بحيرات.

إنّ وضع المريخ يدلّ على أنّ الماء كان موجودًا بوفرة في ماضيه البعيد. فالقنوات على سطح المريخ التي يبدو أنها نُحتت بالمياه، تشاهد من السّفن الفضائية التي تدور حول هذا الكوكب. ولكن عند الهبوط عليه، يبدو جافا جدًّا، وذا رياح عاصفة. وبما أنّ كثافة غلافه الجوي قليلة، فإنّ الحرارة الموزعة بشكل غير متساو تعطي رياحًا أسرع عشر مرات من تلك التي على سطح الأرض.

في عام 2004م، اكتشفت إحدى سفن الفضاء التي دارت حوله دلالات على وجود غاز الميثان في غلافه الجوي. وهذا غير عاديّ؛ لأنّ الميثان يتحلل سريعًا. وهذا يدلّ على أنّ هذا المركب ينتج في الوقت الحاضر.

الشّكل 12.26
الأرض؛ الكوكب الأزرق. التقط هذه الصورة رواد *أبوللو 17* عندما عادوا من آخر بعثة مأهولة للقمر عام 1972م. إنها الصورة الوحيدة الموجودة للأرض بشكلها الكامل، وهي مأخوذة عن بعد يمكن إدراكه. هل بإمكانك أن تميز أنّ الصورة مأخوذة في صيف نصف الكرة الجنوبي؟

(أ)

(ب)

الشّكل 13.26
(أ)اكتشاف المريخ في NASA's (وكالة الفضاء الأمريكية) روفر، سبريت حيث تحمل الكاميرات على ساريتها البيضاء، والتي التقطت صورًا بانورامية لسطح المريخ. (ب) لقد التقطت Spirit في يونيو 2004 م صورًا مركبة لهذا المنظر الملون حقيقيًّا لمنطقة على المريخ سميت جبال كولومبيا . ولقد تنقلت الآلية لاحقًا إلى التلال لتحليل تركيبها.

إنّ المصدر المنطقي لهذا الغاز هو النشاط البركاني الحالي الذي يمكن أن يؤدي إلى ذوبان الجليد تحت السطحي، وإنتاج الماء السائل. وفي الحقيقة، وجد العلماء دلائل على حدوث تسرب للمياه الجوفية السائلة إلى السطح تحدث حاليًّا منذ أن بدؤوا مسح المريخ من الفضاء. ولكن سرعان ما يتبخر هذا الماء من السطح، أو يتجمد، أو يتسامى. إنّ وجود برك تحت السطح مدفأة بالبراكين وحاوية للماء السائل قد يأوي أشكالًا من الحياة المجهرية.

للمريخ قمران صغيران هما: فوبوس الداخليّ وديوموس الخارجيّ. وكلاهما له شكل حبة البطاطس، ويحوي على سطحه فوهات نيزكية. وأغلب الظن أنّ مصدرها الكويكبات. يدور فوبوس في الاتجاه الشرقي نفسه الذي يدور فيه المريخ حول نفسه (كما هو الحال في قمر الأرض) وعلى بعد نحو 6000 كم في أثناء 7.5 ساعة فقط. ويظهر من المريخ وكأنه بنصف حجم قمرنا. أما حجم ديموس فنحو نصف حجم فوبوس، ويدور حول المريخ في 3.30 ساعة، وعلى بعد 20000 كم من سطح المريخ.

لماذا تكون الكواكب مستديرة؟ تقترب الأجزاء المكونة للكواكب جميعها بعضها من بعض بفعل الجاذبيّة المشتركة. لا توجد زوايا للكواكب لأنها، ببساطة، تسحب نحو الداخل. وهكذا، فالجاذبيّة هي سبب استدارة الكواكب والأجرام السماوية الأخرى.

4.26 الكواكب الخارجيّة

الكواكب الخارجيّة: المشتري، وزحل، وأورانوس، ونبتون. كواكب عملاقة غازية ذات كثافة منخفضة. وكلّ واحد منها يتكون من لبّ صخريّ معدنيّ كتلته أكبر كثيرًا من الكواكب الأرضية. لقد كانت قوى الجذب للب هذه الكواكب قوية إلى درجة أنها أزالت الغازات كلّها في مراحل تشكّلها الأولى من السّديم، وخاصة الهيدوجين والهيليوم. ولقد أكملت اللباب جمع الغازات حتى اشتعلت الشّمس وهبت الرياح الشّمسيّة مشتتة ما تبقى من الغازات بين الكوكبية. كان لبّ المشتري أول ما تطوّر في هذه المجموعة. لذا، فإنّه أخذ الوقت الأطول لجمع الغازات قبل أن تشتعل الشّمس. ولهذا السبب أصبح حجمُ المشتري الأكبرَ في الكواكب الخارجيّة. وهناك صفة أخرى عاملة، وهي أنّ هذه الكواكب جميعها ذات حلقات، وخصوصًا زحل الأكثر شهرة ووضوحًا. وسنناقش هذه الكواكب الخارجيّة وفق ترتيب بُعْدها عن الشّمس.

لمعلوماتك

■ يقترب المشتري من الحد الذي إذا أضيفت بعده المواد إلى الكوكب انكمش حجمه. وهذا يشبه عمود الوسائد. فبوضع المزيد من الوسائد بعضها فوق بعض يزداد ارتفاعها إلى أن يصل إلى حدّ أن وزن الوسائد العليا تضغط على السفلى فيصبح عمود المخدات أقصر. ومن الطريف أنّ المشتري أكبر من أصغر النّجوم، وعلى الرّغم من ذلك، فكتلتها أكبر من كتلة المشتري 80 مرة.

المشتري (Jupiter)

يعدّ المشتري أكبر هذه الكواكب. كما أنّ لونه الأصفر في ليل سمائنا هو الأكثر سطوعًا من أيّ نجم. يدور المشتري حول محوره سريعًا في عشر ساعات، حيث تؤدي هذه السرعة إلى تسطحه إلى درجة أنّ قطره الاستوائي أكبر من قطره القطبي بنحو 6%. وكما في الشّمس، فإنّ أجزاء المشتري لا تدور كلّها معًا في تناسق وانسجام. فالأجزاء الاستوائية تتم دورتها حول نفسها قبل عدة دقائق من إتمام مناطق العروض المجاورة الدنيا والعليا دورتها. إنّ الضغط الجوي على السطح الصخري للمشتري أكبر مليون مرة من الضغط الجوي على سطح الأرض. فالغلاف الجوي للمشتري يتكوّن من 82% هيدروجين، و17% هيليوم، و1% ميثان وأمونيا وغازات أخرى.

إنّ معدل قطر المشتري أكبر من معدل قطر الأرض 11 مرة. وهذا يعني أنّ حجم المشتري يزيد على حجم الأرض 1000 مرة . أما كتلته، فهي أكبر من كتلة الكواكب كلّها مجتمعة. ونظرًا لقلة كثافته التي تعادل ربع كثافة الأرض، فإنّ كتلته تعادل 300 كتلة الأرض. ولقد بينت الاستقصاءات أنّ لبّه مكوّن من كرة صلبة تعادل كتلتها 15 ضعف كتلة الأرض كلها، وهي مكونة من حديد ونيكل ومعادن أخرى.

إنّ أكثر من نصف حجم المشتري بحر من الهيدروجين السائل. وتحت هذا البحر، تقع طبقة داخلية من الهيدروجين المضغوط في الحالة الفلزية السائلة، فيها إلكترونات موصلة تتدفق معطية الحقل المغناطيسي الضخم للمشتري. إنّ هذا الحقل المغناطيسي القوي حول الكوكب يلتقط الدقائق العالية الطّاقة، ويشكّل حزمًا إشعاعية تعادل 400 مليون مرة طاقة حزم فان آلين حول الأرض. إنّ مستويات الإشعاع المحيطة بالمشتري هي الأعلى تسجيلًا في الفراغ الكوني.

الشّكل 14.26
المشتري، مع قمره أيو (النقطة البرتقالية فوق الكوكب) ويوربا (النقطة البيضاء إلى اليمين من الكوكب)، وكما شوهد من المركبة *فويجير 1* في فبراير 1979م. أما البقعة الحمراء الضخمة (أسفل يسار)، التي هي أكبر من الأرض، فهي نظام من الأعاصير حيث الرياح شديدة ومضطربة.

الشّكل 15.26
تبين هذه اللوحة الفنية الشفق القطبي (زهري) في الغلاف الجوي العلوي للمشتري. فالغيوم الرعدية تظهر تحت الشفق، كما يشاهد أقرب أقماره أيو إلى يسار الوسط. إنّ الشفق الذي يشبه الضوء الشمالي للأرض يتكون من الدقائق المشحونة من الرياح الشّمسيّة وجزئيات الغاز المثارة في أعلى الغلاف الجوي. فالجزيئات الغازية تصدر الضوء عندما تعود إلى حالتها غير المثارة.

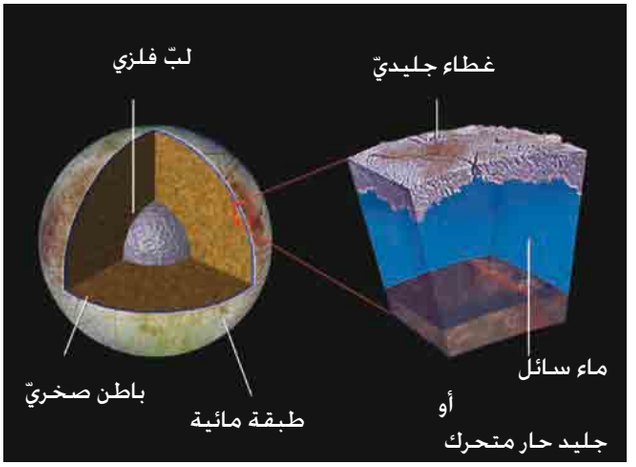
إن كنت تخطط لزيارة المشتري، فاختر أيًّا من أقماره بدلا منه. فللمشتري 63 قمرًا على الأقل بالإضافة إلى حلقة خافتة. لقد اكتشف جاليليو الأقمار الكبيرة الأربعة عام 1610؛ أيو ويوربا هما بحجم قمرنا، أما جانيمدة وكاليستو فهما بحجم عطارد (الشّكل 16.26). هناك نشاط بركاني للقمر أيو أكبر من نشاط أيّ جرم في المجموعة الشّمسيّة. وربما يكون يوربا أكثر ما يثير الاستغراب بينها؛ حيث يتكون سطحه من ماء متجمد. كما يبدو من الشّكل 17.26. وعميقًا تحت هذا الجليد، يحتمل وجود بحر من المياه احتفظ بدفئه بفعل قوى المد والجزر من جاره المشتري.

إذا وجدت الحياة على أيّ جرم في النّظام الشّمسيّ بالإضافة إلى الأرض، فستكون على أرض بحار القمر يوربا المجاورة للفوهات البركانية الحارة. هذا الشّكل من الحياة البعيدة عن الأرض قد يشبه شكل الحياة العجيبة الغريبة التي اكتشفت أخيرًا بالقرب من الفوهات الحرارية في قعور المحيطات الأرضية. وبديل ذلك، فقد تكون متعضيات أحادية الخلية كالبكتيريا. ومرة أخرى قد لا يكون هناك شيء. فهل الحياة نادرة في هذا الكون، أم عادية وسائدة ؟ إننا لازلنا في انتظار الجواب من حديقة مجرتنا الخلفية.

زحل (Saturn)

يعدّ زحل من أكثر الأجرام اللافتة للنظر في السّماء، وذلك من خلال حلقاته الواضحة بمقراب صغير. فهو ساطع تمامًا، وأشدّ سطوعًا من الكواكب الأخرى ما عدا نجمين، ويصنّف الثاني حجمًا وكتلة بعد المشتري. يبعد زحل عن الأرض ضعف بعد المشتري. أما قطره، دون أخذ حلقاته في الحسبان، فيبلغ عشرة أضعاف قطر الأرض، وتبلغ كتلته مثل كتلة الأرض 100 مرة. وهو مكون بشكل رئيس من الهيدروجين والهيليوم، وكثافته هي الأقل بين الكواكب كلها؛ إذ تبلغ 0.7 من كثافة الماء. تعني هذه الخصائص أنّ زحل يمكن أن يطفو بسهولة في حوض الاستحمام إن كان هذا الحوض كبيرًا بما يكفي. إنّ كثافته المنخفضة وسرعة دورانه العالية حول نفسه، 10.2 ساعة، أدى إلى تسطح قطبيه أكثر من أيّ كوكب آخر. لاحظ طبيعته المتطاولة في الشّكل 18.26. وكالمشتري، فإنّ زحل يشع تقريبًا ضعف الطّاقة الحرارية التي يتلقاها من الشّمس.

الشّكل 16.26
الأقمار الأكبر الأربعة للمشتري التي اكتشفها جاليليو عام 1610، والذي كان أول من اخترع المقراب ووجهه نحو السّماء. وقد لاحظ تغير أماكن هذه الأقمار، واستنتج أنها تدور حول المشتري. وقد عُدّ هذا الاكتشاف انتهاكًا للمعتقدات الدينية التي ترى أنّ الأجرام كلّها تدور حول الأرض؛ وقد عدّ هذا الاكتشاف أيضا ثورة بحقّ. وتكريمًا له سميت هذه الأقمار الأربعة بأقمار جاليليو.

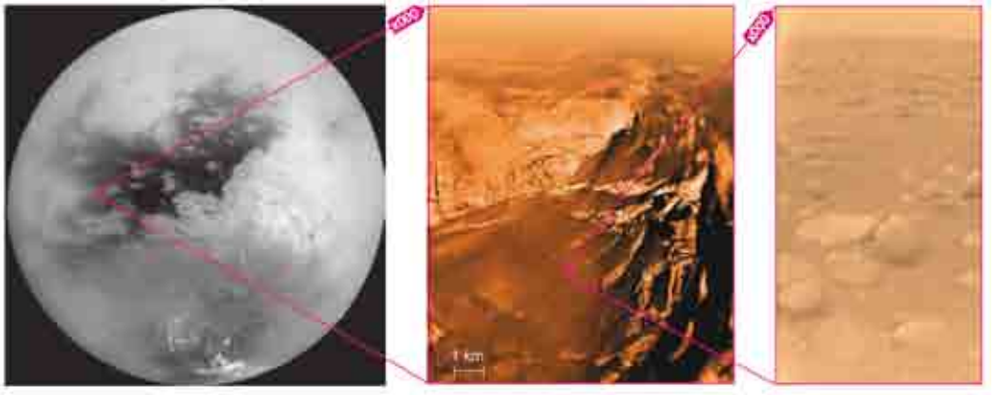


الشّكل 17.26
نموذج لباطن القمر يوربا مع منظر مكبّر لمحيطه المغطى بالجليد، والتي تغطي كامل الكرة بناء على الأقيسة المغناطيسية.

الشّكل 18.26
زحل تحيط به حلقاته الشهيرة والمكونة من الصخور والجليد.

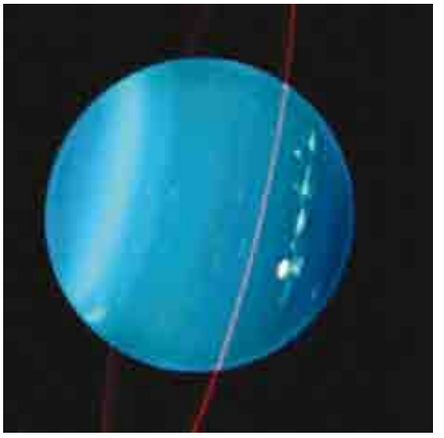
ومن المرجع أن يكون سمك حلقات زحل عدة كيلومترات فقط، تتوضّع في مستوى يتوافق مع مستوى دائرة استوائه. لقد عرفت أربع حلقات متمركزة لزحل منذ سنين طويلة، ولكن بعثات السفن الفضائية اكتشفت حلقات أخرى. تتكون الحلقات من قطع كبيرة وصغيرة من المياه المتجمدة والصخور التي يعتقد أنها مواد لقمر لم يتكون مطلقًا، أو أنها بقايا لقمر تفجّر بفعل قوى المد والجزر. تتعاقب الصخور والمواد المكونة للحلقات كلّها في دورات مستقلة حول زحل. وتتحرك الأجزاء الدّاخليّة للحلقات بسرعة أكبر من تحرّك الحلقات الخارجيّة، كما هو الحال في أيّ من التوابع القريبة من الكوكب التي تدور أسرع من تلك التوابع التي تدور في مدارات أبعد.

لزحل أكثر من 47 قمرًا تقع بعد الحلقات. وأكبرها القمر تيتان الذي يبلغ حجمه 1,6 مرة مقارنة بحجم قمر الأرض. ومن المؤكّد أنّه أكبر من كوكب عطارد. يدور هذا القمر حول نفسه مرة كلّ 16 يومًا. وله غلاف جوي مكون من الميثان (قد يكون مصدره غير حيوي)، وضغطه الجوي أكبر من ضغط الأرض الجوي. أما حرارة سطحه فباردة، وهي حوالي -170°س. في عام 2005، هبط على سطحه مجسّ فضائي صنع من قبل ناسا ووكالة الفضاء الأوربية. لقد أظهرت بعض الصور مناظر طبيعية رائعة تشبه تلك الموجودة على سطح الأرض رغم حقيقة أنّ المواد تختلف تمامًا (الشّكل 26. 19). فالبحيرات والجداول مليئة بالميثان السائل وليس بالماء. أما الصخور فهي مكونة من الجليد. وبدلًا من اللابة، فإنّ تيتان يحتوي على جليد نصف ذائب وأمونيا سائلة. لا يتوقع وجود أيّ نوع من الحياة على سطح تيتان بسبب الحرارة المنخفضة جدًّا. على أيّ حال، فتيتان يحمل ضبابًا كثيفًا من الجزيئات العضوية المثيرة، والتي قد تزودنا كيميائيتها بمفتاح لوضع الأرض وحالتها في الفترة التي سبقت ظهور الحياة عليها.



الشّكل 19.26
صورة لأكبر أقمار زحل (القمر تيتان) التقطت من المركبة الفضائية كاسيني ومجسها الفضائي هويجنز الذي هبط بنجاح على سطحه.

أورانوس (Uranus)



الشّكل 20.26
التقطت هذه الصورة بالأشعة تحت الحمراء لأورانوس بتلسكوب هاواي في 11-12 من يوليو عام 2004م. يعتقد الفلكيون أنّ أورانوس يميل على محور دورانه نتيجة اصطدامه بجسم آخر ضخم في الزمن المبكر من تاريخ النّظام الشّمسيّ. إنّ البقع البيضاء الساطعة والزرقاء في نصف الكرة الجنوبي لأورانوس هي غيوم. يمتص الميثان في أعلى الغلاف الجوي الضوء الأحمر ليعطي أورانوس لونه الأخضر.

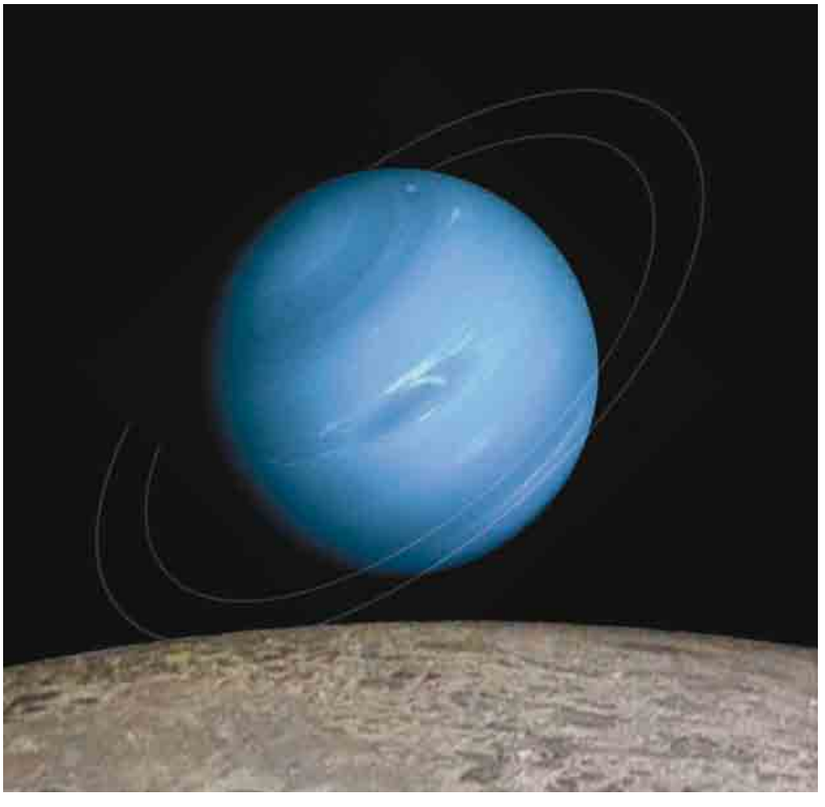
يبعد أورانوس، ويلفظ أيضًا يورانوس، عن الأرض ضعف المسافة التي يبعدها زحل ويمكن أن يرى بصعوبة بالعين المجردة. لقد عرف الفلكيون القدماء أورانوس ولكن لم يكتشف ككوكب إلا في عام 1781م. ولقد زارته المركبة *فويجر 2* عام 1986م. لأورانوس قطر يبلغ أربعة أضعاف قطر الأرض، وله كثافة أعلى قليلًا من كثافة الماء. لذا، فلو وضعته بحوض حمام ضخم فإنه سيغرق. إنّ أهم معالم أورانوس غير العادية هو الميلان. حيث يميل محوره بـ 98^{o} عن العمود على مستوى دورانه. ولهذا، فهو ينام على جنبه، كما في الشّكل 26. 20. وبخلاف المشتري وزحل، فإنه يبدو أن ليس له مصدر للحرارة يمكن تقديره. فأورانوس مكان بارد.

لأورانوس على الأقل 27 قمرًا، بالإضافة إلى نظام معقد وغير واضح من الحلقات. وبالعودة إلى الفصل الرابع، نتذكر أنّ اضطراب حركة هذا الكوكب أدى إلى اكتشاف كوكب أبعد منه عام 1846م والذي عرف بكوكب نبتون.

نبتون (Neptune)

لنبتون قطر يبلغ 3.9 مرة قطر الأرض، أمّا كتلته فتبلغ 17 مرة كتلة الأرض، ومعدل كثافته يبلغ معدل ثلث كثافة الأرض. أما غلافه الجوي فمكوّن بشكل رئيس من الهيدروجين والهيليوم مع قليل من الميثان والأمونيا، وهذا ما يجعل نبتون أكثر زرقة من أورانوس (الشّكل 26. 21). وكما هو الحال في المشتري وزحل، فإنّ نبتون يصدر نحو 2.5 مرة طاقة حرارية أكثر مما يستقبل من الشّمس. وهذا محير لأنّ الحسابات تبين أنه كما في أورانوس فإنّ نبتون يجب أن يكون قد فقد حرارته الأصلية كلّها. ولكن هناك تفسير واحد محتمل وهو أنّ نبتون لا يزال ينكمش بخلاف أورانوس.

لقد حلقت *فويجر 2* بجانب نبتون عام 1989م. وأظهرت أنّ له 13 قمرًا بالإضافة إلى نظام الحلقات. إنّ أكبر هذه الأقمار هو تريتون الذي يدور حول نبتون في 5.9 يوم في اتجاه معاكس لدوران الكوكب للشرق. وهذا يقترح على أن تريتون هو قمر أسير. يعادل قطر تريتون ثلاثة أرباع قطر قمر الأرض، وأنّ كتلته ضعف كتلة قمر الأرض. كما أنّ له غطاء قطبيًّا ساطعًا ونفاثات من النيتروجين السائل.



بينت دراسة كتاب جاليلو حديثًا أنه رأى نبتون في ديسمبر 1612م، ومن ثمّ شاهده مرة أخرى في يناير 1613م. لقد كان مغرمًا بالمشتري في ذلك الوقت. لذا اعتبر نبتون نجمًا خلفيًّا.

الشّكل 21.26
اضطراب حلزوني على نبتون عام 1989م ولّد بقعة سوداء ضخمة كانت أكبر من الأرض، وشبيهة لبقعة المشتري الحمراء الضخمة. ولقد اختفت البقعة الآن. إنّ الأفق الرمادي في مقدمة الصورة المعدّلة بالحاسوب مأخوذة قريبًا من تريتون قمر نبتون الذي له حجم بلوتو وتركيبه.

5.26 قمر الأرض

نستطيع مشاهدة آثار القذف النيزكي على سطح القمر؛ لأنه لا يوجد ما يحميه منها. مثل هذه الآثار كانت موجودة على سطح الأرض ولكنها مسحت بالحتّ والتعرية

يعد قمر الأرض محيرًا. فهو يقترب بحجمه من حجم عطارد الذي هو كوكب وليس قمرًا. إنّ التركيب الكيميائي للقمر هو تركيب ستار الأرض نفسه تقريبًا. وأكثر من ذلك، فإنّ هذا القمر يمتلك لبًّا صغيرًا من الحديد. ولتفسير هذه الظواهر والعديد من الحقائق عن القمر وضع العلماء معًا السيناريو المحتمل التالي لنشأة القمر.

في التاريخ المبكر للنظام الشّمسيّ، كان للأرض الناشئة مرافق بحجم عطارد يدور مترافقًا وقريبًا منها. وفي العادة، إذا كان هذا المرافق يدور أقرب للشمس فإنه سيكون أسرع من الأرض وسيسبقها. وعندما يتجاوز نقطة معينة تعرف بنقطة *Lagrangian* فإنّ هذا المرافق سيتعرض لسحب الجاذبيّة الأرضية بقوة كافية تعيده نحو الخلف بحيث يدور منسجمًا مع الأرض. وهكذا، يبدو أنه كان هناك توأم للأرض المبكرة. وكانا يدوران في موكب واحد معًا حول الشّمس كما يركض زوج من الخيول بجانب أحدهما بجانب الآخر حول دائرة.

وأخيرًا فإنّ حدثًا عشوائيًّا ما قد حدث كمرور كويكب أو مذنب، مما أدى بهذا المرافق إلى أن يترنح عن نقطة *Lagrangian* ويقع مصطدمًا بالأرض. لقد كان هذا الاصطدام كتليًّا مثيرًا؛ حيث نشر الفتات في كلّ مكان وحوّل الأرض بكاملها إلى حالة الانصهار. لقد كان هذا الاصطدام منحرفًا ما أدى إلى أن تدور الأرض بشكل عشوائي كلّ 5 ساعات. ولقد تجمع هذا الفتات لاحقًا وسريعًا كحلقة حول الأرض. بعد ذلك، وفي أثناء 1000 عام تقريبًا، اندمجت مكونات الحلقة فنشأ القمر. يعرف هذا الافتراض بنظرية الارتطام العظيم *giant impact theory* لنشوء قمر الأرض. وهذا يفسر كبر حجم القمر (ذكرنا وجود توأمين من الكواكب)، ولماذا يكون تركيبه شبيها بتركيب الأرض (لقد تكوّن من ستار الأرض، وستار الأرض تكون منه)، كما يفسر سبب وجود لبّ صغير له من الحديد (تمايز لبّ الأرض المكون من الحديد قبل ذلك ولم يتطاير عند الاصطدام وتطاير الفتات) وأكثر من ذلك، لا زالت نظرية الاصطدام هذه

الشّكل 22.26

هناك ثلاث خطوات لنشأة قمر الأرض؛ اصطدم جرم بحجم عطارد بالأرض فصهرها. ومن ثمَّ تجمع الحطام في حلقة التحمت لتكون القمر القريب من الأرض سريعة الدوران. وبعد بليون سنة، تباطأ دوران الأرض حول نفسها بسبب قوى المد والجزر فحركت القمر بعيدًا عنها.

الشّكل 23.26
الأرض والقمر كما صورتهما المركبة الفضائية *فويجر 1* عام 1977 في طريقها إلى المشتري وزحل.

موضع الاهتمام الزائد للبحث. وهي تعدل وتصفى يومًا بعد يوم. ومع أنها طورت فقط خلال العقدين الماضيين. إلا أنها أصبحت مثار اهتمام العلماء لقدرتها على تفسير الكثير من الأمور.

عند النظر إلى الأرض والقمر عن بعد فإنهما يظهران كتوأمين من الكواكب. كما يبدو في الشّكل 23.26. ومقارنة بالأرض. فإنّ حجم القمر يعدّ صغيرًا نسبيًّا: حيث إنّ قطره لا يزيد على المسافة بين مدينتي سان فرانسيسكو ونيويورك. وقد كان سطحه في يوم ما منصهرًا. ولكنه تبرد سريعًا لتأسيس صفائح القشرة المتحركة كما هو الحال في الصفائح المكونة للأرض. ولقد قُذف القمر وبشدة في هذه المرحلة المبكرة من عمره بالنيازك (كما كان الحال بالنسبة للأرض). وقبل أكثر قليلًا من 3 بلايين عام. سبب الارتطام النيزكي والنشاط البركاني ملء الأحواض باللابة مكونة السطح الحالي للقمر. ولم يحدث إلا القليل من التغيير على سطحه منذ ذلك الوقت. أمّا قشرته النارية فهي أسمك من تلك التي للأرض. إنّ القمر صغير جدًّا. كما أنّ جاذبيته صغيرة أيضًا إلى درجة يصعب عليها الاحتفاظ بالغلاف الجوي. لذا فإنه. ومن دون طقس. أصبحت عوامل التعرية قائمة على الاصطدامات النيزكية فقط.

أطوار القمر (The Phases of The Moon)

ترينا إضاءة الشّمس نصف سطح القمر فقط. فالقمر يرينا كميات مختلفة من إضاءة الشّمس لنصفه كلما دار حول الأرض في شهر كامل. ويعرف هذا التغير **بأطوار القمر** (الشّكل 25.26). تبدأ دورة القمر **بالقمر الجديد *(New Moon)***. وفي هذا الطور. يواجهنا الوجه المظلم. لذا. فإننا نشاهد ظلامه. ويحدث ذلك عندما يكون القمر بين الأرض والشّمس (الوضع 1 في الشّكل 26. 26).

وفي الأيام السبعة الآتية. فإننا نرى أكثر وأكثر من الجهة المضاءة من القمر (الوضع 2 في الشّكل 26. 26). ويستمر الهلال (*Waxing Crescent*) بالنمو. وعند التربيع الأول (*First Quarter*) تكون الزاوية بين الشّمس والقمر والأرض 90°. وفي هذا الوقت نرى نصف وجهه المضيء (الوضع 3 في الشّكل 26. 26).

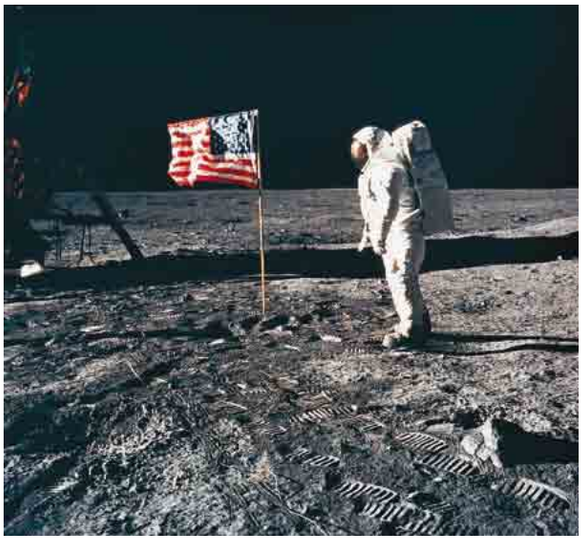
وفي الأسبوع الثاني. نرى أكثر فأكثر من الوجه المضاء. أي أنّ القمر ينمو في اتجاه الطور الأحدب (*Waxing Gibbous*) (الوضع 4 الشّكل 26. 26) فالأحدب يعني أكثر من النصف. ونرى القمر كاملا "البدر" *full moon* عندما يقابلنا الوجه المضاء بشكله الكامل. وعندها يكون القمر والأرض والشّمس على استقامة (الوضع 5 الشّكل 26. 26). وفي هذا الوقت. تكون الشّمس والأرض والقمر على خط مستقيم. وتكون الأرض بين القمر والشّمس. ولمشاهدة القمر بدرًا. فلا بد أن يتم ذلك في نصف الأرض الليلي. عند غروب الشّمس. عندما يشرق البدر من الشرق. أو عند شروق الشّمس حيث يغيب القمر في الغرب.

وتنعكس الدورة في الأسبوعين التاليين: حيث نرى أقلّ فأقلّ من الوجه كلما أكمل القمر دورته.

لمعلوماتك

■ في زمن حياة الديناصورات كان طول النهار 19 ساعة تقريبًا. أما الآن فإنّ اليوم 24 ساعة. وبعد بلايين السنين من الآن. وحيث تستمر الأرض في التباطؤ. فإنّ طول اليوم سيصبح 47 ساعة. وفي ذلك الزمن. تتوقف جاذبيتا الأرض والقمر. بحيث يظهر القمر في مكان واحد في السّماء. وحتى تشاهد القمر. فإنك بحاجة إلى أن تكون على الأرض من جهة القمر. وقد تكون أسعار العقارات أعلى بسبب هذا المنظر. غير أن مشكلة كبيرة ستحدث في ذلك الوقت. وهي أنّ الشّمس تكون في طور الاحتضار: حيث مصير الأرض كمصير كوكب. غائمة دائمًا. ولا شيء أبديّ أبدًا.

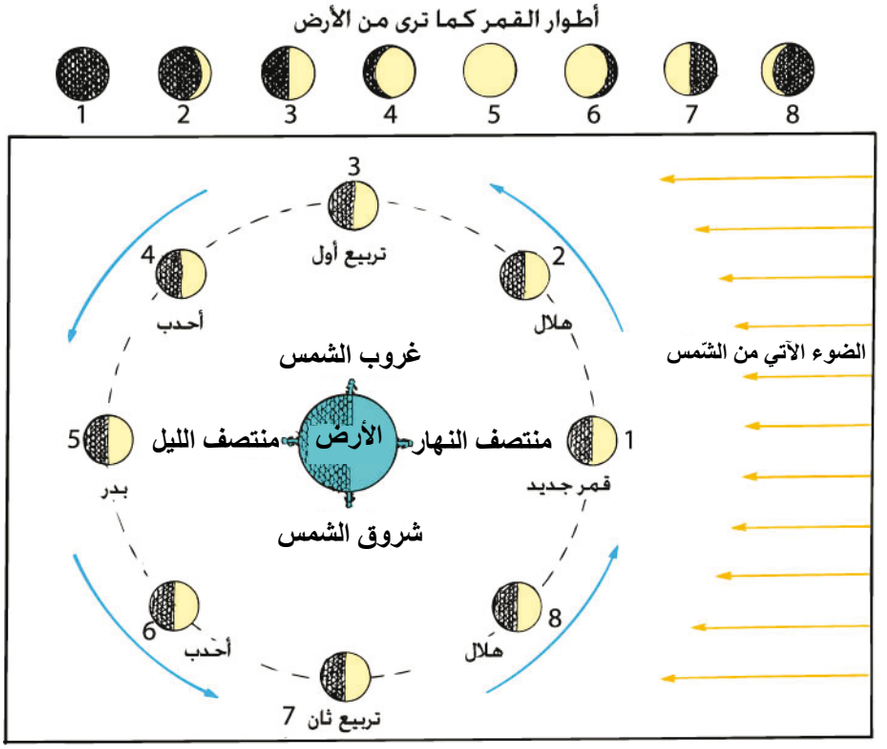
تترنح معظم الكواكب بوضوح في أثناء دورانها حول محاورها. ولكن القمر يساعد الأرض على جعل هذا الترنح في حده الأدنى. ونتيجة لذلك، فإنّ نظام الطقس عندنا مستقر عبر العصور، وهذا يجعل كوكبنا أكثر ملاءمة لتطور الحياة. شكرًا لك أيها القمر!



الشّكل 24 .26
Edwin, E. ldrin, Jr.، أحد رواد *أبوللو 11*، يقف على سطح القمر المغبر. وحتى هذا التاريخ فإنّ 12 شخصًا وقف على سطح القمر.

هذه الحركة تؤدي إلى التقلص وتوليد الأطوار: الأحدب، ثم التربيع الثاني، ثم الهلال، ومن ثمَّ المحاق.
إنّ الزمن اللازم للدورة الكاملة هو 29.5 يوماً*.

الشّكل 25.26
أطوار القمر المختلفة.



الشّكل 26.26
تضيء الشّمس دائمًا نصف القمر؛ فكلما دار القمر حول الأرض، فإننا نرى جزءًا فقط من الوجه المضاء. تستغرق الدورة الكاملة لأطوار القمر 29,5 يومًا.

لو أشعل أحد ضوءًا وميضًا في غرفة معتمة على كرة فإنه يمكن تحديد مكان الوميض بمعرفة الجزء المضاء من الكرة. وهكذا أيضًا يبدو القمر بضوء الشّمس.

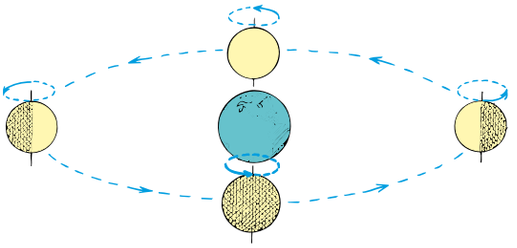
■ نقطة فحص

1. هل يمكن مشاهدة البدر عند الظهيرة؟ وهل يمكن مشاهدة المحاق (القمر الجديد) في منتصف الليل؟
2. يفضل الفلكيون مشاهدة النّجوم عند غياب القمر من ليل السّماء. فمتى يغيب القمر غالبًا من ليل السّماء؟ وكيف ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. يبين الشّكل 26. 26 أنه في وقت الظهيرة تكون في المكان غير المناسب على الأرض لمشاهدة البدر. وبالطريقة نفسها، يغيب عنك القمر الجديد في منتصف الليل. فالقمر الجديد يكون في السّماء في وقت النهار وليس في الليل.
2. عند تولّد القمر الجديد، وخلال أسبوع قبل ولادته وبعدها، لا يظهر القمر في ليل السّماء. ما لم يرغب فلكي في دراسة القمر، فإنّ السّماء المعتمة تكون أفضل وقت لمشاهدة الأجرام الأخرى. وعادة ما يرصد الفلكيون السّماء ليلًا كلّ أسبوعين.

* يدور القمر حقيقة حول الأرض مرة كل 27.3 يومًا نسبة للنجوم. أما دورة الـ 29.5 يومًا فهي بالنسبة إلى الشمس والمتعلقة بحركة نظام الأرض والقمر حول الشّمس.



الشّكل 27.26
يدور القمر حول نفسه في الزمن نفسه الذي يحتاج إليه للدوران حول الأرض. وهكذا، فكلما دار القمر حول الأرض، فإنه يدور حول نفسه بحيث نرى الوجه نفسه؛ أي أنّ الوجه نفسه يبقى مقابلاً للأرض (اللون الأصفر). ففي أيّ موقع من المواقع الأربعة التي تظهر في الشّكل يكون القمر قد دار ربع دورة.

لماذا لا يواجهنا دائمًا إلا وجه واحد؟

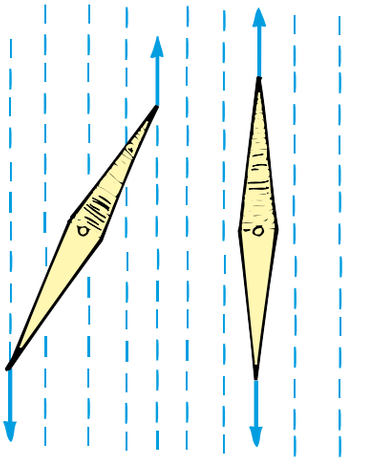
لقد أخذت أول صورة للوجه الخلفي بواسطة المركبة الروسية غير المأهولة (لونك 3) عام 1959م. ولقد كانت أول مشاهدة للوجه المعتم من قبل الإنسان ما قام بها رواد المركبة أبوللو 8 التي دارت حول القمر عام 1968م. فعن سطح الأرض، نرى وجهًا واحدًا للقمر فقط. فالظواهر السطحية المألوفة "للإنسان في القمر" توجه دائمًا إلينا على الأرض. فهل يعني ذلك أنّ القمر لا يدور حول محوره في حين أنّ الأرض تقوم بذلك يوميًّا؟ الجواب لا. ولكن في الحقيقة. وبالنسبة إلى النجوم. فإنّ القمر يدور حول نفسه- برغم بطئه- مرة كل 27 يومًا تقريبًا. إنّ معدل الدوران الشّهريّ هذا يتطابق مع معدل دورانه حول الأرض. وهذا يفسر سبب رؤيتنا الوجه للقمر نفسه (الشّكل 27.26). إنّ التوافق بين دورانه حول نفسه وحول الأرض لا يتطابق تمامًا. فبعد إجابتك على (اختبر معلوماتك) الآتية ستعرف السبب.

■ نقطة فحص

يقول أحد أصدقائك إنّ القمر لا يدور حول نفسه. ودليله على ذلك أنّ الوجه نفسه يقابل الأرض باستمرار. ما قولك؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ضع قطعتي ربع دولار وبنس معدنيين على طاولة. ليكن الرّبع ممثلًا للأرض. في حين يمثّل البنس القمر. ثبّت الرّبع. وأدر البنس حوله بطريقة يبقى فيها رأس لنكولن مواجهًا لمركز الربع. اطلب إلى صديقك أنّ يعدّ عدد الدّورات التي دارها البنس حول نفسه عندما دار حول الربع دورة واحدة. النتيجة هي أنّ البنس دار حول نفسه دورة واحدة كلما دار حول الربع دورة واحدة. وهذا يعني أنّ القمر يحتاج إلى الزمن نفسه لإكمال دورة حول نفسه وحول الأرض.

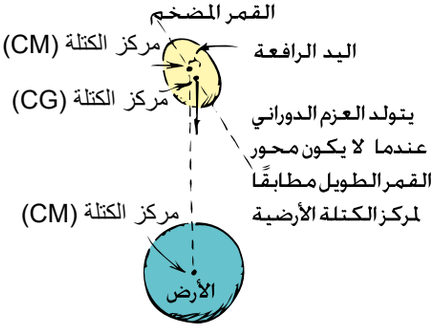


(أ) عزم للدوران (ب) لا يوجد عزم للدوران

الشّكل 28.26
(أ) عندما لا تكون إبرة البوصلة موازية للحقل المغناطيسي (الخطوط المتقطعة)، فإنّ القوة المتمثلة بالأسهم الزرقاء على حافتي الإبرة تولد عزمًا يديرها. (ب) أما عندما تكون الإبرة موازية للحقل المغناطيسي فلا يتولّد عندها أيّ عزم.

فكّر في إبرة مغناطيسية منسجمة مع خطوط الحقل مغناطيسي. هذا الاصطفاف يحكم عزم التدوير، وهي القوة الدورانية التي تشبه وزن الطفل على طرف لعبة أرجوحة السيسو. تدور الإبرة المغناطيسية في الشّكل 26. 28أ بفعل العزم المزدوج. وهي تدور في اتجاه عقارب الساعة حتى تصبح موازية للحقل المغناطيسي. وبالطريقة نفسها يصطف القمر مع الحقل الجاذبي الأرضي.

نحن نعرف من قانون الجاذبيّة العام أنّ الجاذبيّة تضعف مع مربع معكوس المسافة. لذا فإنّ جانب القمر الأقرب إلى الأرض يشدّ بقوة أكبر من الجانب الأبعد. وهذا يشد "يمط" القمر ليصبح ككرة القدم. (يقوم القمر بالشيء نفسه مع الأرض مشكّلا المد والجزر). فإذا كان محوره الطويل موازيًا للحقل الجاذبي الأرضي فإنّ العزم الدوراني يؤثر فيه. كما يظهر في الشّكل 26. 29. وكما هو الحال في الإبرة المغناطيسية في الحقل المغناطيسي التي تدور لتوازي الحقل. فإنّ القمر يصطف مع الأرض في دورانه الشهري. وأنّ وجهًا واحدًا يقابلنا باستمرار. وإنه لمما يثير الاهتمام أن نجد الكثير من الأقمار التي تدور حول الكواكب الأخرى تقابل تلك الكواكب وجهًا واحدًا فقط في تلك الأقمار. ونقول في هذه الحالة عن تلك الأقمار إنها مترابطة مدًّا وجزرًا *"tidally locked"*.



الشّكل 29.26
عندما لا يكون محور القمر الطويل مطابقًا للحقل الجاذبي الأرضي، فإنّ الأرض تمارس عزمًا يدير القمر ليطابقها. (CM: مركز الكتلة، GG مركز الجاذبيّة).

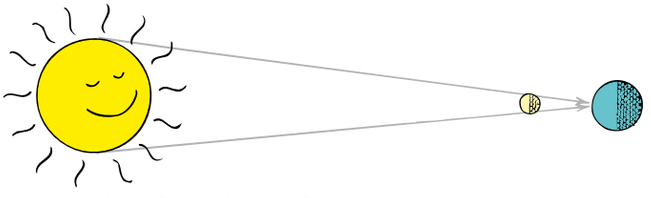
الشّكل 30.26
يحدث كسوف الشّمس عندما يمرّ القمر أمام الشّمس ويرى من الأرض. ويكون لظل القمر جزآن: الجزء الداخلي المعتم umbra وهو ظل كامل يحيط به الجزء الخارجي، وهو منطقة شبه الظلpenumbra . يرى الكسوف الكلي من منطقة الظل الكامل، وقد يستغرق عدة دقائق.

الكسوف (Eclipses)

مع أنّ قطر الشّمس أكبر من قطر القمر 400 مرة، إلا أنها أبعد عنه 400 مرة أيضًا. لذا، فإنّ لكليهما - الشّمس والقمر - الزاوية القطرية نفسها مقيسة من الأرض وهي °0.5. ويظهران بالحجم نفسه في السماء. وهذا التطابق يسمح لنا برؤية كسوف الشّمس.

لكلّ من الأرض والقمر ظلّ عندما تسقط عليهما أشعة الشّمس. فعندما يقطع مر أحد هذين الجسمين الظلّ المتولّد من الآخر يحدث الكسوف أو الخسوف. يحدث **كسوف الشّمس *(Solar Eclipses)*** عندما يقع ظلّ القمر على الأرض. وبما أنّ حجم الشّمس أكبر من القمر فإنّ الأشعة تتناقص تدريجيًّا معطية منطقة الظّلّ الكامل محاطة بمنطقة شبه الظل، كما يرى في الشّكلين 26. 30 و 26. 31.

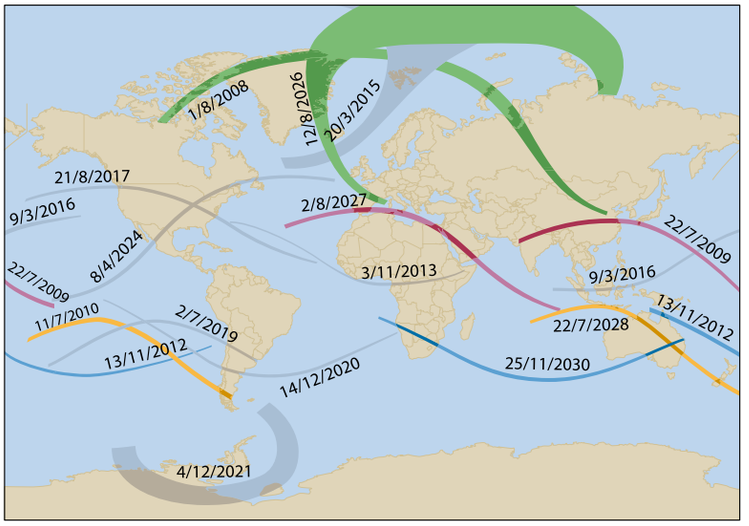
الشّكل 31.26
تخطيط هندسي لكسوف الشّمس. في الكسوف، يقع القمر بين الشّمس والأرض مباشرة فيولّد ظلًا يسقط على الأرض. ونظرًا لصغر حجم القمر والنقص التدريجي لأشعة الشّمس، يحدث كسوف الشّمس فقط على مساحة صغيرة من الأرض.



dvn الراصد الذي يقف في منطقة الظل الكامل، الظلام كله في ضوء النهار- الكسوف الكلي*totality* . يبدأ الكسوف الكلي عندما تختفي الشّمس خلف القمر، وينتهي عندما تعود الشّمس إلى الظهور على حافة القمر. إنّ المعدل الزمني للكسوف الكلي في أيّ مكان هو في حدود 2 - 3 دقائق، وبحدّ أعلى 7.5 دقيقة. إنّ المعدل الزمني للكسوف في أيّ مكان يعدّ قصيرًا بسبب حركة القمر. وخلال الكسوف الكلي، فإنّ ما يشاهد في السّماء هو قرص أسود غريب محاط بتدفق شعاعي أبيض لؤلئي للإكليل، كما يبدو في الشّكل 26. 7. إنها تجربة لا يمكن أن ينساها الإنسان . يمكن بالتلسكوب أو المنظار مشاهدة ظواهر القمر؛ لأنها تضاء بأشعة الشّمس المنعكسة في اتجاه الأرض. وقد يشاهد اللون الزهري متماوجًا من الغلاف الملون للشمس. ولكن هناك تحذيرات مشددة يجب مراعاتها عند مشاهدة الكسوف الكلي، والذي يجب أن يكون كليًّا 100%. إن اللحظة التي تظهر فيها حافة الغلاف الضوئي والتي تمثل 99,99% من الكسوف الكلي هي اللحظة التي تقضي على البصر إن استمرت العينان في المشاهدة*. ففي تلك اللحظة، يدخل المشاهِدُ في منطقة شبه الظل؛ حيث يصبح الكسوف جزئيًّا. إنّ الوضع المثالي لمشاهدة الكسوف الجزئي هو أن تركز (تسقط) ضوء الكسوف على سطح أبيض، كما يظهر في الشّكل 26. 4. وبديل ذلك أن تشاهد هلال الشّمس من تحت ظل شجرة، حيث تلقي بصورة لثقب صغير لها على الأرض، كما يظهر في الشّكل 26. 32. تفحص الخريطة في الشّكل 26. 23. لمعرفة ما إذا كان سيحدث كسوف في منطقتك قريبًا. إنّ الكثير من المغرمين بمشاهدة كسوف الشّمس يسافرون حول العالم لمشاهدة هذه الظاهرة الطبيعية المثيرة.

الشّكل 32.26
الأشكال الهلالية لبقع ضوء الشّمس هي صور للكسوف الجزئي للشمس. وتتكون هذه عندما يمرّ ضوء الشّمس من خلال الأغصان التي تتراكب مولدة صورًا كثقوب الإبر. وفي يوم مشمس عادي دون كسوف، تكون هذه البقع تحت الشجر مستديرة لأنّ الشّمس تكون مستديرة. لاحظ وجود هذه الأشكال المستديرة "كرات شمسية" في اليوم المشمس التالي في الخارج.

* يحذر الناس من النظر إلى الشّمس مباشرة عند كسوفها؛ لأنّ سطوعها إضافة إلى الأشعة فوق البنفسجية المباشرة تؤذي العيون. إنّ هذه النصيحة المهمة يساء فهمها في أحيان كثيرة من قبل أولئك الذين يعرفون لاحقًا أنّ أشعة الشّمس أكثر ضررًا مما اعتقدوا في هذا الوقت الخاص. على أيّ حال، يكون النظر إلى الشّمس مؤذيًا عندما تكون عالية في السّماء في حالة الكسوف أو عدمه. وفي الحقيقة، فإنّ النظر إلى الشّمس وهي مكشوفة يكون أكثر أذى مما لو حجبها القمر. والسّبب وراء هذه التحذيرات عند الكسوف هو، ببساطة، رغبة معظم الناس في النظر إلى الشّمس في هذا الوقت.

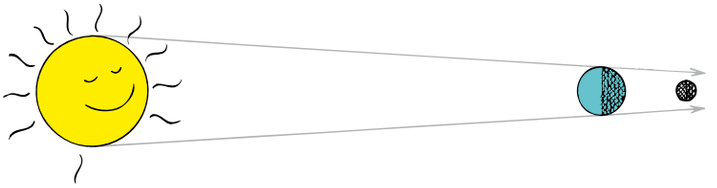


الشّكل 33.26

تبين هذه الخارطة الممرات التي يظهر فيها الكسوف الكليّ للشمس من عام 2006-2030م. ولمزيد من التفاصيل عن مثل هذه الحالات من الكسوف وحالات أخرى مستقبلية؛ ارجع إلى موقع ناسا الإلكتروني hhP://sunearth.gsfc.nasa.

يساوي سطوع إكليل الشّمس تقريبًا سطوع القمر الكامل "البدر" في ممر الكسوف الكلي

إنّ وقوع الأرض والقمر والشّمس على خطّ واحد يُحدث أيضًا **خسوفًا للقمر(*Lunar Eclipse*)** عندما يمرّ القمر في ظلّ الأرض، كما يظهر في الشّكل 34.26. وعادة ما يسبق خسوف القمر كسوف الشّمس أو يتبعه بأسبوعين. وكما أنّ حالات الكسوف كلّها تقتضي قمرًا جديدًا، فإنّ الخسوفات كلّها تقتضي قمرًا كاملا "بدرًا". وقد يكون ذلك كليًّا أو جزئيًّا. ويمكن أن يشاهد الراصدون جميعهم في النصف الليلي من الأرض الخسوف في الوقت نفسه. ولمزيد من التشويق والمتعة يمكن مراقبة الخسوف الكامل للقمر، حيث يمكن مشاهدته، كما هو موضّح في الشّكل 26. 35.



الشّكل 34.26

يحدث خسوف القمر عندما تقع الأرض بين الشّمس والقمر مباشرة ، وحيث تلقي الأرض بظلها على القمر.

لماذا يندر حدوث الكسوف والخسوف نسبيًّا؟ يحدث ذلك بسبب اختلاف مستويات الدوران بين الأرض والقمر. تدور الأرض حول الشّمس في سطح دوران مستو. ويدور القمر أيضًا حول الأرض على سطح دوران مستو. ولكن تميل المستويات بعضها عن بعض بمقدار 5.2°، كما يظهر في الشّكل 26. 36. ولو لم تمل المستويات بعضها عن بعض لحدث الكسوف والخسوف شهريًّا. وبسبب هذا الميلان فإنّ الخسوف والكسوف يحدثان فقط عندما يقطع القمر مستوى الأرض-الشّمس في الوقت الذي تصبح فيه هذه الأجرام الثلاثة: الشّمس والأرض والقمر على استقامة واحدة (الشّكل 26. 37). وهذا يحدث مرتين في السنة تقريبًا. وهذا هو سبب حدوث كسوف الشمس مرتين على الأقلّ في السنة (تشاهد من أماكن معينة فقط للأرض). وفي بعض الأحيان قد يحدث 7 حالات كسوف وخسوف في السنة.

الشّكل 35.26

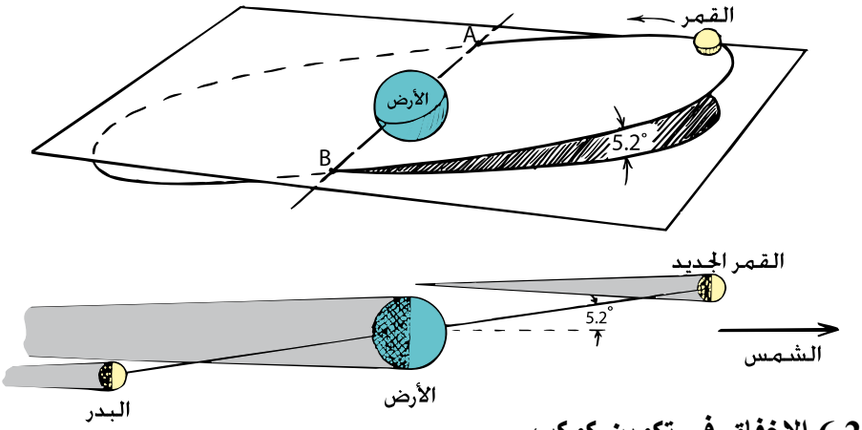
خسوف كامل لقمر، ولكنه ليس معتمًا بالكامل حيث يقع في ظل الأرض ولكنه ما زال مرئيًّا لأنّ الغلاف الجوي للأرض يتصرف كعدسة، ويكسر الضوء في منطقة الظل- ضوء كاف ليضيء القمر بشكل خافت.

■ نقطة فحص

1. هل يحدث كسوف الشّمس عندما يكون القمر بدرًا أم جديدًا "محاقًا"؟
2. هل يحدث خسوف القمر عندما يكون القمر بدرًا أم جديدًا "محاقًا"؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. يحدث كسوف الشّمس عندما يكون القمر جديدًا، عندما يقع القمر أمام الشّمس مباشرة. وبعدها يقع ظل القمر على جزء من الأرض.
2. يحدث خسوف القمر عندما يكون القمر بدرًا، عندما يقع القمر والشّمس على جانبي الأرض. وبعدها يقع ظلّ الأرض على البدر.



الشّكل 26. 36
يدور القمر حول الأرض في مستوى يميل 5.2° عن مستوى دوران الأرض حول الشّمس. يحدث كسوف الشّمس أو خسوف القمر فقط عندما يقطع القمر مستوى الأرض- الشّمس (النقطتان أ و ب) وعندما تكون الأجرام الثلاثة - الشّمس والأرض والقمر - على خط واحد تمامًا.

6.26 الإخفاق في تكوين كوكب

لقد وجد في ثلاثة مواقع من نظامنا الشّمسيّ مواد متبقية أخفقت في التجمع وتشكيل كواكب. هذه المواقع هي: 1 - نطاق الكويكبات. 2 - نطاق كوبر. 3 - سحابة أورت.

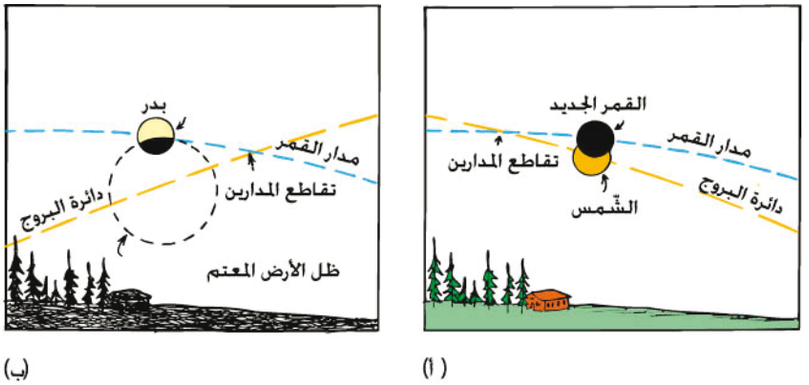
نطاق الكويكبات والنيازك (The Asteroid Belt and Meteors)

إنّ **نطاق الكويكبات** هو تجمع للصخور يقع بين مداري المريخ والمشتري. ولقد وثّق حتى الآن ما مقداره 150000 كويكب. ولكن وبكلّ تأكيد، فإنّ هناك الكثير منها لم يكشف بعد. لهذه الكويكبات أشكال وأحجام مختلفة. ولكن أكبرها - وهو كويكب سيريس - يقل قطره عن ألف كيلومتر. ومع أنّ سيريس من الكبر بما يكفي ليصبح مستديرًا تقريبًا، إلا أنّ معظم الكويكبات الأخرى لها أشكال حبات البطاطس. كما يظهر في الشّكل 26. 38.

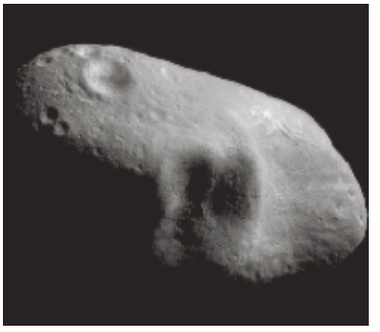
تبيّن الأدلة التي تمّ التّوصّل إليها أنه في أثناء نشأة النّظام الشّمسيّ، فإن نطاق الكويكبات حمل كتلا أكثر مما هي عليه الآن. ومن المرجح أنّ كتلة المشتري مزقت وشتتت مدارات هذه الكويكبات في اتجاهات مختلفة: فبعضها ذهب في اتجاه الكواكب الدّاخليّة. في حين ذهب بعضها الآخر خارج النّظام الشّمسيّ. وعلى سبيل المثال، يعتقد أنّ قمري المريخ هما في الأصل كويكبان. وما تبقى من نطاق الكويكبات صغير جدًّا. فلو جمعت بقايا الكويكبات الحالية كلّها معًا فإنها تشكّل كرة ذات حجم أقلّ من نصف حجم قمرنا.

ولقد سبب المشتري أيضًا تصادم الكويكبات بعضها ببعض، مما أدى لاحقًا إلى تكسرها إلى قطع أصغر. وهكذا، فبدلًا من تجميعها وبنائها لتشكّل كوكبًا فإنها طحنت وتناثرت. لقد وجدت قطع الكويكبات التي تسمى أشباه **الكويكبات** ***(Meteoroids)*** طريقها إلى الأرض حيث تسخن بفعل الاحتكاك مع الغلاف الجوي فتصبح بيضاء حارة. وعند دخولها إلى الغلاف الجوي، تحترق معطية وهجًا ناريًّا يسمى شهابًا (*Meteors*) (الشّكل 26. 39).

تسقط النيازك على سطح الأرض كلّه، ولكن أسهل الأماكن لإيجادها هو على السطح الجليدي الأبيض في المناطق القطبية. فهل لديك رغبة لجمع عيناتك الخاصة؟ إذن، سافر فورًا إلى القارة القطبية الجنوبية.



الشّكل 26. 37
يمكن أن يحدث الكسوف الكلي الكامل فقط عندما يتقاطع مدار القمر مع مستوى مدار الأرض والذي هو دائرة البروج. ويحصل كسوف الشّمس في النهار عندما يمر القمر أمام الشّمس. أما خسوف القمر فيحدث فقط في الليل عندما يمرّ البدر في ظل الأرض.



الشّكل 38.26
يبلغ طول الكويكب إيروس نحو 40 كم، وكما هو الحال في الأجرام الصغرى في النِّظام الشّمسيّ فإنه ليس مستديرًا.

وإذا ما كان هذا الجسم كبيرًا بما فيه الكفاية، فقد يصل إلى سطح الأرض، وعندها يسمى **نيزكًا *(meteorite)***. إنّ معظم أشباه الكويكبات والشهب والنيازك هي قطع جاءت من الكويكبات، ولكن بعضها قد يكون جاء من المذنبات كما سنرى لاحقًا. ولحسن الحظ فإنّ النيازك الصغيرة تضرب الأرض أكثر من الكبيرة تقريبًا؛ حيث يضرب الأرض يوميًّا نحو 200 طن من النيازك الصغيرة. وكلّ 10000 سنة تقريبًا، يضرب الأرض نيزك كبير محدثًا فوهة على سطح الأرض كالتي تشاهد في الشّكل 26. 40. وكل 100 مليون سنة تقريبًا، يضرب الأرض نيزك ضخم يترك فوهة بقطر 10 كم، وقد يؤدي ذلك إلى انقراض هائل للكائنات الحية، كما حدث قبل 65 مليون سنة في نهاية العصر الكريتاسي الذي نوقش في الفصل 21. وعليه، فإنّ من أحد أهداف ناسا اكتشاف 90% من الأجرام الكبيرة الواقعة بالقرب من الأرض كلّها. فإذا استطعنا اكتشاف القطع الفضائية الخطيرة في وقت مبكر بما فيه الكفاية، فبإمكاننا اتخاذ الإجراء لتعطيل دورته وتجنب التهديدات الكارثية.

نطاق كويبر والكواكب القزمة (The Kuiper Belt and Dwarf Planets)

الشّكل 39.26
يتولّد الشهاب عندما تدخل قطع الكويكبات على ارتفاع 80 كم إلى الغلاف الجوي. ومعظمها يكون حجم حباتها بحجم حبات الرمل. وتشاهد وهي تسقط أو تحترق.

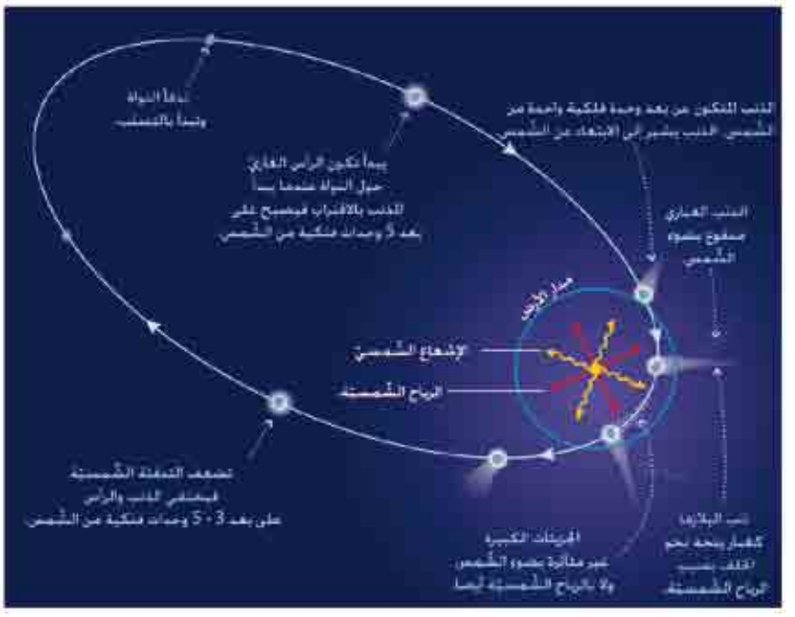
يقع نطاق كويبر *Kuiper belt* وراء نبتون، وعلى بعد يتراوح بين 30 - 50 وحدة فلكية *AU* (ويلفظ كويبر). ويتكون هذا النطاق من الكثير من الأجرام الصخرية المغطاة بالجليد. إن أشهر الأجرام في حزام كويبر هو بلوتو الذي كان صنف حتى وقت قريب على أنه كوكب. ومنذ اكتشافه عام 1930م، عرف الفلكيون أنه يختلف قليلًا عن الكواكب الأخرى المعروفة كلّها. فعلى سبيل المثال، فإنّ مدار بلوتو يميل بزاوية على مستوى النِّظام الشّمسيّ (دائرة البروج). كما أنه صغير جدًّا؛ حيث تبلغ كتلته سُبُعَ حجم قمرنا. وفي عام 1990م، بدأ الفلكيون اكتشاف عدة أجرام في حزام كويبر بحجم بلوتو وأحيانًا أكبر. ومنذ عام 2006م، فإنّ هذه الأجرام التي بحجم بلوتو صنفت وسميت **الكواكب القزمة**. إنّ السّبب الرئيس في أنها لا تعدّ من الكواكب بشكل كامل هو أنّ عليها دمج المواد الموجودة كلّها في مداراتها. فعند الحافة الخارجيّة للنظام الشّمسيّ، نجد المواد الموجودة هناك متناثرة لا تقوى على إحداث هذا الاندماج. وإنه لمن الطريف معرفة أنه لو كان نطاق كويبر أكثف مما هو عليه، فإنّ هذه الكواكب القزمة قد تكون نوى لمجموعة كواكب جوفينية إضافية جديدة. ولكن هذا مستحيل الحدوث، وهذا يعني أنّ نطاق كويبر هو نطاق آخر للكواكب التي لم تكتمل نشأتها.

إنّ الكواكب القزمة في نطاق كويبر بحاجة إلى زيارة من قبل المجسّات الفضائية. وستقوم مركبة نيوهرايزون بزيارة بلوتو وقمره شارون عام 2015. لقد أصبح لدينا نظرة عامة وتمهيدية عن هذا النطاق عندما التقطت مركبة فويجر 2 صورًا لقمر نبتون – تريتون. ويتوقع الفلكيون الآن أن يكون القمر تريتون أحد الكواكب القزمة في نطاق كويبر التي سحبت بالتأكيد، واصطيدت إلى مدار نبتون.

إنّ لأجرام نطاق كويبر الكبيرة كبلوتو كمية من القصور الذاتي. لذا فبالتأكيد ليس من السهل انفلاتها. في حين أنّ الأجرام الخفيفة تفلت في بعض الأحيان بالتأكيد. ففي بعض الأحيان، تقذف في اتجاه الشّمس؛ حيث ترتفع حرارتها، ومع وجود الرياح الشّمسيّة فإنّ هذا يؤدي إلى قذف الجليد والغازات الطيارة بعيدًا عن الشّمس. ونشاهد هذه الأجرام **كمذنبات *(Comets)***، تتميز بذنب طويل ومتألق أحيانًا. يبين غلاف هذا الكتاب السطوع غير العادي لمذنب (مك نوت) الذي مرّ قريبًا من الشّمس مبكرًا في عام 2007م. ويبدو أنّ دورة المذنبات التي جاءت من نطاق كويبر تبلغ 200 سنة. ومثال ذلك مذنب هالي الذي يعود إلى الكواكب الدّاخليّة في النِّظام الشّمسيّ كلّ 76 سنة، والتي تعادل مرة في حياة الإنسان تقريبًا (الشّكل 26. 43). ومن المتوقع أن تكون عودته القادمة عام 2061م.

الشّكل 40.26
تكوّنت فوهة بادينجر في أريزونا قبل 25000 سنة بفعل نيزك حديدي قطره 50 مترًا. تمتد الفوهة نحو 1.2 كم، وبعمق يصل إلى 200 م.

الشّكل 41.26
هذه الصور بالأشعة تحت الحمراء لبلوتو الذي يدور حوله قمره شارون، وهما ضبابيان غير واضحين بسبب صغر حجميهما وبعديهما الكبير عن الأرض.

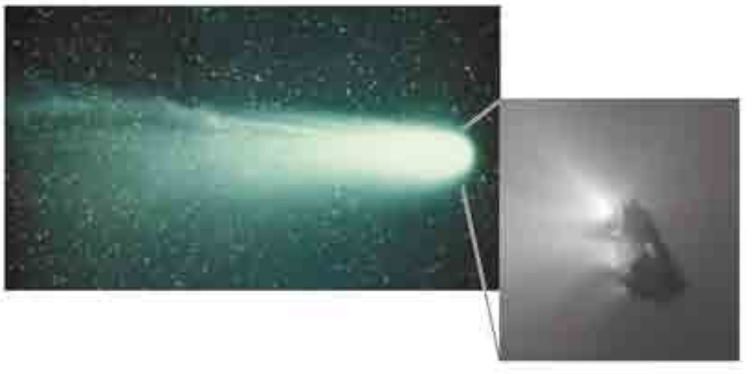


الشّكل 42.26
يسخن المذنب عندما يقترب من الشّمس ويبدأ في تكوين الرأس coma، وهو عبارة عن هالة من الغاز تحيط بنواة المذنب. ومن هذا الرأس يخرج ذنب يندفع خارجًا بعيدًا عن الشّمس بفعل الرياح الشّمسيّة. لاحظ كيف أنّ هذا الذنب يبتعد دائمًا عن الشّمس. إنّ معظم المذنبات لا تقوم بهذه العملية أبدًا، بل تبقى متجمدة بشكل أزليّ لأنّها بعيدة وخارجة عن تأثير نظامنا الشّمسيّ.

يبدو أنّ المذنبات توجد في موقعين على الأقل. فالأول هو نطاق كويبر الذي يقع تقريبًا في مستوى النّظام الشّمسيّ نفسه. أما الثاني فيقع أبعد من ذلك. فهو يحيط بالنّظام الشّمسيّ كلّه من الخارج كالسحابة.

سحابة أورت والمذنبات (The Oort Cloud)

كلما نمت الكواكب الجوفينية، قويت جاذبيتها، وهذا ما يجعلها أكثر فاعلية على سحب الفتات الواقع بين الكواكب. ولكن لم يسحب الفتات بشكله الكامل إلى الكواكب الجوفينية. وفي حالات كثيرة، فإن قطعة من الصخر أو الجليد تخطئ الالتحام بكوكب.



الشّكل 43.26
رُصد المذنب هالي منذ آلاف السنين. ومع أنه يزورنا بسطوعه المنتشر، إلا أنّ زيارته الأخيرة لنا عام 1986م لم تكن بهذه الفخامة عندما رصد من الأرض. ولقد كنا مستعدين بمجساتنا الفضائية للاقتراب منه لالتقاط صور مؤثرة لنواته.

الشّكل 44.26
هناك مجموعتان كبيرتان من المذنبات هما: نطاق كويبر وسحابة أورت.

لا تستمر معظم المذنبات في العادة أكثر من عدة دورات وتتحطم بعدها. ولكن إذا كان عمر النِّظام الشّمسيّ بلايين السنين فهل ستستنفد هذه المذنبات الآن؟
هذا السؤال أدى إلى فكرة سحابة أورت والتي تؤدي إلى تزويدنا باستمرار بمذنبات جديدة، والتي تحل محل المتحطم منها.

وبدلًا من ذلك فإنها تدور بسرعة حوله ثم يُقذف بها بعنف بعيدًا عن الكوكب وفي أي اتجاه. وعبر بلايين السنين نشأت كرة من هذه الأجرام البعيدة جدًّا تكاد ترتبط بنظامنا الشّمسيّ. تسمى هذه التجمعات من الأجرام البعيدة جدًّا **سحابة أورت**. إنّ الأدلة التي تمّ الوصول إليها تقترح أنّ هذه السحابة مكونة من تريليون جرم، وتمتد بعيدًا في الخارج حتى 50000 وحدة فلكية، أي ما يعادل نحو ربع المسافة لأقرب نجم إلينا. إنّ القليل من هذه الأجرام يذهب دوريًّا في اتجاه الشّمس ثم حولها، فيظهر لنا كمذنب. إنّ مدة الدورة لهذه المذنبات الآتية من هذه السحابة هي من مرتبة آلاف أو حتى ملايين السنين. وهي تأتي من أي زاوية تقريبًا.

وسواء جاءت المذنبات من نطاق كويبر أو من سحابة أورت، فإنه لا زال لديها احتمالية الاصطدام مع أيّ كوكب؛ ففي عام 1994م اصطدم المذنب شوميكر- ليفي بالمشتري بمنظر خلاب، كما يظهر في الشّكل 26. 45. ومن المحتمل أيضًا أن يكون التصادم النيزكي الذي ضرب الأرض قبل 65 مليون سنة، ما أدى إلى الانقراض الضخم للديناصورات، هو اصطدام مذنبي.

(ب)

(أ)

الشّكل 45.26
لقد تحطم المذنب شوميكر- ليفي إلى أجرام خطية مباشرة قبل تصادمه مع المشتري عام 1994م. ترينا الصورة عن اليسار (أ) بالأشعة تحت الحمراء التصادمَ الذي ولد الحرارة العالية وندبًا (البقع السّود)، كما يظهر في الصورة (ب) عن اليمين.

الجدول 2.26 بيانات زخات الشهب*

اسم الزّخّة	المشع	التاريخ	تاريخ قمة النشاط	عددالشهب/الساعة
الفرسيات	الفرس الأعظم	يناير 1 - 6	يناير 3	60
إيتا الدلويات	الدلو	مايو 1 - 10	مايو 6	35
البرشاويات	حامل رأس الغول	يوليو 23 - آب 20	أغسطس 12	75
الجوزاويات	الجوزاء	أكتوبر 16 - 27	أكتوبر 22	25
الأسديات	الأسد	ديسمبر 7 - 15	ديسمبر 13	75

* تبدو الشهب وكأنها تشعّ من جهة محددة في السّماء. تسمّى عادة مصدر الإشعاع. تعد مصادر الإشعاع هذه كويكبات. انظر إلى الفصل 27 لمعرفة المزيد عن أماكن وجود هذه المجموعات النجمية المختلفة في سماء الليل.

الشّكل 46.26
عندما تتقاطع الأرض مع مدار مذنب فإننا نشاهد زخات الشهب.

يترك ذنب المذنب خلفه بقايا من الجسيمات. وفي كلّ عام تمرّ الأرض من خلال بقايا ذيول المذنبات التي تؤدي إلى تكوين زخات من الشهب. كما يبدو في الجدول 2.26. إنه لأمر مدهش مشاهدة تلك الزخات من الشهب. اخرج وانظر إلى السّماء. سترى شهبًا في كلّ نظرة ثاقبة خلال كلّ دقيقة. إنّ كلّ شريط ضوئيّ ضيق هو قطعة صغيرة من مذنب وقع في يوم ما على جاره الأرض (الشّكل 46.26).

■ اختبر معلوماتك

نطاق الكويكبات ونطاق كويبر وسحابة أورت
1. أيها أقرب إلى الشّمس؟
2. أيها يولد مذنبات؟
3. أيها يعطينا معظم المذنبات؟
4. أيها يعطينا أكثر زخات الشهب بريقًا؟
5. أيها يتكون من قطع لن تلتحم مكونة كواكب أبدا؟

هل كانت هذه إجابتك؟
1. نطاق الكويكبات.
2. نطاق كويبر وسحابة أورت.
3. نطاق الكويكبات.
4. نطاق كويبر وسحابة أورت.
5. كلها

ملخص المصطلحات

الكواكب *Planets*: أجرام كبيرة تدور حول الشّمس، ذات كتل كبيرة بما يكفي لجعل جاذبيتها قادرة على تحويلها إلى كروية وصغيرة إلى درجة مناسبة لتجنيبها الاندماج النووي في اللب. واستطاعت تنظيف مداراتها من الفتات كلّه بنجاح.

دائرة البروج *Ecliptic*: مستوى مدار الأرض حول الشّمس. إنّ الأجرام الأساسية كلّها التي للنظام الشّمسيّ تدور في المستوى نفسه تقريبًا.

الكواكب الدّاخليّة *Inner planets*: الكواكب الأربعة التي تدور بما لا يزيد على وحدتين فلكيتين من الشّمس. وتضم كلًّا من عطارد، والزّهرة، والأرض، والمريخ. جميعها صخرية. وتعرف بالكواكب الأرضية.

الكواكب الخارجيّة *Outer planets*: الكواكب الأربعة التي تدور حول الشّمس ببعد يزيد على وحدتين فلكيتين وتضم كلًّا من المشتري، وزحل، وأورانوس، ونبتون. كلها غازية. وتعرف بالكواكب الجوفينية.

الوحدة الفلكية *Astronomical unit (AU)*: معدل بعد الأرض عن الشّمس، وتعادل نحو 1.5×10^8 كم، أي 9.3×10^7 ميل.

نظرية السّديم *Nebular theory*: فكرة تشير إلى أنّ الشّمس والكواكب نشأت معًا من سحابة من الغاز والغبار "السّديم".

البقع الشّمسيّة *Sunspots*: مناطق مؤقتة وباردة نسبيًّا وقاتمة على سطح الشّمس.

أطوار القمر *Moon phases*: دورات التغيير في شكل القمر، وتتراوح من جديد "محاق" ثم تزداد نموًّا حتى البدر، ومن ثمّ عودة إلى الجديد "محاق".

القمر الجديد *New Moon*: طور القمر المعتم "المحاق" حيث يغطي الظلام الوجه المقابل للأرض.

البدر Full Moon: طور القمر كامل الإضاءة حيث يضاء الوجه المقابل للأرض كلّه.

كسوف الشّمس *Solar eclipse*: ظاهرة سقوط ظل القمر على الأرض مكونًا مناطق ظلام في وضح النهار.

خسوف القمر *Lunar eclipse*: ظاهرة سقوط ظل الأرض على القمر مكونًا ظلامًا نسبيًّا على سطح البدر.

نطاق الكويكبات *Asteroid belt*: منطقة بين مداري المريخ والمشتري مكوّنة من قطع صغيرة صخرية تشبه الأرض وتدور حول الشّمس. تسمى هذه القطع الكويكبات والتي تعني باللغة اللاتينية "النجم الصغير".

أشباه الكويكبات *Meteoroid*: قطع صخرية صغيرة تقع في الفضاء بين الكواكب. وقد تتضمن قطعًا من الكويكبات أو المذنبات.

الشهاب *Meteor*: شبه كويكب يحترق عند دخوله الغلاف الجوي للأرض.

النيزك *Meteorite*: شبه كويكب أو جزء منه، وهو كبير بحيث ينجو عند دخوله الغلاف الجوي للأرض ويصل إلى سطحها.

نطاق كويبر *Kuiper belt*: منطقة على شكل قرص في السّماء وتقع بعد كوكب نبتون، وهي مكوّنة من أجرام جليدية. كما أنّها مصدر للمذنبات القصيرة الدورة.

الكواكب القزمة *Dwarf planet*: أجرام كبيرة نسبيًّا من الجليد كبلوتو، وتقع في نطاق كويبر.

المذنب *Comet*: جسم يتكوّن من الجليد والغبار، ويدور حول الشّمس، وعادة ما يكون في مدارات غير متمركزة، وفيه ذنب لامع يتولّد بفعل الإشعاع الشّمسيّ عند مروره قريبًا من الشّمس.

سحابة أورت *Oort cloud*: منطقة تقع بعد نطاق كويبر وتضم تريليونات من الأجرام الجليدية. وتعدّ مصدرًا للمذنبات الطويلة الدورة.

أسئلة مراجعة

1.26 النّظام الشّمسيّ ونشأته

1. ما عدد الكواكب المعروفة في نظامنا الشّمسيّ؟
2. ما اسم الكوكب القزم الذي استبعد من مجموعة الكواكب الشّمسيّة في عام 2006م؟
3. فيم تختلف الكواكب الخارجيّة عن الكواكب الدّاخليّة إضافة إلى الموقع؟
4. لماذا تزيد سرعة السّديم حول نفسه كلما انكمش؟
5. بناء على نظرية السّديم، هل بدأت الكواكب بالتكون قبل اشتعال الشّمس أم بعده؟

2.26 الشّمس

6. ماذا يحدث لكتلة الشّمس كلما احترقت؟
7. ما البقع الشّمسيّة؟
8. ما الرياح الشّمسيّة؟
9. فيم يختلف دوران الشّمس عن دوران جسم صلب؟
10. كم يبلغ عمر الشّمس؟

3 .26 الكواكب الدّاخليّة

11. لماذا يكون نهار عطارد حارًّا جدًّا وليله باردًا جدًّا؟
12. ما الكوكبان اللذان يكونان نجمي الصباح و المساء؟
13. لماذا تسمى الأرض الكوكبَ الأزرق؟
14. ما الغاز الذي يكوّن معظم الغلاف الجوي للمريخ؟
15. ما الدليل على أن المريخ كان يومًا ما أكثر رطوبة من الآن؟

4.26 الكواكب الخارجيّة

16. ما المعالم السطحية المشتركة لكلّ من المشتري والشّمس؟
17. أيّ حلقات زحل تتحرك بشكل أسرع: الدّاخليّة أم الخارجيّة؟
18. كم يميل محور أورانوس؟
19. لماذا يكون نبتون أكثر زُرْقة من أورانوس؟

5.26 قمر الأرض

20. لماذا لا يحتوي القمر على غلاف جوي؟
21. أين تقع الشّمس عندما يكون القمر بدرًا؟
22. أين تقع كلّ من الشّمس والقمر عندما يكون القمر جديدًا "محاقًا"؟
23. لماذا لا يحدث الكسوف والخسوف شهريًّا أو قريبًا من الشهر؟
24. لماذا يقارن معدل دوران القمر حول نفسه مع معدل دورانه حول الأرض؟

6.26 إخفاق نشأة الكواكب

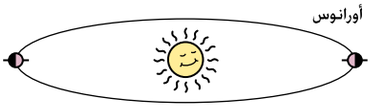
25. بَيِّنْ أي مداري كوكبين يقع نطاق الكويكبات؟
26. ما الفرق بين الشهاب والنيزك؟
27. ما نطاق كويبر؟
28. ما سحابة أورت؟ ولِمَ تراقب؟
29. ما النجم المخفق؟
30. ما الذي يجعل طرف المذنب يشير بعيدًا عن الشّمس؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ■ بناء على نظرية السّديم، ما الذي يحدث للسديم عندما ينكمش بقوة الجاذبيّة؟
2. ● ما الذي يحدث لشكل السّديم عندما ينكمش وتزيد سرعة دورانه حول نفسه؟
3. ■ ما الطّاقة التي تجعل الشّمس تضيء؟ ومن أي منظور يمكن القول إنّ الجاذبيّة هي المصدر الرئيس للطاقة الشّمسيّة؟
4. ■ عادة ما تكون شاشة التلفاز رمادية فاتحة وهي غير مضاءة. فكيف يكون سواد البقع الشّمسيّة شبيهًا بسواد الصورة على شاشة التلفاز؟
5. ■ عندما تدور كرة غازية حارة قرصية الشّكل حول نفسها فإنها تأخذ بالتبريد. لماذا؟
6. ♦ لو لم تدر الأرض حول نفسها واستمرّت في الدوران حول الشّمس، فكم سيكون طول النهار على الأرض؟

7. ♦ لو لم تدر الأرض حول محورها وبقيت تدور حول الشّمس، فهل ستغيب الشّمس في الشرق أم في الغرب، أم ليس في أيّ منهما؟
8. ● يظهر أثر الدفيئة واضحًا في الزّهرة، ولكنه لا يوجد على عطارد أبدا. لماذا؟
9. ● أين تتكوّن العناصر الأثقل من الهيدروجين والهيليوم؟
10. ● ما أسباب تكوّن الرياح على المريخ (وفي معظم الكواكب الأخرى)؟
11. ■ لماذا لا يكون على سطح الزّهرة إلا قليل من الرياح؟
12. ♦ لو انتقلت الزّهرة إلى النطاق القابل للحياة فهل ستصبح ظروفه مناسبة للحياة؟
13. ● ما الاختلافات الرئيسة بين الكواكب الأرضية وكواكب المشتري؟
14. ● ما العوامل المشتركة بين المشتري والشّمس في حين لا تشترك فيها الكواكب الأرضية؟ وبماذا يتميز المشتري عن النجم؟
15. ■ في الأجرام السماوية كالكواكب والنّجوم، لماذا لا يكون الحجم الكبير ذا كتلة كبيرة بالضرورة؟
16. ■ لماذا تختلف فصول أورانوس عن فصول أي كوكب آخر؟



17. ■ ما الظروف التاريخية المتشابهة التي ربطت بين نبتون وبلوتو مع العنصرين: نبتونيوم وبلوتونيوم؟
18. ● تدور الأرض حول نفسها أسرع كثيرًا من الزّهرة. فكيف تفسر نظرية الاصطدام العظيم لنشأة القمر هذه الحقيقة؟
19. ● لماذا تظهر فوهات الارتطام على سطح القمر بكثرة، في حين لا تظهر على سطح الأرض؟
20. ■ لماذا لا يوجد غلاف جوي على سطح القمر؟ دافع عن إجابتك.
21. ■ هل تدل الحقيقة القائلة (لا نرى إلا وجهًا واحدًا للقمر) على دوران القمر حول نفسه أم عدم دورانه؟ دافع عن إجابتك.

(أ) (ب)

22. ♦ الصورة (أ) تبين القمر مضاءً جزئيًّا من الشّمس. الصورة (ب) تبين كرة الطاولة معرضة لأشعة الشّمس. قارن بين مكاني الشّمس في السّماء عندما أخذت كلتا الصورتين. هل الصورتان تنفيان أم تثبتان أنهما أخذتا في اليوم نفسه؟ دافع عن إجابتك.
23. ♦ نحن نرى دائمًا وجهًا واحدًا للقمر لأنّ دورانه حول محوره يأخذ الزمن نفسه لدورانه حول الأرض. فهل الراصد للأرض من سطح القمر يرى وجهًا واحدًا لها أيضًا؟
24. ■ لما كنا لا نرى إلا وجهًا واحدًا للقمر، في حين لا نرى الوجه الآخر أبدا، فهل الراصد للأرض عن الوجه المعتم للقمر يرى الأرض أيضًا؟
25. ● في أيّ وضع من اصطفاف الشّمس والقمر والأرض يحدث كسوف الشّمس؟
26. ● في أيّ وضع من اصطفاف الشّمس والقمر والأرض يحدث خسوف القمر؟
27. ● ما العوامل المشتركة بين القمر والإبرة المغناطيسية عادة؟
28. ♦ لو كنت على سطح القمر ورأيت الأرض كاملة، فهل يكون الوقت على سطح القمر نهارًا أم ليلًا؟
29. ♦ لو كنت على سطح القمر ورأيت أرضًا جديدة "محاقًا" فهل يكون الوقت على سطح القمر نهارًا أم ليلًا؟
30. ♦ تستغرق الأرض 365.25 يومًا لدورانها حول الشّمس. فلو استغرقت الأرض الزمن نفسه لدورانها حول نفسها، فكيف يمكن أن نشاهد مكان الشّمس في السّماء؟
31. ● في أيّ طوريّ القمر ترصد النّجوم: البدر أم المحاق؟ هل هناك اختلاف؟
32. ● في الغالب، كلّ إنسان شاهد خسوف القمر، ولكن القليل من الناس تقريبًا شاهد كسوف الشّمس. لماذا؟
33. ■ نتيجة لظلّ الأرض على القمر، يحدث خسوف جزئيّ لهذا القمر يشبه الكعكة المأكول منها قضمة. فسر برسم تخطيطي كيف أن انحناء هذه القضمة تدل على حجم الأرض بالنسبة إلى حجم القمر. كيف يؤثر النقص التدريجي لأشعة الشّمس في انحناء القضمة؟
34. ■ بأيّ مفهوم يعدّ بلوتو مذنّبًا؟
35. ■ تقذف القطع الصغيرة من الكويكبات في اتجاه الأرض أكثر كثيرًا من القطع الكبيرة. لماذا؟
36. ● لماذا تشاهد النيازك بسهولة في القارة القطبية الجنوبية أكثر من أيّ قارة أخرى؟
37. ● يرى الشهاب مرة واحدة فقط، ولكن المذنب قد يرى بانتظام وفقًا لدورات محددة في حياته. لماذا؟
38. ● ما نتيجة مرور ذنب المذنب عبر الأرض؟
39. ■ إنّ حظوظ مشاهدة مذنب واحد على الأقل في سماء الليل لم يكتشف من قبل هي 50%. وهذا يجعل الفلكيين الهواة مشغولين دائمًا وليلة بعد أخرى لاكتشاف أحد المذنبات لينالوا شرف تسميتها بأسمائهم. ومع الاحتمالية الكبيرة لوجود هذه المذنبات في السّماء، لماذا لم يكتشف الكثير منها؟
40. ■ بالرجوع إلى حفظ الطّاقة ومفهومها، صف سبب احتراق المذنبات في النهاية.

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● إذا علمنا أنّ سرعة الضوء 300000كم/ ثانية، فبين كيف أنّ ضوء الشّمس يستغرق نحو 8 دقائق للوصول إلى الأرض؟
2. ■ كم يومًا يستغرق ضوء الشّمس لقطع مسافة 50000 وحدة فلكية (*AU*) من الشّمس وحتى الحدود الخارجيّة لسحابة أورت؟

3. ■ السنة الضوئية وحدة معيارية لقياس المسافات عند الفلكيين. وهي المسافة التي يقطعها الضوء في السنة الأرضية . كم يبلغ قطر نظامنا الشّمسيّ بوحدة السنة الضوئية حتى الحدود الخارجيّة لسحابة أورت على نحو تقريبيّ؟ (افترض أنّ السنة الضوئية الواحدة تعادل 63000 وحدة فلكية *AU*).

4. ■ أقرب النّجوم إلى شمسنا هو نجم ألفا قنطورس الذي يبعد نحو 4.4 سنة ضوئية. افترض أنّ له أيضًا سحابة أورت وبقطر تقريبي 1.6 سنة ضوئية. بين أنّ هناك فراغًا كافيًا بينه وبيننا يتسع لـ 1.75 نظام شمسيّ.

5. ♦ لو كانت الشّمس بحجم كرة الشاطئ، لكانت الأرض بحجم حبة الحمص، وتبعد عنها 110 أمتار. بيّن أنّ أقرب النّجوم ألفا قنطورس (يبعد 4.4 سنة ضوئية) سيكون على بعد 30000 كم. (أوجد المسافة إلى ألفا قنطورس بالوحدات الفلكية *AU*).

أنشطة استكشافية

قمر كرة الطاولة

أحضر كرة طاولة في يوم لاحق عندما يكون القمر ظاهرًا. ارفع الكرة بيدك، ومدّها في اتجاه القمر بحيث تغطي الكرة القمر كله. انظر جيدًا لترى كيف تضاء الكرة من الشّمس. لاحظ أنّ القمر يضاء من الشّمس بالطريقة نفسها. وعلى سبيل المثال، انظر إلى الصورتين المرفقتين في التمرين 22. لمشاهدة الأطوار المختلفة للقمر الذي قد يكون في أماكن مختلفة في السّماء، حرّك الكرة في مواقع مختلفة. لاحظ أنه كلما حركت الكرة مقتربة من الشّمس فإنّ الهلال على الكرة يصبح أصغر. إنّ الشيء نفسه يحدث مع الشّمس. تعدّ هذه التجربة طريقة جيدة لتفحص استدارة القمر.

أطوار القمر

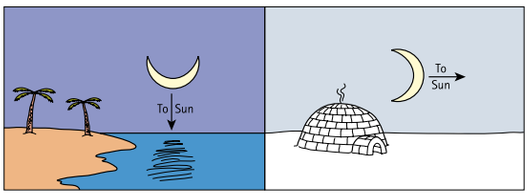
محاكاة أطوار القمر. أدخل قلم رصاص في كرة مطاطية *Styro-foam* لتمثيل القمر. ضع مصباحًا يمثّل الشّمس في غرفة أخرى قريبًا من الممر. ارفع الكرة أمامك وأعلى منك قليلا. در ببطء مع الحفاظ على الكرة أمامك كلما استدرت. لاحظ شكل الضوء والظل على الكرة. اربط ذلك مع أطوار القمر.

حركة القمر

عندما تشاهد دوران الأرض من القطب الشمالي فإنك ستجدها تدور حول نفسها عكس اتجاه عقارب الساعة أو في اتجاه الشرق. إنّ هذا يعني أنّ النّجوم وكأنها تتحرك في الاتجاه المعاكس أي في اتجاه الغرب. وهذا يشبه تمامًا وضعك عندما تجلس في قطار يبدأ بالحركة في اتجاه الشرق. إنّ الطريقة الوحيدة التي تعرف منها أنك تتحرك شرقًا هي أنك ترى من الشباك أنّ الأجرام في الخارج تتحرك غربًا. وبما أنّ الأرض تدور عكس اتجاه عقارب الساعة، فإنّ القمر يدور حولنا في الاتجاه نفسه، ولكن ليس بسرعة دورانا. انظر إلى مكان القمر في ساعة ما في ليلة ما، ولتكن 11,00 مساء. انظر إلى القمر في الليلة الآتية في الوقت نفسه. ستلاحظ أنّ القمر تحرك شرقًا (عكس اتجاه عقارب الساعة) عن مكانه في الليلة الماضية.

تقدير خط العرض

يشير هلال القمر دائمًا إلى الشّمس. ويمكنك استعمال هذه الحقيقة لتقدير خط العرض الذي توجد عليه. فعند خط الاستواء (خط الصفر)، يكون هلال القمر مستويًا مع الأفق، ولكن عند القطب (خط عرض 90°) فإنّ هلال القمر يقف على حافته. (يحدث انحراف صغير عن هذا الوضع عندما يقع القمر خارج دائرة البروج). في المرة القادمة التي ترى فيها هلال القمر القريب من الأفق، انظر جيدًا إلى زاويته وحاول تقدير خط العرض. إنّ هذه العملية تكون أكثر دقة عندما يمرّ القمر في دائرة البروج، أي عندما يقع القمر على خط واحد مع الكوكب.



عروض الفضاء

يمكن توقع مواعيد حدوث زخات الشهب كما يرى في الجدول 26. 2. أما شدة هذه الزخات فما زالت في دور التخمين. لذا، استمر في مشاهدة السّماء في الليل لرؤية هذه الزخات. وخلال قيامك بهذا الأمر، تذكّر الفرق بين أشباه الكويكبات، والنيازك، والشهب، والمذنبات. ومن الأمور القابلة للرصد في سماء ليلنا، خسوف القمر الذي يمكن مشاهدته من قبل أيّ إنسان على سطح الأرض الليلي في أثناء الخسوف (على افتراض أنّ السّماء صافية). وفيما يلي تواريخ ظواهر الخسوف القادمة للقمر في شمال أمريكا:

التاريخ	الحالة
21/2/2008	كليّ
9/2/2009	جزئيّ
7/7/2009	جزئيّ
6/8/2009	جزئيّ
26/6/2010	جزئيّ
21/12/2010	كليّ
10/12/2011	كليّ
4/6/2012	جزئيّ

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤال مما يلي:

1. تحوي الشّمس من كتلة النّظام الشّمسيّ:
أ. نحو 35%
ب. 85%
جـ. النسبة متغيرة مع الزمن
د. أكثر من 99%

2. يشبه النّظام الشّمسيّ الذرة لأنّ كلّا منهما:
أ. محكوم مبدئيًّا بالقوة الكهربائية.
ب. يتكون من جسم مركزي محاط بأجرام تدور في مدارات إهليلجية
جـ. مكوّن من بلازما
د. فراغ فضائي بشكل رئيس.

3. تقوم النّظريّة السّديمية أساسًا على مشاهدات أنّ النّظام الشّمسيّ:
أ. عالي الترتيب، مما يدل على أنه نشأ بخطوات مرتبة بعمليات فيزيائية.
ب ذو تركيب يشبه الذرة كثيرًا جدًّا.
جـ. معقد جدًّا، ويبدو أنه بني بطرق غير واضحة.
د. يبدو أنه قديم جدًّا.

4. عندما يدور جسم غازي كروي حار منكمش يتحول إلى قرص حول نفسه، فإنه يبرد سريعًا بسبب:
أ زيادة انتقال الإشعاع.
ب. زيادة مساحة السطح.
جـ نقص العزل.
د. زيادة تيارات الحمل.
هـ. تيارات دوّامية.

5. في كلّ ثانية، كتلة الشّمس المحترقة:
أ .تزداد.
ب. لا تتغير.
جـ. تنقص.

6. مقارنة بوزنك على الأرض، فإن وزنك على المشتري يكون:
أ. أكثر 3000 مرة
ب. نصف وزنك على الأرض
جـ. 3 أضعاف.
د. أكثر 300 مرة
هـ. أكثر 100 مرة

7. عندما يظهر القمر في صورة هلال رفيع، فإنّ مكان الشّمس يكون:
أ. خلف القمر تقريبًا.
ب خلف الأرض تقريبًا. أي أنّ الأرض تكون بين القمر والشّمس.
جـ. بزاوية قائمة على الخط الواصل بين القمر والأرض.

8. عندما تمر الشّمس بين القمر والأرض يحدث:
أ. خسوف القمر.
ب. كسوف الشّمس.
جـ موتنا المحتوم.

9. تدور الكويكبات حول:
أ. القمر.
ب الأرض.
جـ. الشّمس.
د. كلّ ما ذكر.
هـ. لا شيء مما ذكر.

10. في كلّ مرة يجتاز فيها المذنب الشّمس، فإنّ كتلة المذنب:
أ. تبقى دون تغيير.
ب. تزداد.
جـ. تنقص.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة
1 د، 2 جـ، 3 أ، ب، 4 د، 5 أ، 6 جـ، 7 ب، 8 جـ، 9 د، 10 جـ

اكتشف المزيد

http://www.astro.uva.nl/demo/od95

شمس الأرض هي نجم نموذجي، وقد تم فهمها جيداً. قُم بجولة افتراضية للشمس من خلال هذا المساق العلمي القصير والجذاب الذي يحتوي الكثير من الافلام، والرسوم البيانية، والصور من الدرجة الأولى، والتفسيرات والشروح. تأكد من اطلاعك.

http://solar-center.staner.stanford.edu

تعتبر هذا الموقع حول الشمس والحائز على العديد من الجوائز نقطة مضيئة على الشبكة عن الشمس. وللإطلاع على الخلفية العلمية حول هذا الموضوع، ادخل إلى العنوان «حول الشمس» للحصول على معلومات حول فيزياء الشمس. هذا وستكون القنون، والأداب، والفلولكلور حول الشمس أفضل خاتمة بحولتك في الموقع.

http://cannon.sfsu.edu/-gmarcy/cswa/history/history.html

لعبت المرأة دوراً بطولياً في علم الفلك عبر التاريخ فمنذ عهد الراصدين الأوائل الذي يوضعوا قوائم النجوم وحتى رجال الفضاء في العصر الحالي وعلماء الابحاث. أنقر فوق اسماء النساء الشهيرات في علم الفلك، وأقرأ حول انجازاتهن، وتعرف أكثر حول اهتماماتهم في الحياة. يتضمن الموقع أيضاً صوراً جميلة من الأرشيف.

http://www.solarviews.com/eng/history.htm

هذا الموقع هو من المواقع الكثيرة جداً؛ حيث يبحث في تاريخ استكشاف الفضاء. أنظر على المحتوى وستجد الخطوط العريضة لمجموعة ضخمة من الخيارات حول الموضوع. سيساعدك مسرد الرسوم الوصول الى الصورة بسهولة.

htpp://sse.jpl.nasa.gov/index.cfm

يتضمن موقع ناسا لاستكشاف النظام الشمسي صوراً مذهلة للكواكب، وأقمارها، والأجسام الأخرى في النظام الشمسي.

الفصل 26 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 26.19

دروس تعليمية

- تكون النظام الشمسي
- الشمس

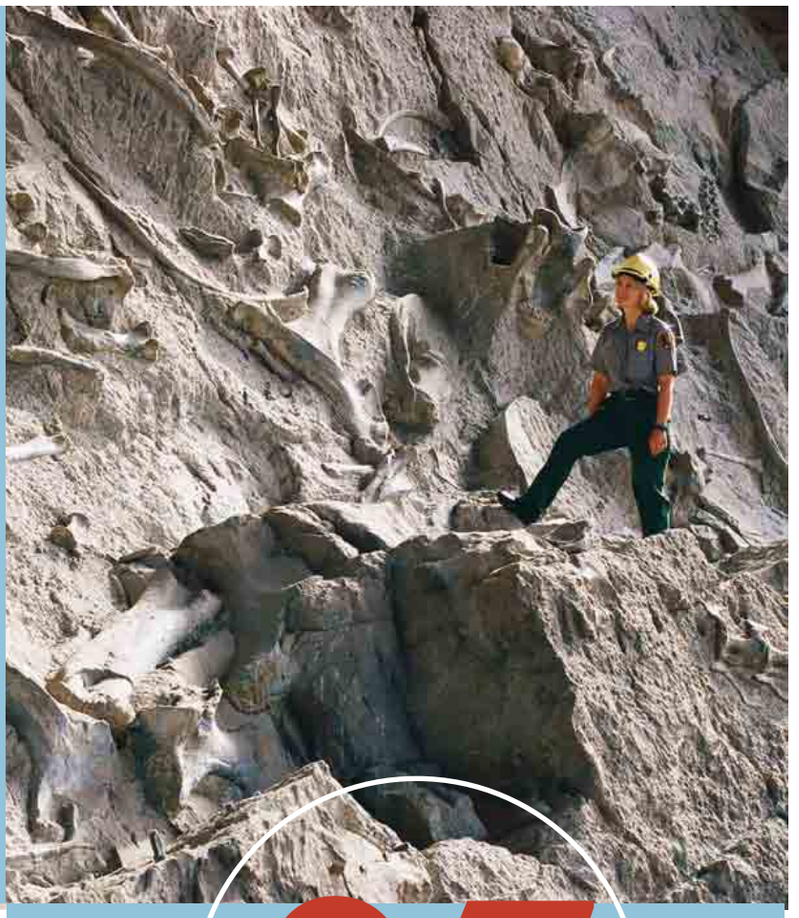
أشرطة فيديو

- تاريخ النظام الشمسي
- مدارات في النظام الشمسي

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط



النجوم والمجرات

27

1.27 رصد السّماء في اللّيل

2.27 سطوع النّجوم وألوانها

3.27 مخطط هيرتزبرونج – رسل

4.27 دورة حياة النّجوم

5.27 الثّقوب السّوداء

6.27 المجرّات

■ تعـود علـوم الفلك إلى ما قبل التاريخ عندما بدأ الإنسـان رصد أنظمة النّجوم في السّـماء ليلًا. ومع أنّ الإنسـان القديم طوّر طرقا لقيـاس أماكن حركة النّجوم ودوراتها، إلا أنه لم يعرف شيئا عن ماهيتها. إنّنا الآن نعلم أنّ الأرض تدور حول نجم؛ إنه شمسـنا. كما نعلم أنّ النّجوم كلّها التي نشاهدها في السّماء ليلًا أبعد كثيرا عنا من الكواكب الأخرى. قد نتوقع في ليل دون قمر أن ما نشاهد من نجوم يبلغ عدة آلاف أو ملايين. ولكن فـي الواقع أنّ ما نراه بالعين المجردة لا يزيد في أكثر الحالات على 3000 نجم من أفق إلى أفق. ولكن أعدادا أكثر كثيرا يمكن أن تشاهد باستعمال المقراب، وخصوصا عندما يكـون موجّهـا في اتجاه ما يشـبه حزمة الغيـوم الممتدة من الشّـمال إلى الجنوب. ولقد سـمّى اليونان القدماء هذا الحزام بطريـق الحليب "درب التبانـة". واليوم، نعلم جيدا أنّ درب التبانة مكونة من تجمع ضخم يزيد على 100 بليون نجم. إنّ شمسـنا والنّجوم الأخرى كلّها في سـمائنا ليلًا تقع في الحافة الخارجيـة لهذا التجمع. فعندما تراقب عن بُعْد، كما ترى في الرسوم

التوضيحية في مقدمة الفصل، فإنّ هذه النّجوم كلّها تظهر كدوّامة ضخمة من النّجوم تعرف بالمجرة galaxy. لقد كانت حزمة الضّوء التي عرفها الإغريق القدماء، هي حافة المشهد لهذه المجرة. وعندما استخدمت المقارب الحديثة بعيدًا عن درب التبانة، اكتشف المزيد من المجرّات. فما عدد هذه المجرّات؟ مرة أخرى، الجواب أكثر من 100 بليون. وهكذا، فهناك أكثر من 100 بليون مجرة، تحتوي كلّ واحدة في المعدل على 100 بليون نجم. أي أنّ مجموع النّجوم في كوننا المرصود يبلغ أكثر من 100 بليون × 100 بليون نجم. وهذا أكثر من مجموع عدد حبات الرّمال الواقعة على شواطئ الأرض جميعها؛ النّجوم كثيرة جدًّا.

في هذا الفصل، سوف نستكشف طبيعة النّجوم؛ كيف نشأت، وكيف تموت، وكيف تنتظم في المجرّات. وسنستكشف أنّ هناك العديد من أنواع النّجوم، إضافة إلى العديد من أنواع المجرّات المختلفة. وسنلقي نظرة قريبة إلى النّجوم المرئية بالعين المجردة. وبالمقارنة بالحجم الكلي لمجرة درب التبانة (Milky Way Galaxy)، فإنّ هذه الآلاف من النّجوم تشبه جيراننا المباشرين.

1.27 رصد السّماء في اللّيل

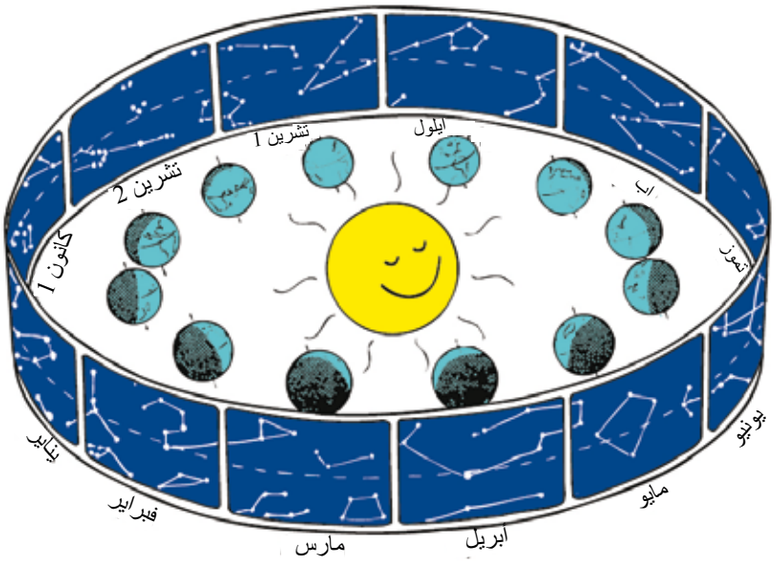
لقد قسّم الفلكيون الأوائل السّماء في الليل إلى مجموعات نجمية أسموها بُروجًا (constellations). كما هو الحال في النّجوم السبع التي نسميها الآن بنات نعش (*Big Dipper*) (وهي جزء من كوكبة الدّبّ الأكبر)(*The Great Bear*). إن أسماء هذه المجموعات تحمل في هذا العصر أسماء أطلقها عليها الفلكيون الإغريق القدماء والبابليون والمصريون. فعلى سبيل المثال، ضمّن الإغريق النّجوم السّبع للدّب الأكبر في مجموعة أكبر من النّجوم لها شكل الدّبّ. هذه المجموعة أو الكوكبة الأكبر هي الدّبّ الأكبر موضحة في الشّكل1.27. وقد اختلف تجميع النّجوم في مجموعات من حضارة إلى أخرى؛ ففي بعض الثقافات، ألهمت المجموعات النّجميّة كتّاب الحكايات والروايات وصناعة الأساطير والخرافات؛ في حين أنها تمثلت الأبطال العظماء كهرقل والجبار في ثقافات أخرى؛ وفي غير هذه وتلك فهي الهادي والدّليل للمسافرين والبحارة. ولحضارات كثيرة. ومن بينهم البوشمن الأفارقة والمساي.. فإنّ هذه المجموعات النجمية قد زوّدتهم بمواعيد زراعة المحاصيل وحصادها. لأنهم وجدوا أنها تسير في السّماء بتناغم مع الفصول. ولقد وضعوا مخططات للحركة الدورية لهذه المجموعات والتي تعدّ أول التقاويم. ومن الشّكل2.27يمكننا مشاهدة أنّ خلفية النّجوم تختلف وفق الوقت في السّنة.

الشّكل 1.27
كوكبة بنات نعش الكبرى، الدّبّ الأكبر.النّجوم السّبعة التي في ذنب الدّبّ الأكبر وظهره الخلفي هي بنات نعش الكبرى

إنّ وضع النّجوم في مجموعات يدلنا على طريقة تفكير الفلكيين الأوائل ولكنه لا يزودنا بفهم مناسب عن كنهها.

تقع النّجوم على أبعاد مختلفة من الأرض. وبما أنّ النّجوم جميعها بعيدة جدًّا عنا. فإنها تبدو متساوية البعد. ولقد قاد هذا الخداع الإغريق القدماء والآخرين إلى الاعتقاد والتصور أنّ النّجوم مربوطة إلى كرة عملاقة تحيط بالأرض تدعى **الكرة السّماويّة "القبّة السّماويّة" *celestial sphere***. ومع أننا نعلم حقّ العلم أنّ هذا الأمر خياليّ. إلّا أنّ هذه الكرة السّماويّة لا زالت تخيلًا مفيدًا في تصور حركة النّجوم (الشّكل 3.27).

تبدو النّجوم وكأنها تدور حول محور تخيليّ يتجه شمالا – جنوبًا كلّ 24 ساعة. هذه هي *الحركة اليومية* للنجوم. ويمكن تصور هذه الحركة اليومية بسهولة وكأنها دوران للقبة السّماويّة من الشّرق إلى الغرب. إنّ هذه الحركة هي نتيجة منطقية للدوران اليومي للأرض حول محورها في عكس اتجاه عقارب السّاعة.

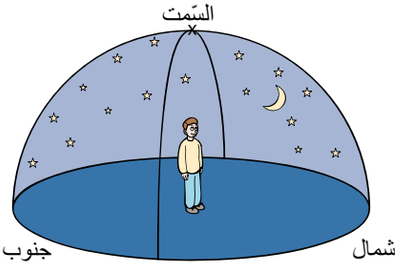


الشّكل 2.27

يكون الجانب المظلم "الليل" من الأرض دائمًا متجهًا عكس الشّمس. وبدوران الأرض حول الشّمس، نرى أجزاء مختلفة من الكون في السّماء ليلا. وهنا تقسم الدورة الكاملة التي تمثل عامًا كاملا إلى 12 جزءًا وهي المجموعات النّجمية الشهرية. وتتغير النّجوم في السّماء ليلًا وفق دورة سنوية.

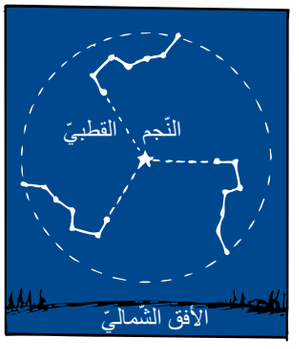
فعندما نتحدث عن الحركة اليومية للنجوم، فإننا نرجع إلى حركات الأجرام السّماويّة ككل؛ وهذه الحركة لا تؤثر في الأماكن النسبية للأجسام. يبين الشّكل 4.27 الحركة اليومية للنجوم التي تكوّن الدّبّ الأكبر. وتبيّن الصور المعروضة مع الزّمن أنّ الدّبّ الأكبر يتحرك في دائرة حول القطب الشّماليّ (الشّكل 5.27). ويبدو القطب الشّماليّ ثابتًا. والكرة السّماويّة تدور لأنه يقع قريبًا جدًّا من مسقط محور دوران الأرض.

وبالإضافة إلى الحركة اليومية للسماء، هناك حركة فعليّة وحقيقيّة لبعض الأجرام التي تغير أماكنها بالنسبة إلى النّجوم: فالشّمس والقمر والكواكب التي سميت بالجوّالة أو السّيّارة من قبل الفلكيين القدماء تبدو أنها تغير أماكنها وتنتقل إلى الخلفية الثابتة للقبة السّماويّة. ولكن من الممتع لنا أن نعلم أنّ النّجوم نفسها لها حركة فعلية حقيقية. إلا أنّ بعدها الشديد لا يبدي لنا هذه الحركة في الزّمن القصير لحياة الإنسان. وكما يبدو في الشّكل 6.27، وعبر آلاف السنين، فإنّ الحركة الفعلية للنّجوم تؤدي إلى أنماط جديدة لها. وبكلمات أخرى، فإنّ المجموعات النجمية التي نراها اليوم مختلفة قليلًا عن تلك التي ظهرت لأجدادنا القدماء.



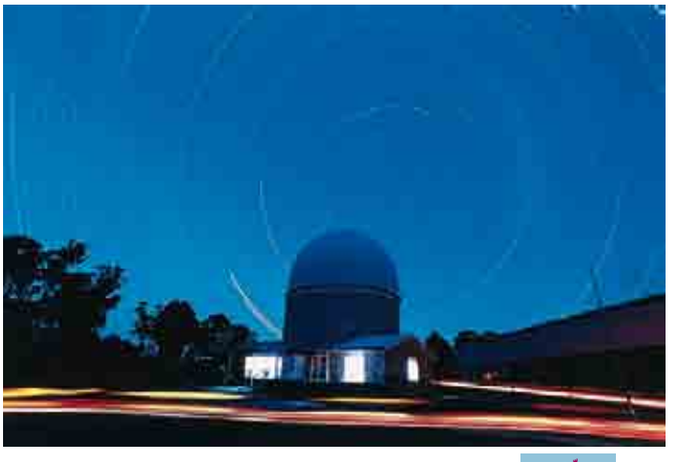
الشّكل 3.27

القبة السّماويّة كرة تخيلية حيث ترتبط بها النّجوم. ونحن لا نرى إلا نصف الكرة السّماويّة في أيّ وقت. ونسمّي النقطة التي تقع مباشرة فوق رؤوسنا بالسّمت Zenith



الشّكل 4.27

يشير النّجمان اللذان يقعان في نهاية مغرفة بنات نعش(الدليلان)، إلى الشمال. فالأرض تدور حول محورها، ومن ثم حول النّجم القطبي الشّماليّ. وهكذا، ففي دورة 24 ساعة، يدور الدّبّ الأكبر (والنّجوم المحيطة) دورة كاملة.



الشّكل 5.27

صورة طويلة المدة تبين كيف يبدو شمال السّماء في الليل .

■ **نقطة فحص**

1. ما الأجرام السّماويّة التي تبدو ثابتة بالنسبة للأجرام الأخرى، وما الأجرام السّماويّة التي تبدو متحركة؟
2. ما نوعا الحركة المنظورة للنجوم في السّماء؟

هل كانت هذه إجابتك؟

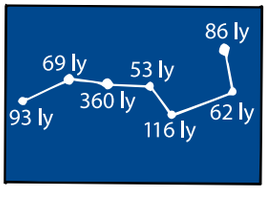
1. تبدو النّجوم وكأنها ثابتة عند حركتها وسط السّماء. أما الشّمس والقمر والكواكب فإنّ كلا منها يتحرك بالنسبة إلى الآخر عندما تتحرك عبر الستارة الخلفية للنجوم.
2. إنّ أحد أنواع الحركة للنجوم هو دورانها الليلي، وكأنها مطلية على كرة سماوية تدور؛ وهذا نتيجة دوران الأرض حول محورها. كما تبدو النّجوم أيضًا أنها تقوم بحركة دورية سنوية حول الشّمس بفعل دوران الأرض حول الشّمس.

الشّكل 6.27
الوضع الحالي للدب الأكبر. ونستطيع هنا مشاهدة أوضاعه.
(أ) قبل 100000 عام.
(ب) الوضع الحالي.
(ج) في المستقبل بعد 100000 سنة.

إنّ بعض النّجوم في الكرة السّماويّة هي في الواقع أبعد من بعضها الآخر عن الأرض. ويقيس الفلكيون المسافات الهائلة بين الأرض والنّجوم *بالسّنة الضّوئيّة*. **فالسّنة الضّوئيّة *(Light-Year)*** هي المسافة التي يقطعها الضّوء في سنة كاملة، وتعادل تقريبًا 10 تريليونات كيلومتر. فإذا تصوّرنا الرّسم المنظوريّ فسنرى أنّ قطر دوران نبتون هو 0.001 سنة ضوئية، وأنّ المسافة بين الشّمس والحافة الخارجية لغيمة أورت (وهذا هو كامل نصف القطر للمجموعة الشّمسيّة) هي 0.8 سنة ضوئية. كما أنّ النّجم الأقرب لشمسنا وهو قنطورس القريب يبعد عنها 4.2 سنة ضوئية، وأنّ قطر مجرة درب التبانة حوالي 100000 سنة ضوئية، إلى جانب أنّ أقرب المجرّات إلينا، مجرة الأندروميدا أو (المرأة المسلسلة)، تبعد عنا نحو 2.3 مليون سنة ضوئية. ويبين الشّكل 27 . 7 المسافات إلى النّجوم السّبعة التي تشكّل الدّبّ الأكبر بالسنين الضّوئيّة.

إنّ سرعة الضّوء (كما رأينا في الفصل 11) هي $3x10^8$ متر/ ثانية. ومع أنّ هذه السرعة كبيرة جدًّا، إلا أنّ الضّوء يأخذ وقتًا لا بأس به للانتقال مسافات طويلة. وهكذا، فعندما ترى الضّوء ينتشر من جسم بعيد جدًّا، فإنك في الواقع ترى ضوءًا صدر منذ زمن طويل؛ أي أنك تنظر إلى الزّمن القديم. ولنأخذ مثالا على هذا النّجمَ المستعرَ (سوبرنوفا) الذي حدث عام 1987م (السوبرنوفا هو انفجار أحد النّجوم. كما سندرس بالتفصيل في البند 27 . 4). لقد حدث السوبرنوفا في مجرة تبعد عن الأرض 190000 سنة ضوئية. ومع أننا شاهدنا السوبرنوفا عام 1987م، إلّا أنّ الضّوء الذي حدث بفعل هذا الانفجار قد حدث قبل 190000 سنة، واستغرق هذا الزمن الطّويل حتى وصل إلينا. إنّ أخبار السوبرنوفا في الواقع استغرقت 190000 سنة للوصول إلى الأرض!

■ 27 . 2 سطوع النّجوم وألوانها



الشّكل 7.27
تقع النّجوم السّبع في الدّبّ الأكبر على مسافات مختلفة من الأرض. انظر الاختلاف في المسافات بالسّنوات الضّوئيّة في الشّكل أعلاه.

إن النّجوم جميعها لديها صفات مشتركة مع الشّمس؛ فكلها نشأت عن غيوم من الغبار ما بين النّجميّة ذات التركيب الكيميائيّ كتركيب الشّمس (الفصل 26). فنحو ثلاثة أرباع المواد ما بين النّجمية التي يتكون منها أيّ نجم هي من الهيدروجين، أمّا الربع الرابع فهو الهيليوم؛ وتكون العناصر الكيميائيّة الأخرى والأثقل في النّجوم ما لا يزيد على 2%. تضيء النّجوم وتلمع لملايين بل لبلايين السنين نتيجة الاندماج النووي الذي يحدث في لبّها. لذا، فالنّجوم جميعها، بما فيها الشّمس، تستهلك في النهاية وقودها النووي وتموت.

وبعد، فليست النّجوم كلها متشابهة. فلو نظرت إلى السّماء ليلًا، فسترى أنّ النّجوم تختلف برؤيتها في أمرين هما: السّطوع واللّون. فالسّطوع يتعلق بمقدار ما ينتجه النّجم من طاقة، في حين أنّ اللون يدلّ على الحرارة السّطحية للنجم. وعلى أيّ حال، فمع أنّ سطوع النّجم يتعلق بمقدار ما ينتجه من طاقة إلا أنه يتعلق أيضًا ببعده عن الأرض.

وبالعودة إلى ما درسناه في الفصول السّابقة، فإنّ مربع معكوس المسافة يبيّن أنّ شدة الضّوء تتشتت كلما زاد مربع المسافة من المصدر. فعلى سبيل المثال، نرى أنّ سطوع نجمي يدّ الجوزاء والشِّعرى الشامية هو نفسه، مع أنّ يدّ الجوزاء يشعّ 5000 ضعف ما يشعه الشِّعرى الشامية. فما السبب؟ لأنّ الشِّعرى الشامية أقرب كثيرًا للأرض من يدّ الجوزاء.

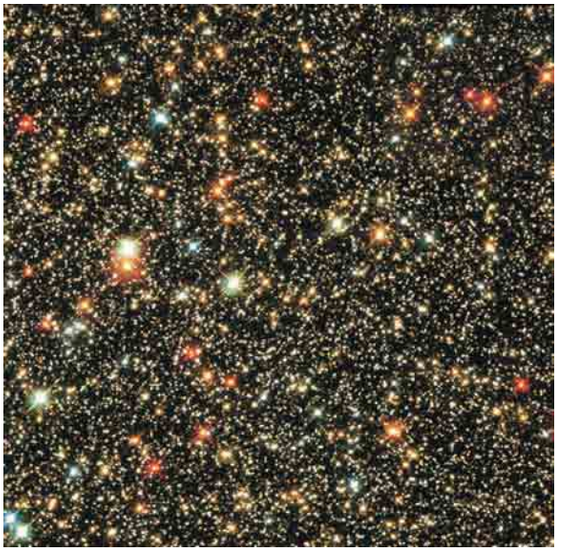
ولتجنب هذا الخلط للسطوع الحاصل بفعل إنتاج الطاقة؛ ميّز الفلكيون بوضوح بين السّطوع الظّاهريّ "القدر الظّاهريّ Apparent brightness وخاصية أخرى أكثر أهمية وهي القدر المطلق أو اللمعان (Luminosity). فالقدر الظاهري هو سطوع النّجم كما يبدو لعيوننا، في حين أنّ القدر المطلق أو اللمعان من ناحية أخرى هو مقدار الطاقة الضّوئيّة التي يبثها النّجم في الفضاء. ويعبر عادة عن القدر المطلق للنجم بالنسبة إلى ما تشعه الشّمس، وهو قدرها المطلق L_{sun}. وعلى سبيل المثال، فإنّ قدر يدّ الجوزاء هو $38000\ L_{\text{sun}}$. وهذا يدلّ على أنّ يدّ الجوزاء نجم ساطع جدًّا، ويشعّ نحو 38000 مرة من الضّوء التي تشعه الشّمس في الفضاء. ومن ناحية أخرى، فإنّ قنطورس القريب يكون معتمًا تقريبًا حيث إنّ سطوعه $0.00006\ L_{\text{sun}}$. ولقد قاس الفلكيون قدر الكثير من النّجوم، فوجدوا أنها تختلف اختلافًا شديدًا في أقدارها. وأنّ الشّمس تقع بشكل أو بآخر في وسط هذه النّجوم. إنّ أكثر النّجوم سطوعًا يصل سطوعه إلى مليون مرة من سطوع الشّمس، وأنّ أكثرها تعتيمًا ينتج عن الضّوء نحو 10000/1 ما تنتجه الشّمس.

وبالإضافة إلى القدر الظّاهريّ للنجوم، فإنّ لونها ظاهرة أخرى متغيرة بشكل كبير. يبيّن الشّكل 27 . 8 صورة للنجوم التقطت بمقراب هابل، وتضم ألوان الطيف كلّها كما تظهر في قوس الله(قوس المطر). فلون النّجم يبين مباشرة حرارة سطحه، ومثال ذلك أنّ اللّون الأزرق من النّجم يدلّ على أنّ حرارة سطحه أعلى من نجم أصفر. وأنّ اللّون الأصفر ذو حرارة أعلى من اللّون الأحمر. وفي الحقيقة، فإنّ الفلكيين يستخدمون اللون لقياس حرارة النّجوم. فلماذا يتعلق لون النّجم بدرجة حرارته؟

منحنى الإشعاع للنجوم (Radiation Curves of Stars)

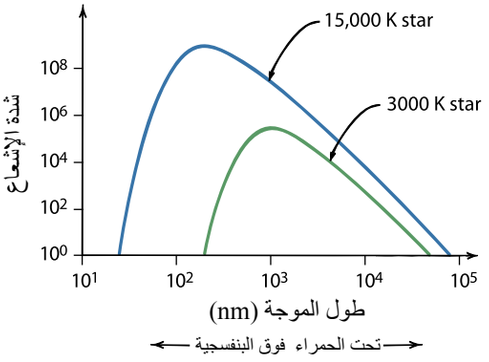
كما تعلمنا في الفصلين 7 و 11 فإنّ المواد جميعها التي درجة حرارتها أعلى من الصفر المطلق تشعّ طاقة على شكل كهرومغناطيسي. وأنّ أعلى تردد $\bar{f}$ للإشعاع يتناسب طرديًّا مع درجة الحرارة المطلقة T للجسم المشع.

$$\bar{f} \sim T .$$



الشّكل 8.27

إنّ معظم النّجوم في هذا الشكل لها البعد نفسه تقريبًا وهو نحو 2000 سنة ضوئية من مركز مجرة درب التبانة. فلون النّجم يدلّ على حرارة سطحه. اللون الأزرق أسخن من اللون الأصفر، واللون الأصفر أسخن من اللون الأحمر. التقطت هذه الصورة بمقراب هابل.



الشّكل 9-27

هذه المنحنيات المثالية لإشعاع سطوع نجوم متغيرة الحرارة تبين حقيقتين مهمتين هما: (1) تبعث النّجوم الأكثر حرارة إشعاعات بمعدل ترددات أعلى من النّجوم الأبرد. (2) تبعث النّجوم الأكثر حرارة إشعاعًا أعلى لكلّ وحدة من مساحة سطحها ولكلّ تردد من النّجوم الأبرد.

لمعلوماتك

■ من الممتع لنا أن نعلم أنّ الغلاف الجوي للأرض شفاف لحزمة ضيقة من الضّوء متمركزة عند قمة التردد الشّمسي. والكائنات هنا على سطح الأرض تتطور لتصبح حساسة لهذه الترددات الأكثر غزارة والتي ندركها كضوء مرئي. ففي ضوء الطيف المرئي نكون أكثر حساسية للأخضر – أصفر. ولهذا فإنّ الكثير من عربات الطوارئ غالبًا ما تدهن باللون أخضر – أصفر.

تختلف ألوان النّجوم؛ لأنها تصدر ترددات مختلفة من الأمواج الكهرومغناطيسية في مدى الضّوء المرئي. وتحس عيوننا هذه الترددات الإشعاعية المختلفة والمرئية وتميزها كألوان. والشّكل 9.27 يبيّن المنحنيات الإشعاعية. وهي مخططات للترددات المنبعثة كإشعاعات مقابل درجة الحرارة للجسم المشع لنجمين مختلفي الحرارة. ويبدو من هذه المخططات أنه كلما ارتفعت حرارة النّجم، قصرَ طول الموجة لقمة التردد. لذا أصبح لون النّجم أكثر زرقة. وهكذا، فإنّ حرارة النّجوم الزرقاء في السّماء ليلًا أعلى من حرارة النّجوم الحمراء. وعلى سبيل المثال، فإن الشّمس التي تبلغ حرارة سطحها 5800 كلفن تبدو صفراء. في حين تبدو يد الجوزاء حمراء لأنّ درجة حرارة سطحها 3400 كلفن تقريبًا. فيد الجوزاء تصدر إشعاعات حمراء أكثر من الزرقاء.

لاحظ أيضًا من الشّكل 9.27 أنه كلما كانت حرارة النّجم أعلى، فإنّ مقدار الطاقة المشعة يكون أعلى. وهكذا، فإننا نلاحظ أنّ النّجوم الزرقاء الأشد حرارة هي الأكثر لمعانًا من الحمراء الأبرد والتي لها الحجم نفسه.

■ **نقطة فحص**

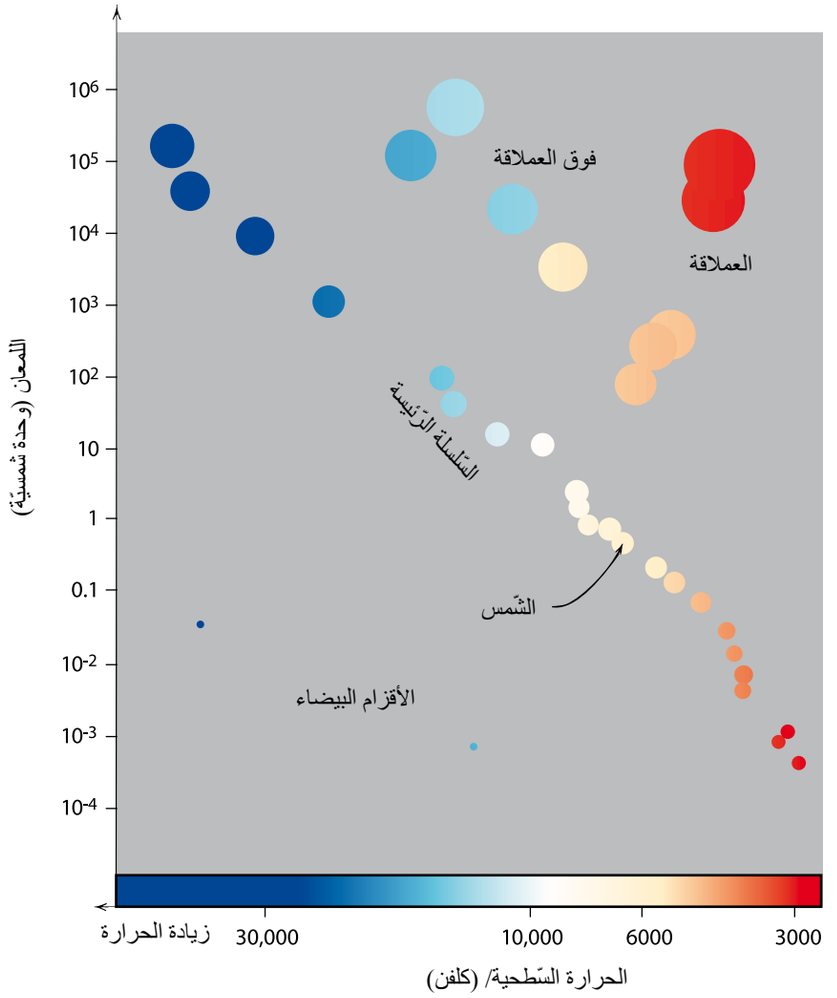
إنّ درجة حرارة الشّعرى اليمانية نحو 9400 كلفن. فما لون هذا النّجم؟ ولماذا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لون الشّعرى اليمانية قريب من اللّون الأزرق. فهو يبعث لونًا أزرق أكثر من اللون الأحمر بسبب حرارة سطحه المرتفعة.

■ 3.27 مخطط هيرتزبرونج – رسل

عند مقارنة ضوئية النّجوم مع حرارتها، تبرز أنظمة مميزة. ففي بداية القرن العشرين، قام الفلكيان الدانمركي إيجنار هيرتزبروخ، والأمريكي هنري نوريس رسل بهذا العمل. لقد أعدّا مخططًا عرف باسميهما: **مخطط هيرتزبروخ – رسل** ، أو **مخطط *H – R***، والذي يعدّ مفتاحًا مهمًّا في علوم الفلك (الشّكل 10.27). إنّ مخطط H – R هو مخطط اللمعان مقابل حرارة السّطح للنجوم. فالنّجوم السّاطعة تقع بالقرب من قمة المخطط، في حين تقع النّجوم الخافتة قريبًا من الأسفل. وتقع النّجوم الحارة الزرقاء في الجانب الأيسر للمخطط، أمّا النّجوم الباردة الحمراء فتقع على الجانب الأيمن له.



الشّكل 10.27

يبيّن مخطط H – R حرارة السّطح للنجوم على المحور الأفقي ولمعانها على المحور العمودي. إنّ النّجوم العملاقة وفوق العملاقة هنا ليست وفق مقياس الرسم. إنّ النّجم الأحمر «قلب العقرب» فوق العملاق كبير إلى درجة أنه لو رسم وفق مقياس الرسم فسيصل إلى سقف الغرفة التي تجلس فيها. ومن المهم العلم بأنّ قطر قلب العقرب يبلغ 700 ضعف قطر الشّمس، إلا أنّ كتلته تبلغ 15 ضعفًا فقط. لذا مع أنّ حجم قلب العقرب أكبر كثيرًا إلا أنّ كثافته أقلّ كثيرًا.

بما أنّ النّجوم العملاقة وفوق العملاقة ساطعة هكذا، فإنّ من السهل رؤيتها في الليل حتى ولو لم تكن قريبة من الأرض. ويمكن لك تحديدها بسهولة من لونها الأحمر.

يبين مخطط H – R عدة مواقع مميزة للنجوم. إنّ معظم النّجوم معينة في المخطط البياني على شكل حزمة ممتدة قطريًّا. وتسمى هذه الحزمة **السّلسلة الرّئيسة *main sequence***. إنّ النّجوم على السّلسلة الرّئيسة بما فيها الشّمس تولد طاقة نتيجة اندماج الهيدروجين وتحوله إلى هيليوم. وكما نتوقع، فإنّ أسخن نجوم السّلسلة الرّئيسة هي أكثرها سطوعًا وأكثرها زرقة. وأنّ أبردها هو أكثرها تعتيمًا واحمرارًا. أعط لحظة من وقتك لإسقاط الشّمس على مخطط H – R. هل تلاحظ أنّ الشّمس تقع تقريبًا في وسط السّلسلة الرّئيسة سطوعًا وحرارة؟

يتميز الجزء الأعلى الأيمن من المخطط بوجود مجموعة من **النّجوم العملاقة *giant stars***. وهذه النّجوم وبوضوح لا تتبع نظام السّلسلة الرّئيسة الخارقة للهيدروجين. وبما أنها حمراء اللون، فإننا نعلم أنّ حرارة سطحها ستكون منخفضة بالضرورة. ولو كانت نجومًا من السّلسلة الرّئيسة، فإنّ هذه النّجوم العملاقة ستكون معتمة. ولاحظ أيضًا كم يكون مقياس سطوع هذه النّجوم العملاقة مرتفعًا. فهي ساطعة جدًّا. إنّ حقيقة كون هذه النّجوم العملاقة أكثر برودة، وكذلك أكثر سطوعًا كثيرًا من الشّمس يدلنا على أنها يجب أن تكون أكبر من الشّمس. (لذا سميت *بالعملاقة*) وفوق العملاقة وعلى مخطط H – R يقع عدد قليل من النّجوم تسمّى النّجومَ فوق العملاقة. فالنّجوم فوق العملاقة أكبر وأشدّ سطوعًا من العملاقة. وكما سترى في الفقرة اللاحقة، فإنّ العملاقة وفوق العملاقة هي نجوم في أواخر أيام عمرها لأنّ وقودها من الهيدروجين الموجود في لبّها في طريقة للنفاد.

لمعلوماتك

■ يعدّ مخطط H - R للفيزياء الفلكية أداة في غاية الأهمية، كما الجدول الدوري للكيمياء. إن موقع النّجم على المخطط يحدد عمره. فعمر مجرتنا يمكن توقعه بالنظر إلى مكان أقدم النّجوم فيها وبقايا أقزامها البيضاء.

تقع بعض النّجوم الخافتة التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة في اتجاه اليسار للأسفل. إنّ سطوح هذه النّجوم قد تكون أسخن من الشّمس لذا تجعلها زرقاء اللون أو بيضاء. ومع هذا، فضوئيتها منخفضة تمامًا- فهي ما بين 0.1 L_{sun} و0.0001 L_{sun}. وحتى تكون بهذه الحرارة المرتفعة وتشع القليل من الضّوء يجب أن تكون صغيرة جدًّا. لذا، فهي تسمى **الأقزام البيضاء** ***white dwarfs*** . تشبه الأقزام البيضاء تمامًا الأرض بحجمها أو أقلّ قليلًا، ولها كتلة تقارن مع كتلة الشّمس. ومن ثم تكون كثافة (أي كتلة وحدة الأحجام) هذه الأقزام البيضاء مرتفعة جدًّا؛ أي نحو مليون جم/ سم^3. وللمقارنة؛ فإنّ كثافة الذهب هي نحو 19 غم/ سم^3. في حين أنّ معدل كثافة الأرض 5.4 سم^3 تقريبًا. وكما سيرد في الفقرة القادمة، فإنّ الأقزام البيضاء هي نجوم ميتة، أي أنّها بقايا النّجوم التي استهلكت وقودها النووي.

■ **نقطة فحص**

1. ما الخصائص التي تشترك فيها نجوم السّلسلة الرّئيسة كلها؟
2. للنجوم العملاقة سطوح باردة، ومع ذلك لها سطوع عالٍ. فهل يعني هذا أنّ تردد الضّوء المنبعث من النّجوم العملاقة لا يعتمد على حرارة سطحها، كما هو موصوف في الشّكل 9.27؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. إنّ نجوم السّلسلة الرّئيسة كلها تولّد طاقتها بفعل الاندماج النووي للهيدروجين وتحوله إلى هيليوم.
2. لا؛ فمنحنى الإشعاع للنجم العملاق هو نفسه لأيّ جسم مشع آخر. فالنّجم العملاق له إنتاج طاقة منخفض نسبيًّا لكلّ وحدة من مساحة السّطح، وهي عالية السّطوع لأنها كبيرة جدًّا فقط.

■ **علم التّنجيم** (*Astrology*)

هناك طريقتان للنظر إلى الكون والعمليات التي تجري فيه؛ الأولى علم الفلك والأخرى هي التّنجيم. التّنجيم نظام اعتقادي بدأ قبل أكثر من 2000 سنة زمن البابليين، وبقي دون تغيير منذ القرن الثاني بعد الميلاد عندما تمت مراجعته من قبل المصريين والإغريق الذين اعتقدوا أنّ آلهتهم حركت الأجرام السّماويّة المقدسة للتأثير في حياة الإنسان على الأرض. يعتقد التّنجيم في هذه الأيام أنّ مكان الأرض في مدارها حول الشّمس عند الولادة، بالإضافة إلى الموقع النسبيّ للكواكب الأخرى لها شيء من التأثير في الحياة الشخصية لإنسان ما. أي أنّ للنجوم والكواكب أثرًا في الأمور الشخصية للإنسان كالخصائص المعينة للزواج، والصداقات، والصحة، والموت... إلخ. فهل قوى الجاذبية التي تمارس بفعل الأجرام السّماويّة تصبح عوامل تأثير صحيحة وحقيقية في شؤون البشر؟ وبعد، فإنّ المد والجزر هي نتاج لأماكن وجود القمر والشّمس وقوى الجذب بين الكواكب ما يؤدي إلى تشويش واضطراب في مدارات أحدها على الكواكب الأخرى. وبما أنّ الاختلاف البسيط في الجاذبية يؤدي إلى هذه الآثار، فهل لا تؤثر الاختلافات البسيطة في المواقع الفلكية لهذه الأجرام عند الولادة في المواليد الجدد؟ إن كان تأثير النّجوم والكواكب جاذبًا، فيجب التصديق أيضًا بأثر الجذب بين المواليد الجدد والأرض نفسها. هذا الجذب أكبر كثيرًا من الجذب المركب للكواكب كلّها حتى لو اصطفت الكواكب على خط واحد (كما يحدث أحيانًا). كذلك، فإنّ الأثر الجاذبي لمبنى مستشفى في المواليد الجدد يفوق كثيرًا تأثير الكواكب البعيدة. وهكذا فإنّ الجاذبيات الكوكبيّة لا يمكن أن تكون عوامل أساسية في التّنجيم.

فالتّنجيم ليس علمًا لأنه لا يتغير مع المعلومات الجديدة كما تتغير العلوم، كما أنّ توقعاته لا تستنبط من حقائق، بل هي تنبؤات تعتمد على المصادفة. وعلى ميول كثير من الأفراد الذين يبحثون عن تفسيرات خارجية للقضاء والقدر، ولسلوكاتهم الشخصية. إنّ معتقدات التّنجيم مبنية على دلائل من الحكايات والنوادر غير القابلة لإعادة الحدوث ولا إلى الفحص. إنّ التّنجيم يعني أشياء مختلفة لأشخاص مختلفين، ولكن في كلّ حالة هي بعيدة عن مجال العلوم. إنه علم كاذب يقع في مجال الخرافات.

27 . 4 دورة حياة النّجوم

لقد بحثنا في الفصل 26 النظرية السّديميّة التي تفسر نشوء الشّمس من غيمة الغاز والغبار منخفضة الكثافة وكبيرة الاتساع سميت سديمًا (الشّكل 11.27). ولقد تكونت النّجوم الأخرى بالطريقة نفسها. وهذا يعني أنه بمرور الزّمن يتسطّح السّديم، وترتفع حرارته، ويدور حول نفسه بسرعة أكبر كلما ازداد الانكماش الجذبيّ. يصبح مركز السّديم أعلى كثافة لأخذ الأشعة تحت الحمراء حيث لا يُبْقي مجالًا لهذه الطاقة لتشع بعيدًا. يسمى الانتفاخ المركزي الحارّ للسّديم *النّجمَ الأوليّ protostar*.

تؤدي الجاذبية التبادلية المشتركة بين الدقائق الغازية في النّجم الأولي إلى انكماش هذه الكرة الضخمة من الغاز، فتزداد كثافتها كلما طحنت المواد معًا مع الارتفاع المرافق في الضغط والحرارة. فعندما تصل الحرارة المركزية إلى 10 ملايين كلفن تبدأ نوى الهيدروجين بالاندماج لتكوين نوى الهيليوم. هذا التفاعل النووي الحراري والذي يحول الهيدروجين إلى هيليوم يحرر كمية ضخمة من الإشعاع والطاقة الحرارية. كما رأينا في الفصل 26. ويعدّ احتراق الوقود النووي علامة على تحول النّجم الأولي إلى نجم. فالطاقة المتحركة خارجيًّا وما يرافقها من غاز، يولدان ضغطًا في اتجاه الخارج يسمى *الضّغط الحراريّ* على المواد المنكمشة. وعندما يصبح الاندماج النووي سريعًا لدرجة كافية فإنّ الضغط الحراري يصبح قويًّا لدرجة إيقاف الانكماش الجذبيّ. وعند هذه النقطة، يتوازن الضغطُ الحراريّ الخارجيّ مَعَ الضغطِ الجذبيّ الداخليّ، فيصبح النّجم مستقرًّا.

الشّكل 11.27
صورة للسديم الثلاثي التي أخذت من مقراب سبتزر الفضائي. هذا السّديم يقع على بعد 5400 سنة ضوئية من الأرض في كوكبة القوس والرامي. ففي كلّ واحدة من الغيوم الحمراء الأربع يتطور نجم جديد.

نقطة فحص

كيف تؤثر عمليات الاندماج النووي الحراري والانكماش الجذبي في الحجم الفيزيائي للنجم؟

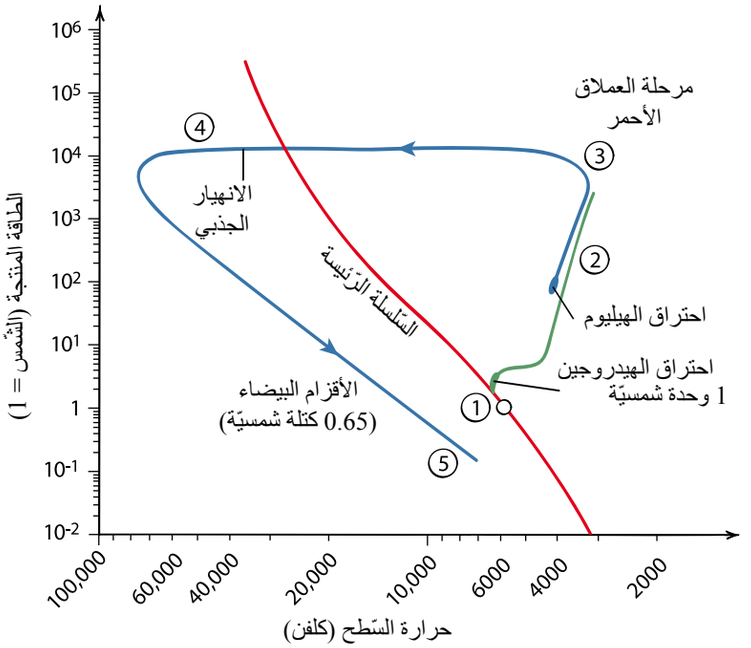
هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ حجم النّجم هو النتيجة الطبيعية للممارسة المستمرة لهذه العمليات. فالطاقة الناتجة عن الاندماج النوويّ الحراريّ تنفخ النّجم نحو الخارج كانفجار قنبلة هيدروجينية. في حين أنّ الجذب يعمل على انكماش المواد. فالتمدد الحراري النووي نحو الخارج والانكماش الجذبي صوب الداخل يعطيان النّجم حالة من التوازن تحدد حجمه.

ومع أنّ النّجوم جميعها ولدت بالطريقة نفسها لانكماش السّديم، لكنها لم تتطور كلّها في حياتها بالطريقة نفسها. إنّ كتلة النّجم تحدد المراحل التي يسير فيها منذ الولادة حتى الممات. وهناك حدود للكتلة التي يمكن للنجم أن يصل إليها ويحققها. فالنّجم الذي له كتلة أقلّ من 0.08 من كتلة الشّمس ($0.08\ M_{sun}$) لن يصل إلى عتبة عشرة ملايين درجة كلفن، وهي اللازمة لاستدامة اندماج الهيدروجين. ومن ناحية أخرى، فإنّ النّجوم التي كتلتها أكبر من كتلة الشّمس($100\ M_{sun}$) بـ 100 مرة ، ستخضع لاندماج بمعدل مرتفع جدًّا لا يسمح للجاذبية بمقاومة حرارة الضغط. وهذا ما يفجر النّجم. وهكذا فإنّ النّجوم توجد بين حدود عُشر كتلة الشّمس و 100 ضعف هذه الكتلة*.

لمعظم النّجوم كتلة من رتبة كتلة الشّمس . تستوطن هذه النّجوم مكانًا مركزيًّا في السّلسلة الرّئيسة من مخطط H – R. وإذا رسمت مراحل دورة الحياة لمعدل النّجوم على مخطط H – R، فسترى منحنى شبيهًا بذلك الذي لشمسنا المبين في الشّكل 27 . 12. لقد ولدت الشّمس قبل نحو 4.5 بليون سنة في المكان 1، عندما اشتعل اندماج الهيدروجين. وستقضي الشّمس معظم حياتها - بحدود 10 بلايين سنة على السّلسلة الرّئيسة، حيث سيبقى الضّغط الحراريّ على الجاذبية في وضع حرج تدافع عن نفسها. وللحديث بشكل أشمل، فإنّ عمر الهيدروجين المحترق لنجم سيستمر لفترة تمتد بين بضعة

* الكتلة الشمسيّة الواحدة، $1\ M_{sun}$، هي وحدة تعادل كتلة الشمس: 2×10^{33} كجم.



الشّكل 12.27
مراحل دورة حياة الشّمس على مخطط H – R.

تعتمد دورة حياة النّجم على كتلته. فأقل النّجوم كتلة تكون أقزامًا بنية، معتمة ولكن عمرها طويل. أما النّجوم المتوسطة الكتلة، فتتقدم من السّلسلة الرّئيسة إلى العملاقة الحمراء أو حتى فوق العملاقة، وبعدها إلى الأقزام البيضاء. في حين أنّ عمْرَ النّجوم العالية الكتلة قصيرٌ وتموت في انفجار ضخم يسمى النّجوم المستعرة (السوبرنوفا) (Supernovae).

ملايين من السنين و50 بليون سنة اعتمادًا على كتلته.

إنّ حياة النّجوم الأكبر كتلة أقصر من النّجوم ذات الكتلة الأقل. وقد يبدو ذلك معاكسًا للمنطق؛ لأنّ النّجم الأكبر كتلة يحتوي على وقود أكثر يحترق في مدة أطول. أليس كذلك؟ على أيّ حال. فالنّجوم الأكبر كتلة هي الأكثر سطوعًا من النّجوم الأصغر كتلة. وهذا يعني أنها تحرق هيدروجينها باندماج الوقود بسرعة أكبر. يجب أن تكون النّجوم الأكبر كتلة أكثر سطوعًا من الأصغر كتلة. لذا فإنّ الضّغط في اتجاه الخارج من الاندماج النوويّ يمكن أن يعادل قوى الجذب العظيمة للانكماش. إنّ النّجوم الكتلية تبدأ حياتها بالمزيد من الوقود الهيدروجيني أكثر من النّجوم الأصغر كتلة. ولكنها تستهلك وقودها بسرعة أكبر بحيث تموت قبل النجوم الأصغر كتلة بعدة بلايين من السنين.

لا يوجد نجم واحد أبدي الوجود. ففي النّجوم المتقدمة في العمر والتي لها معدل كتلة يشبه معدل كتلة شمسنا. وبسبب تناقص وقود الهيدروجين. تسحق الجاذبية الضغط الحراري مما يؤدي إلى انكماشها. فترتفع الحرارة لأنّ اللبّ الذي انتهى احتراق الهيدروجين فيه ينكمش بفعل الجاذبية. وعند نقطة محددة. تصبح الحرارة عالية في اللب إلى درجة البدء بحرق الهيليوم - اندماج الهيليوم النووي إلى كربون. عندها يصبح للنجم تركيب مكوّن من أغلفة متحدة في المركز. فالهيليوم يندمج في لبّ النّجم ليعطي الكربون. في حين يندمج الهيدروجين مع الهيليوم في الغلاف المحيط به. فترتفع الطاقة المنتجة كثيرًا. مخرجةً النّجم عن السّلسلة الرّئيسة.

عندما تتحول شمسنا إلى نجم عملاق أحمر بعد عدة بلايين سنة من الآن، فإنّ قطرها سيشتمل على مدار الزهرة.

في اندماج نووي مكثف في النّجم كهذا. تفوز قوى الضغط الحراري في اتجاه الخارج على قوى الجذب في اتجاه الداخل. وهكذا ينتفخ النّجم ليصبح عملاقًا (المكان 2). عندما تصل شمسنا إلى الوضع العملاق بعد 5 بلايين سنة من الآن. فإنّ انتفاخها وزيادة طاقتها سيعملان على رفع حرارة الأرض. وستعرى الأرض من غلافها وستغلي البحار وتجف؛ يا إلهي!

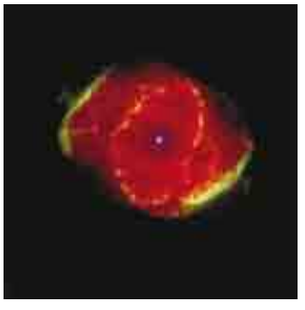
وباستمرار الاندماج النووي. سيستمر تراكم الكربون في نواة الشّمس. ولكن الحرارة لن تصبح عالية إلى درجة تسمح للكربون بالاندماج. وبدلًا من ذلك. فإنّ رماد الكربون سيتراكم في داخل النّجم. وسيسحب فتيل الاندماج تدريجيًّا. وبعد ذلك ستسيطر الجاذبية وينكمش النّجم وترتفع حرارته. وبسبب الحرارة العالية. فإنّ لون النّجم المتقلص سوف ينحرف من الأحمر نحو الأزرق. إضافة إلى انحراف مكانه إلى اليسار على مخطط H – R.

■ **نقطة فحص**

لماذا يأخذ النّجم في التقلص عندما ينفد الوقود النووي من لبّه؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ التمدد في اتجاه الخارج من الحرارة النووية والانكماش في اتجاه الداخل بفعل الجاذبية يؤدي إلى التوازن الذي يعطي النّجم حجمه. عندما تبدأ الحرارة الناتجة عن التفاعل النووي في النفاد، تأخذ الجاذبية في السيطرة والسيادة فيتقلص النّجم. وبسبب هذا التقلص تنضغط المواد، وهذا مصدر آخر إضافي للحرارة لإشعال الاندماج النووي. وفي النّجم الذي بحجم شمسنا فإنّ حرارة الانضغاط فيه تكون عالية بما يكفي لاندماج العناصر إلى كربون. ولكن اندماج العناصر الثقيلة في شمسنا غير ممكن.



ستستمر شمسنا التي استنفدت وقودها بالتقلص إلى أن تصبح الإلكترونات مضغوطة إلى درجة أنها تقاوم أيّ ضغط جديد. وأنّ السبب في مقاومة أيّ ضغط إضافي يتعلق بالفرضيات الكميّة التي عرفناها في الفصل 12. وباختصار، فإنّ أيّ جسيم أصغر من ذرة له *حالته الكميّة* (الكم) الخاصة ولا يشترك أيّ جسيمين أصغر من الذرة في الحالة الكميّة نفسها. سوف تتقلص الشّمس ولكن فقط إلى الحد التي تقاوم فيها الإلكترونات التجاوز إلى الحالة الكميّة لجيرانها من الإلكترونات الأخرى. وعندما تستنفد شمسنا وقودها النووي كله، تصبح ميتة وصغيرة ولا تنتج المزيد من الطاقة.

وعندما تسير شمسنا في اتجاه الانهيار النهائي، فإنّ طبقات البلازما والغاز التي تحيط باللّبّ ستقذف على شكل انتشار ساطع مكونًا ما يعرف **بالسّديم الكوكبيّ** ***planetary nebula*** (الشّكل 27 .13). وعلى الرّغم من التشابه في الاسم، إلا أنّ السّديم الكوكبيّ لا علاقة له بالكواكب أبدًا. وإنما جاء الاسم من حقيقة أنّ هذا السّديم الكوكبيّ يشبه السّديم الذي تكونت منه الكواكب. وعلى أيّ حال، فإنّ السّديم الكوكبيّ سيتبدد خلال ملايين السنين تاركًا كربون لبّ الشّمس البارد خلفه كقزم أبيض. إنّ للقزم الأبيض كتلة النّجم وحجم الكوكب. لذا فإنّ كثافته أكبر كثيرًا من أكثر الأجسام على سطح الأرض كثافة. وبما أنّ النيران النووية للأقزام البيضاء انتهت، فإنها في الواقع لم تعد نجومًا أبدًا، ولكنها بقايا نجوم. وعلى أيّ حال، فإنّ القزم الأبيض يبرد لعدة حقب في الفضاء حتى يصبح باردًا جدًّا لإشعاع ضوء مرئيّ (الشّكل 27 .14).

النّجوم المستعرة وفوق المستعرة (نوفا وسوبرنوفا)

هناك احتمال آخر لمصير الأقزام البيضاء، إن كانت جزءًا من نجم *ثنائيّ* ***binary star*** ، والذي هو نجم في نظام مكوّن من نجمين يدوران حول مركز مشترك تمامًا كما تدور الأرض والقمر حول بعضهما. فإذا كان القزم الأبيض نجمًا ثنائيًّا وقريبًا بما فيه الكفاية من قرينه، فإنّ هذا القزم الأبيض قد يسحب الهيدروجين بالجاذبية من نجمه القرين. وبعدها تتوضّع هذه المواد على سطحه كطبقة كثيفة جدًّا من الهيدروجين. يؤدي استمرار تراصّ هذه الطبقة إلى زيادة درجة حرارتها، فتشتعل في انفجار نووي حراريّ يمكن أن يشاهد على شكل نجم مستعر أو **نوفا** ***nova***، وتظهر في السّماء ليلًا نجمًا جديدًا (تعني *نوفا* باللاتينية الجديد). فالنّجم المستعر حَدَثٌ وليس جرمًا سماويًّا. وبعد زمن، يخمد النّجم المستعر حتى تتراكم المواد الكافية لإعادة هذا الحدث. يتوهج النّجم المستعر على فترات غير منتظمة قد تمتد بين العقود ومئات الألوف من السنين.

ومع أنّ النّجوم ذات الكتل المنخفضة والمتوسطة تصبح أقزامًا بيضاء، إلا أنّ مصير مَنْ تزيد كتلته على 10 أضعاف كتلة الشّمس 10 M_{sun} يختلف تمامًا. فعندما ينكمش نجم ضخم بعد طوره العملاق أو فوق العملاق، تتولد طاقة أكثر من طاقة انكماش نجم صغير.

وجد الفلكيون دلائل على أنّ الكربون في مراكز الكثير من الأقزام البيضاء يتبلور إلى ماس. كما يتوقعون أنه عند تحوّل شمسنا إلى قزم أبيض بعد نحو 5 بلايين سنة من الآن، فإنّ لبها سوف يتبلور إلى ماس مكونًا كتلة منه بحجم كوكب في وسط نظامنا الشّمسي.

الشّكل 13.27

يصل قطر السّديم الكوكبيّ عين الهر Cat's Eye ، كما شوهد بمقراب هابل الفضائي، إلى نحو 1.2 سنة ضوئية، وهذا يعادل آلاف المرات قطر مدار نبتون. يبعد هذا السّديم الكوكبيّ 3000 سنة ضوئية تقريبًا، وهذا يضعه في مجرتنا. وترى بوضوح الغازات الحارة المنفجرة من النّجم المركزي الذي يعادل حجم الشّمس، فهو في طريقه إلى التحول إلى قزم أبيض.

الشّكل 14.27

القزم الأبيض المبين هنا هو المرحلة الأخيرة في تطور النّجوم ذات الكتل المنخفضة والمتوسطة. فبعد استعمال النّجم لكامل وقوده النووي، تفلت طبقاته الخارجية في اتجاه الفضاء، تاركة اللهب الكثيف خلفها كقزم أبيض. يؤدي الحقل الجاذبي القوي للقزم الأبيض إلى جذب المواد من الفراغ المحيط ليكون قرصًا متناميًا. يسخن هذا القرص بالاحتكاك، حيث يلاقي النّجم مما يؤدي إلى توهجه وسطوعه.

إنّ مثل هذا النّجم لا يتقلص إلى قزم أبيض. وبدلًا من ذلك، تندمج نوى الكربون في لبّه محررة طاقة خلال عمليات تكوين عناصر أثقل كالنيون والماغنسيوم. يقوم الضغط الحراري بإيقاف الانكماش الجذبي حتى يندمج كامل الكربون. وبعد ذلك ينكمش لبّ النّجم مرة أخرى لإنتاج حرارة أكبر مما سبق، محدثًا سلسلة جديدة من الاندماجات التي تنتج عناصر أثقل من السّابق. وتتكرر دورة الاندماج حتى يتكوّن عنصر الحديد في اللبّ.

إنّ اندماج العناصر ذات الأعداد الذرية الأعلى من الحديد يستهلك طاقة بدلًا من تحريرها. (وسبب ذلك كما تتذكر في الفصل 13، يعود إلى أنّ معدل الكتلة لكل نويّة حديد أقلّ من أيّ عنصر آخر). وعندما تتحول النّوى إلى حديد، تتوقف عملية الاندماج. وتتوقف معها كذلك عملية التمدد الحراري التي تعاكس الجاذبية. وهكذا تسود الجاذبية، ويبدأ النّجم كاملًا في انكماشه النهائي.

ولنتذكر أنه بموت النّجوم المتوسطة الحجم كشمسنا، فإنّ الانكماش يستمر حتى تتعادل الجاذبية مع مقاومة الإلكترونات. أمّا في النّجوم فوق العملاقة الضخمة جدًّا، فإنّ قوى الجاذبية تكون قوية بما يكفي للتغلب على هذه المقاومة.

إنّ الإلكترونات لا يندمج بعضها مع بعض، ولكنها تتحد مع البروتونات لتكوين نيوترونات. والذي يحدث بعد ذلك هو حدث صاعق مذهل يسمّى النّجوم فوق المستعرة (**سوبرنوفا supernova**)؛ ففي دقائق، ينهار اللبّ الحديد للنجم فوق العملاق، الذي يبلغ حجمه حجم الأرض، إلى كرة من النيوترونات بقطر عدة كيلومترات فقط. وتتحرر كمية كبيرة جدًّا من الطاقة تكون أكثر سطوعًا من مجرة كاملة. وفي هذا الوقت القصير الغزير بالطاقة، تتكون العناصر الأثقل من الحديد عن طريق اتحاد البروتونات والنيوترونات الموجودة خارج اللبّ مع أنوية أخرى لإنتاج عناصر كالفضة والذهب واليورانيوم. إنّ هذه العناصر الثقيلة أقلّ انتشارًا من العناصر الخفيفة بسبب قِصَر الوقت المتوافر لتتركب وتأتلف.

إنّ معظم الطّاقة المتحررة خلال عملية انهيار اللبّ الحديديّ تكون على شكل *نيوترينو* "دقائق متعادلة ذات كتلة أصغر من الإلكترون" وهي دقائق تحت الذرة، وبلا كتلة، ولا تتفاعل مع المادة إلا قليلا. إنّ تركيز النيوترينات المتحررة من انهيار اللبّ الحديديّ يكون كبيرًا إلى درجة كافية، بحيث ينفخ الغلاف الخارجي للنجم في اتجاه الخارج بسرعة تزيد على 10000 كم/ ث، وهذه السرعة كافية للانتقال وحدة فلكية واحدة في أربع ساعات. ومع مرور الزمن، فإنّ رياح السوبرنوفا هذه المكونة من العناصر الثقيلة تنتشر بعيدًا في المجرة منضمة إلى سديم قد يصبح نجمًا جديدًا. إنّ الذهب والبلاتين التي نستعملها كمجوهرات على هذه الأرض، وكذلك بقية جسم الأرض نفسها، ما هي إلا غبار جاء من السوبرنوفا الذي تفجر سنوات طويلة قبل نشوء نظامنا الشّمسي.

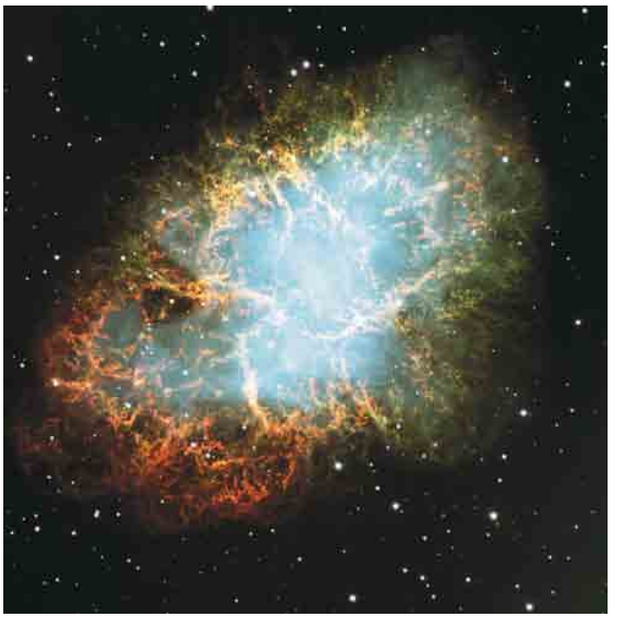
■ **نقطة فحص**

يمكن أن يخضع النّجم لنوفا أكثر من مرة. فهل يمكن للنجم أيضًا أن يخضع عدة مرات للسوبرنوفا؟ اذكر السبب إذا كان جوابك بالنفي أو الإيجاب.

هل كانت هذه إجابتك؟

النوفا انفجارٌ نووي حراريّ يحدث عندما يجمع القزم الأبيض كتلة كافية من النّجم القريب جدًّا منه. وما دام أنّ النّجم الجار يزود القزم الأبيض بالهيدروجين، فإنّ هذا الانفجار يمكن له أن يتكرر عدة مرات. أما السوبرنوفا فهو تحرير للطاقة، وهو حدث نهائيّ ولمرة واحدة لا يمكن تكراره في نجم فوق عملاق.

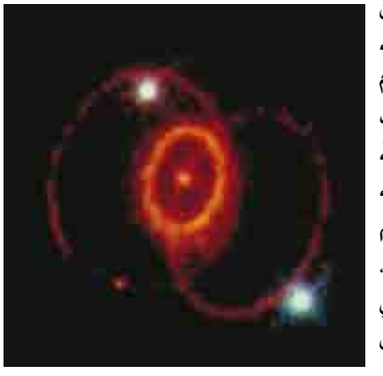
يتوهج السوبرنوفا بقوة عدة ملايين من المرات أكثر من سطوعه السابق. ففي عام 1054 م، سجّل الفلكيون الصينيون مشاهداتهم لنجم سطع إلى درجة كان بالإمكان مشاهدته في النهار كما في الليل. كان هذا سوبرنوفا (النّجم الجديد الضخم)، إنّ بقاياه من البلازما المتوهجة تشكّل الآن سديم السّرطان Crab Nebula كما يبدو في الشّكل 27 .15. وهناك سوبرنوفا أحدث، ولكنه أقلّ أهمية وقع في عام 1978. وفي الشّكل 27 .16، تطور السوبرنوفا الذي روقب بحذر بالأجهزة العلمية الحديثة.



الشّكل 15.27
سديم السّرطان Crab Nebula هو بقايا انفجار سوبرنوفا شوهد لأول مرة من الأرض عام 1054م. ولقد حدث الانفجار في مجرتنا على مسافة 7000 سنة ضوئية من الأرض. ولو حدث الانفجار على بعد 50 سنة ضوئية، فإنّ معظم الحياة على سطح الأرض ستنقرض. فهل هناك أيّ نجم منتقم في هذه الحدود معرض للسوبرنوفا؟ سؤال جيد. تفحص الشبكة العنكبوتية لمزيد من المعلومات عن ذلك في يد الجوزاء.

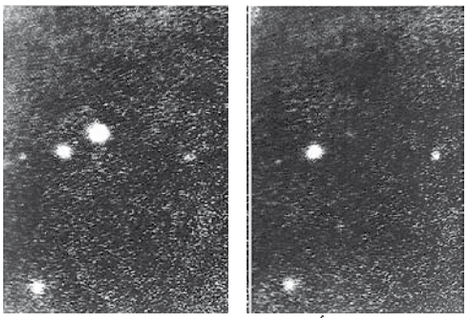
النّجم النيوتروني هو نواة ذرية بحجم كيلومتر.

يسمّى اللّبّ النيوتروني الكثيف جدًّا الذي يتبقى بعد حدوث السوبرنوفا **النّجم النيوتروني** ***neutron star***. ووفقًا لقانون حفظ العزم الزّاويّ، فإنّ هذه الأجرام الصغيرة جدًّا ذات الكثافات العالية جدًّا والتي تزيد ملايين المرات على كثافة الأقزام البيضاء، يمكن أن تدور حول نفسها بسرعة خيالية. إنّ هذه النّجوم النيوترونية تعطي تفسيرًا لوجود *النّجوم النابضة pulsars*. **فالنّجوم النابضة**، وهي نجوم نيوترونية، مصادر سريعة التغير من الانبعاث الراديوي المنخفض التردد. فعند دوران النّجم النابض، تُمشِّط الحزمةُ الإشعاعية التي تصدرها السّماءَ. وإذا ما مشطت هذه الحزمة فوق الأرض فإننا نستبين نبضاتها. لقد وُجدَ من نحو 300 نجم نابض معروف القليلُ فقط من ينشر أشعة سينية أو ضوءًا مرئيًّا. وأحدها يقع في مركز سديم السّرطان (الشّكل 27 .17). وهي واحدة من النوابض التي تدور بأعلى سرعة من بين كلّ النوابض المدروسة؛ حيث تدور أكثر من 30 دورة في الثانية. وهي نجم نابض شاب نسبيًّا؛ لأنه افترض نظريًّا أنّ الأشعة السينية والضّوء المرئيّ يصدران فقط في التاريخ المبكر للنجم النابض.



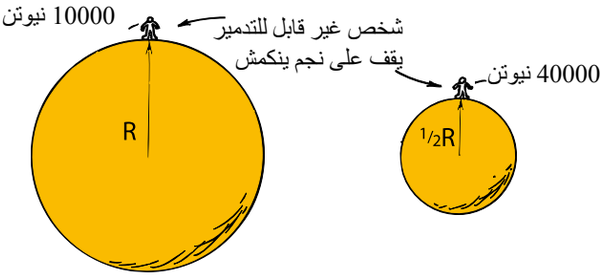
الشّكل 16.27
الصورة لسوبرنوفا 1987A وقد التقطها مقراب هابل الفضائي بعد 20 سنة من مشاهدة الانفجار. لاحظ أنظمة تطور الحلقات، والتي تستمر ممتدة نحو الخارج. لقد حدث هذا السوبرنوفا وبأمان خارج مجرة درب التبانة في مجرة جارة وصغيرة تسمى غيمة ماجلان الكبيرة Large Magellanic Cloud وتبعد نحو 160000 سنة ضوئية.

ولقد رأينا سابقًا أنّ النّجم المتوسط الحجم، كما هو الحال في شمسنا، يمكن أن ينهار ليس إلى حدّ أبعد من القزم الأبيض؛ لأنّ قوة الجاذبية ليست أقوى بما فيها الكفاية للتغلب على مقاومة الإلكترونات، والتي ترفض أن تتجاوز إلى الحالة الكمية للإلكترونات المجاورة. وبالمثل، فإنّ النّجوم النيوترونية تتوقف عن الانهيار؛ لأنّ النيوترونات كالإلكترونات تقاوم التجاوز إلى جاراتها من النيوترونات. ولنجم يموت، فإنه كلما كبر كان انكماشه أشد. وعندما يكون النّجم المنهار أكبر، فإنّ قوى الجذب يمكن أن تكون قوية إلى درجة كافية للتغلب حتى على مقاومة النيوترونات. ويستمر الانهيار إلى ما بعد مرحلة النّجم النيوتروني ويختفي النّجم ككلّ من الكون المنظور. ويدعى ما يتبقى *الثقب الأسود black hole*.



(أ) (ب)

الشّكل 17.27
يدور النّجم النابض في سديم السّرطان كالنور الكشاف، باعثًا حزمة من الضّوء المرئيّ والأشعة السينية في اتجاه الأرض ثلاثين مرة في الثانية مضيئًا ومعتمًا (أ) النابض وهو مضيء (ب) النابض وهو معتم.



الشّكل 18.27
لو انهار نجم إلى أن أصبح نصف قطره يعادل نصف قطره الأصلي دون تغيير على كتلته، فإنّ الجاذبية على سطحه تتضاعف أربع مرات (وفق قانون مربع معكوس المسافة). فإذا ما انهار النّجم إلى عشر نصف القطر، فستتضاعف الجاذبية على سطحه مئة مرة.

27 . 5 الثّقوب السّوداء

لمعلوماتك

■ بخلاف القصص التي تتحدث عن الثّقوب السّوداء، فهي ليست عدوانية، ولا تصل إلى الخارج وتبتلع الأجرام عن بعد. كما أنّ حقولها الجاذبية ليست أقوى من الحقول الأصلية للنجوم قبل انهيارها- إلا إذا كانت المسافة أقلّ من نصف قطر النّجم الأصلي. ولن تزعج الثّقوب السّوداء رواد الفضاء إلا إذا مرّوا قريبًا جدًّا منها.

الثقب الأسود هو بقايا نجم فوق عملاق انهار على نفسه. وبناء على هذا الانهيار، تزداد قوة الجاذبية على السّطح بشكل مثير. فكّر في ذلك من منظور قانون نيوتن للجاذبية. فَوَفْق هذا القانون وكما تعلمنا في المقطع 1.4، فإنّ قوة الجاذبية تعتمد على مربع معكوس المسافة. فإذا انهار نجم إلى عشر حجمه الأصلي، فستصبح المسافةُ بين السّطح والمركز عشرًا. وهنا يكون مربع المعكوس للعشر $\left(\frac{1}{0.1}\right)^2$ يساوي 100.

وهكذا، فإنّ الوزن على السّطح يصبح مئة ضعف، كما يوضح ذلك الشّكل 27 .18. وعليه، فإنّ قوة الجاذبية على السّطح للنجم المنهار تزداد لأنّ النّجم يصبح أصغر.

وكما تزداد قوة الجاذبية، تزداد *سرعة الانفلات*. ولنتذكر من البند 4 .9 أنّ سرعة الانفلات هي السرعة التي يحتاج إليها الجسم المتحرك للطيران بعيدًا دون السّقوط إلى الخلف. فلكوكب الأرض، تكون سرعة الانفلات 11.2 كم/ ث. وهذا يعني أنّ الجسم المقذوف خارجًا على سرعة 11.2 كم/ ث (نحو 25000 ميل/ساعة) لن يسقط أبدًا إلى الخلف أرضًا. إنّ سرعة الانفلات عن سطح شمسنا 618 كم/ ث. ولنجم فوق عملاق انهار على نفسه متخطّيًا مرحلة النّجم النيوتروني، فإنّ سرعة الانفلات ترتفع أسيًّا إلى سرعة الضّوء؛ أي 300000 كم/ ث.

في بداية القرن العشرين، وضع العالم أينشتاين فرضية الارتباط بين الضّوء والمادة. وأنّ كليهما يتأثر بالجاذبية. ونحن في العادة لا نشاهد تأثر الضّوء بالجاذبية لأنّه يتحرك سريعًا جدًّا، ولكن بالمراقبة الدقيقة يمكن قياس ذلك. فضوء النّجوم المار بجانب الشّمس المكسوفة، على سبيل المثال، يبدو وكأنه ينحني نحو الشّمس عندما يمر الضّوء من خلال الحقل الجاذبي القوي للشمس. وهكذا، فإنّ الضّوء يسحب في اتجاه الأسفل بفعل الجاذبية. إنّ ضوء الشّمس يمكن أن يغادر شمسنا؛ لأنّ سرعة الضّوء أكبر كثيرًا من سرعة الانفلات. فإذا كان هنالك نجم كشمسنا سينهار ليصبح نصف قطره 3 كم، فإنّ سرعة الانفلات من على سطحه ستزيد على سرعة الضّوء، وعندها لن يستطيع شيء الإفلات؛ حتى الضّوء. وحينئذ لن يكون بالإمكان رؤية الشّمس. بل ستصبح ثقبًا أسود.

وفي الحقيقة، فإنّ كتلة الشمس صغيرة جدًّا لتعاني من انهيار كهذا. ولكن عندما تصل بعضُ النّجوم التي كتلتها أكبر عدة مرات من كتلة الشّمس نهايةَ مصدرها النووي، يحدث الانهيار؛ ويستمر هذا الانهيار حتى تصل النّجوم إلى الكثافة اللانهائية. إنّ الجاذبية بالقرب من سطوح هذه النّجوم المنكمشة كبيرة جدًّا إلى حدّ أنّ الضّوء لا يستطيع الانفلات منها. لقد أبعدت نفسها عن مجال الرؤية.

إنّ كتلة الثقوب السّوداء بعد الانهيار هي نفسها التي كانت عليها بعده. لذا فإنّ الحقل الجاذبي في مناطق عند نصف القطر الأصلي للنجم أو بعيد عنه لا يختلف في كلتا الحالتين. فالكوكب الدائر سيبقى يدور وكأنّ شيئًا لم يحدث. ولكن في حالة المسافات الأقصر، بجوار الثقب الأسود، وأقلّ من نصف قطر النّجم الأصلي، لا شيء أقلّ من انهيار الفضاء نفسه مع ما يحيط به، بحيث إذا مرّ أيّ شيء قريبًا جدًّا- كالضّوء أو الغبار أو مركبة فضائية- فإنّه يُجر ويُسحب نحو الثقب الأسود (الشّكل 27 .19). ويمكن لرواد الفضاء في مركبة فضائية قوية الدخول إلى حافة محيط الثقب الأسود والنجاة منه. ولكن بعد مسافة معينة أقرب، فإنهم سيختفون من الكون المرئيّ.

الشّكل 19.27
أداء الثقب الأسود بسرقة المادة من نجم مرافق.

■ **نقطة فحص**

إذا انهارت الشّمس بطريقة ما ومفاجئة إلى ثقب أسود. فما التغير الذي يمكن أن يحدث في سرعة دوران الأرض؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا شيء. ويمكن فهم هذا جيدًا بالطريقة التقليدية؛ فلا شيء في قانون نيوتن للجاذبية $F=G\frac{mM}{d^2}$ يتغير. فحقيقة أنّ الشّمس تنضغط فهذا لا يغير في كتلها M شيئًا. ولا في المسافة d من الأرض شيئًا كذلك. ولأنّ كتلة الأرض M والجاذبية G لا تتغيران أيضًا. فإنّ القوة F التي تثبت الأرض في دورانها لا تتغير.

هندسة الثقب الأسود (The Black Hole Geometry)

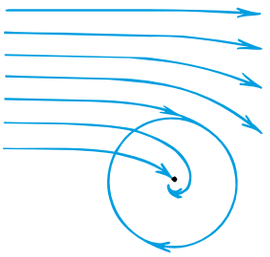
لو أشعلنا حزمة ضوئية في اتجاه ثقب أسود. ولكن بعيدًا قليلًا عنه. وعن بعد محدد تمامًا. كما يظهر في الشّكل 27 . 20، فبالإمكان توجيه الضّوء في مدار دائري حول هذا الثقب. تسمى المنطقة الواقعة فوق الثقب الأسود *الغلاف الفوتونيّ photon sphere* . إنّ هذا الغلاف الفوتونيّ غير مستقر؛ لأنّ أقلّ تغيير في التفاعل بين حزمة الضّوء مع الحقل الجاذبي سيرسل هذه الحزمة الضّوئيّة إلى داخل الثقب أو ترتد إلى الفضاء. إنّ أحزمةَ الضّوء الساقطة عرضيًّا على هذه المسافة الحرجة جميعَها تصطاد من قبل الكرة. إنّ رائدة فضاء جسورة تقود مركبة فضائية قوية. تستطيع المغامرة بالدخول إلى الغلاف الفوتوني للثقب الأسود والعودة إلينا مرة أخرى. عند وجود هذه المركبة داخل الغلاف الفوتوني فإنها تستطيع إرسال أحزمة ضوئية إلى الخلف في اتجاه الخارج الكوني كما يبدو في الشّكل 27 . 21. وإذا ما قامت بتوجيه ضوئها جانبيًّا. وفي اتجاه الثقب الأسود. فإنّ الضّوء سيلتف في الثقب الأسود بسرعة. ولكن الضّوء الموجه عموديًّا وبزاوية قريبة من العمودي فيستمر في الانفلات. وكلما اقتربت من الثقب الأسود أكثر فإنها تحتاج إلى إضاءة الحزمة الضّوئيّة عموديًّا أو أقرب إلى العمودي للانفلات.

وبمزيد من الاقتراب ستجد رائدة الفضاء نفسها عند مسافة معينة؛ حيث لا يفلت أي ضوء. إنّ الاتجاه الذي سيوجه إليه ضوء الوميض غير مهم؛ لأنّ أحزمة الضّوء كلّها ستنحرف نحو الثقب الأسود. إن سفينتنا غير المحظوظة ستكون قد مرَّت في **أفق الحدث *event horizon***.. وهو الحد الذي لا يمكن أن ينبعث منه أي ضوء. فعندما تصبح المركبة داخل أفق الحدث. فإنها لا تستطيع الاتصال بالكون الخارجي؛ فلا أمواج الضّوء. ولا أمواج الراديو. ولا أيّ مادة يمكن أن تفلت من داخل هذا الأفق. وسيكون أداء مركبتنا هذه هو الأخير في تجاربها الكونية كما نتخيل.

إنّ أفق الحدث المحيط بالثقب الأسود غالبًا ما يسمى *سطح* الثقب الأسود. والذي يعتمد قطره على كتلة الثقب. فعلى سبيل المثال. سيكون للثقب الأسود الناتج عن انهيار نجم له كتلة تساوي عشرة أضعاف كتلة الشّمس أفقُ حدث بقطر يصل إلى 30 كم. وسيكون نصف القطر المقدر للثقب الأسود لكتل متنوعة وفق ما يظهر في الجدول 27 . 1. إنّ أفق الحدث ليس سطحًا فيزيائيًّا؛ فالأجرام الساقطة تمرّ من خلاله. إنّه. وببساطة. حدّ اللاعودة.

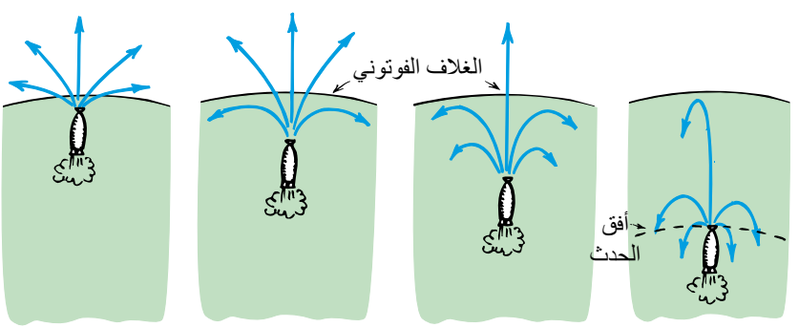
عندما ينكمش نجم في أفق حدثه. فإنه لا يزال لهذا النّجم حجم واقعي. ولا توجد قوة معروفة يمكن أن توقف استمرار انكماشه. بل إنّ حجمه ينكمش سريعًا حتى يُعصر في النهاية إلى ما يمكن تصوره برأس

أشعة الضّوء



الشّكل 20.27

أشعة ضوئية منحرفة بفعل الحقل الجاذبي حول ثقب أسود. إنّ الضّوء الذي يمرّ بعيدًا ينحني قليلًا. ولكن الضّوء الذي يمرّ قريبًا فإنه يسحب إلى مدار دوراني؛ أمّا الضّوء الذي يمرّ أقرب فأقرب فيسحب إلى داخل الثقب.



الشّكل 21.27

الضّوء تحت الغلاف الفوتوني مباشرة. يمكن لرائدة الفضاء أن تشع ضوءًا إلى الخارج. ولكنها كلما اقتربت من الثقب الأسود الموجّه بالقرب من الشاقول فقط، فإن الضوء سينبعث نحو الخارج حتى يصطاد في النهاية. يحدث هذا على مسافة تعرف بأفق الحدث event horizon.

الجدول 1.27 نصف القطر المتوقع لأفق الحدث لثقوب سوداء متغيرة للكتلة وغير واردة

كتلة الثّقب الأسود	نصف قطر أفق الحدث
كتلة أرض واحدة	0.8 سم
كتلة مشتري واحدة	2.8 سم
كتلة شمس واحدة	3 كم
كتلتا شمس	6 كم
3 كتل شمسيّة	9 كم
5 كتل شمسيّة	15 كم
10 كتل شمسيّة	30 كم
50 كتلة شمسيّة	148 كم
100 كتلة شمسيّة	296 كم
1000 كتلة شمسيّة	2961 كم

دبوس. ومن ثَمَّ إلى حجم الميكروب. وفي النهاية إلى حجم لا يستطع الإنسان قياسه حتى الآن. وعند هذه النقطة، وبحسب المبادئ النظرية فإنّ ما يتبقى سيكون بكثافة لا نهائية. وهذه النقطة هي **تفرّد الثقب الأسود** ***black hole singularity***.

■ السّقوط في ثقب أسود

تصور نفسك تستكشف ثقبًا أسود في بعثة علمية مستقبلًا. وأنّ مركبتك الفضائية تطوف بك في مدار آمن حول هذا الثقب. إنّ أولى تجاربك هي إرسال مجس حامل لساعة في اتجاه الثقب الأسود. السّاعة مكونة من LED كبير ينشر ضوءًا أزرق. ومن خلال المقراب يمكن مشاهدة المجس وهو يهبط. وما تجدر ملاحظته هو أنه كلما اقترب المجس من الثقب الأسود قلت سرعة السّاعة. وأكثر من ذلك، فإنّ الضّوء القادم من السّاعة ينحرف من اللون الأزرق إلى الأحمر ذي التردد المنخفض. وعندما يتقدم المجس إلى مسافة أقرب فإنّ السّاعة تسير بسرعة أقلّ. وسريعًا، لن تتمكن من رؤية السّاعة نهائيًا لأنها تحولت إلى الأشعة تحت الحمراء. وهكذا، فإنك تحوّل إلى مقراب الأشعة تحت الحمراء لتشاهد أنه كلما اقترب المجس من الثقب الأسود، فإنّ سرعة السّاعة تقلّ إلى درجة وكأنها تزحف ببطء. وأكثر من ذلك، فإنّ المجس يبدو أنه يأخذ وقتًا طويلًا وغير عادي للهبوط. وأخيرًا، يمكن مشاهدة الضّوء الصادر من السّاعة فقط بمقراب أمواج الميكروويف ويتبعه المقراب الراديوي حيث يصبح تردد الضّوء من السّاعة أقلّ فأقلّ. وفي النهاية، وعند اختفاء السّاعة مباشرة وبالكامل وحيث لا تصدر أيّ نوع من الضّوء، يمكن ملاحظة أنّ الوقت توقّف عند السّاعة. وللوصول إلى هذه النقطة، ستتعرف زمنًا لانهائيًا من وجهة نظرك.

ولكنك لن تظلّ إلى الأبد تتعب سريعًا من مشاهدة السّاعة فوق البطيئة حيث تزحف وببطء شديد نحو الثقب الأسود. لذا فإنك تقرر التحرك إلى التجربة الثانية، والتي تكون فيها مع متطوعين، حيث تضع نفسك في مجسّ ثانٍ مجهز بساعة زرقاء وصف من المقاريب. فكلما هبطت في اتجاه الثقب الأسود، فإنك ستشاهد أن ساعتك تسير بشكل طبيعي تمامًا دون تغيير في اللون. ولكن السّاعة في السفينة الأم تسير بسرعة أكبر. إضافة إلى أنّ لونها يتحول إلى فوق البنفسجي وما بعده. إن زملاءك القدماء في الملاحة يتحركون أسرع منك. فحتى كلما هبطت بشكل أعمق، فإن سرعتهم تزداد بشكل أسرع. وسريعًا سينفد صبرهم بانتظارك وسيتركونك خلفهم تلاقي مصيرك المحتوم "الموت". وقبل أن تعرفها، فإنّ بقايا النّجوم المرئية ستمر سريعًا خلال مدة حياتها، وأنّ ضوءها يأتيك على شكل وميض بتردد فوق عالٍ، ولكن بمنظر حقل ضيق. وبعد ذلك لن يكون هناك أيّ شيء.. وفي تلك اللحظة، فإنك ستمرّ من خلال أفق الحدث، والذي هو عبارة عن حدّ رياضي لا فيزيائي. إنّ الصفة الفردية لا زالت تحتك وعلى بعد عدة كيلومترات، ولكنك لا زلت ممسوكًا بقبضة صارمة بإحكام. إنّ الكون الذي تركته خلفك ذهب وقته وانتهى، ولم يعد موجودًا. ولسوء الحظ، فإنّ سقوطًا كهذا في أفق الحدث لثقب أسود معتدل الحجم لن يكون قابلاً للبقاء. فكلما اقتربت، فإنّ سَحْب الجاذبية لقدميك ستزيد سريعًا عن سحبها لرأسك. ونتيجة لذلك فإنّ جسمك سينبسط ويمط. وسوف تتشقق وتتمزق وتفقد فرصة التجربة في أفق الحدث. وأكثر من ذلك وباستمرار سقوطك في اتجاه تفردية الثقب الأسود، فإن ذرات جسمك ستنضغط إلى حجم لا نهائي في الصغر بحيث لا تستطيع البقاء. والذي يحدث بعد ذلك هو التخمين فقط. فقد ينفجر جسمك كالانفجار الأعظم مولّدًا كونًا آخر. وقد يكون ما حدث للكتلة الساقطة في تفردية في الثقب الأسود أغرب مما يمكن تصوره. وقد نفهم نحن البشر البارعون في يوم ما كل هذه العمليات والأحداث، إذا استمرت أنواعنا البشرية طويلا.

إننا نعتقد أنّ النّجوم الميتة كلّها التي لها كتلة لبّ أكبر خمس مرات من كتلة الشّمس هي ثقوب سوداء. وأنّ تحديد مواقع هذه الألباب النّجميّة غير المرئية يعدّ صعبًا. وهناك طريقة واحدة لتحديد مواقعها، وهي البحث عن نجم ثنائي، حيث يظهر نجم ساطع منفرد يدور حول رفيق غير مرئيّ. كما يبدو ذلك في الشّكل 27 .19. وإذا ما كانا قريبين أحدهما من الآخر، فإنّ المادة المقذوفة من الرفيق العادي والتي تتسارع في اتجاه الجار "الثقب الأسود" ستصدر أشعة سينية. إنّ أول مرشح مقنع لوجود الثقب الأسود هو نجم الأشعة السينية في كوكب الدجاجة Cygnus X–1 الذي اكتشف في عام 1971. كما اكتشف المزيد من الثّقوب السّوداء المرشحة منذ ذلك الزمن، والتي تؤيد شيوع الثّقوب السّوداء. إنّ دراسة مركز مجرتنا يقترح وبشدة وجود ثقب أسود قطره نحو 6 بلايين كيلومتر، وهذا يعادل سعة نظامنا الشّمسي. إن نشأة هذا الثقب الأسود الضخم يعود إلى تكوين المجرة نفسها.

كما جرى الوصف في صندوق الصفحة 734، فإن قوى المد والجزر سوف تمزقك قبل السّقوط في ثقب أسود ذي حجم عادي. وفي ثقب أسود ضخم الحجم، مثل ذلك الموجود في مركز مجرتنا، فإنّ قوى المد والجزر لا تكاد تذكر، وأنّ سفينتك الفضائية يمكن أن تمر بسلام وتستمر حياتها من خلال أفق الحدث.

■ **نقطة فحص**

ما الذي يحدد ما إذا كان نجمٌ ما سيصبح قزمًا أبيض، أو ثقبًا أسود، أو نجمًا نيوترونيًا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ كتلة النّجم هي العامل الأساس في تحديد مصيره. فالنّجوم التي تبلغ كتلتها قدر كتلة الشّمس، وتلك التي كتلتها أقلّ منها ستتطور إلى أقزام بيضاء؛ أما النّجوم التي تبلغ كتلتها عشرة أضعاف ($10\ M_{sun}$) أو أكثر فستتطور لتصبح نجومًا نيوترونية. في حين تتطور النّجوم الأعظم كتلة إلى ثقوب سوداء.

■ 27 . 6 المجرّات

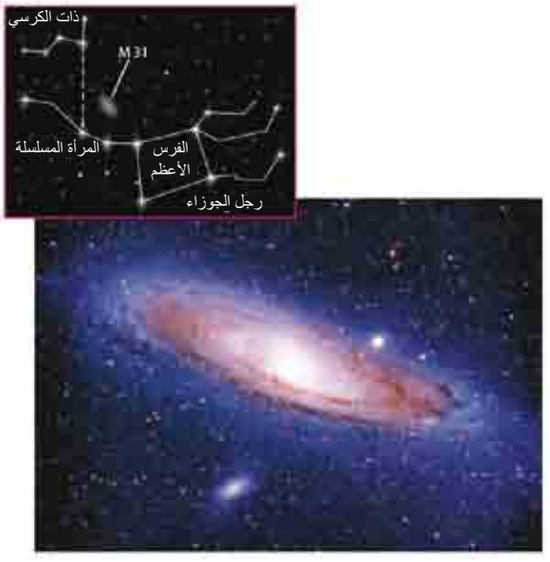
إذا نظرت إلى الأعلى بعيدًا عن ضوء المدن، في ليل سماؤه صافية، فسترى الكثير من النّجوم. وفيما بين النّجوم سترى أيضًا الكثير من السواد. وقبل بدايات القرن العشرين، قادت وفرةُ السواد في السّماء ليلًا العديدَ من الناس إلى الاستنتاج أنّ الكون يتكوّن من جزيرة فيها ملايين النّجوم تحتضن في بحر ضخم من الفضاء. وبالإضافة إلى النّجوم يوجد أيضًا سدم تشبه الغيوم، ويتميز بعضها بشكله الحلزوني. وفي بداية عام 1750م، اقترح الفيلسوف الألماني إيمانويل كانت أنّ هذه الغيوم الحلزونية ما هي إلا جزر أخرى من النّجوم أسماها *المجرّات*. ولكن بسبب عدم وجود مقراب ذي جودة عالية، لم يكن بالإمكان تحديد ما إذا كان ذلك حقيقيًّا أم لا.

إنّ النقاش الدّائر حول ما لو أنّ الكون يتكون من جزيرة واحدة أو عدة جزر من النّجوم، قد حسمه الفلكي الأمريكي إدوين هابل؛ ففي عام 1927م عمل هابل في أضخم مقراب في العالم بني حديثًا في ذلك الوقت، وعندها استطاع إثبات وجود نجوم مستقلة في سديم المرأة المسلسلة الحلزونية (الشّكل 22.27). كما لاحظ أنّ بعض هذه النّجوم هي من *النّجوم المتغيرة Cepheids*، التي تغير سطوعها في دورات قصيرة من الزمن. وبقياس معدّل تغير سطوعها، تمكّن من تقدير بُعْدِها فوجده أبعد كثيرًا من أيّ نجم يقع في مجرتنا. إنّ السّديم الحلزونيّ، ببساطة، لم يكن غيومًا، فهو جار من الجزر النّجمية في فضاء ضخم يمتدّ إلى ما لانهاية.

تعمق هابل خطوة أخرى في أبحاثه، واكتشف شيئًا أكثر دهشة. لقد كان يعلم أنّ لون الضّوء الصادر عن نجم أو مجرة يتراجع عنا، وينزاح إلى الأحمر بسبب ظاهرة دوبلر (البند 8.10). ويمكن قياس درجة الانزياح كميًّا بالتركيز على خط طيف الهيدروجين (البند 6.12). فكلما كان الانزياح في خطوط طيف الهيدروجين أكبر، كانت سرعة التراجع أكبر. ولقد قاس فريقه البحثي كلًّا من المسافة والانزياح نحو الأحمر للعديد من المجرّات، واكتشفوا أنه كلما بعدت المجرة ازداد الانزياح نحو الأحمر. وهذا يعني أنّ المجرّات ليست جزرًا ساكنة، بل تبتعد عنا في الاتجاهات كافة، مما يعني أنّ الكون نفسه يتوسع.

لمعلوماتك

■ تصنف المجرّات إلى مجموعتين في كتالوجين. فالمجموعة الأولى؛ الكتالوج الأول تتضمن أعمال شارلز مسيير Messier الذي نشر عام 1781 قائمة بالتراكيب السّماويّة كالمجرّات التي يمكن رصدها وبسهولة نسبيّة بمقراب صغير. فمجرة المرأة المسلسلة على سبيل المثال لها رقم إدخال 31 في هذا الكتالوج وهكذا، فإنها تدوّن تحت رقم M 31. وهناك المجموعة الثانية أي الكتالوج الثاني الذي يسمى «كتالوج العام الجديد New General Catalog NGC"والذي بدأ سنة 1888م واستعمل لتحديد التراكيب كلّها بما فيها تلك التي أصبحت تُشاهد باستعمال أدقّ المقاريب. واستنادًا إلى هذا النظام، فإنّ مجرة المرأة المسلسلة تأخذ الرقم NGC224. ويمكنك استعمال هذه الأرقام لبحثك في الشبكة العنكبوتية للمزيد من المعرفة عن هذه الأجرام، بما فيها مواقعها في السّماء ليلا.



الشّكل 22.27

لقد بين هابل أنّ السّديم الحلزونيّ العظيم في الأندروميدا لم يكن دوّامة من غيمة غازية فقط، بل مجرة مجاورة من النّجوم تدعى الآن مجرة المرأة المسلسلة Andromeda والتي صنّفت تحت رقم M 31. ويمكن لك مشاهدة مجرة المرأة المسلسلة بنفسك بالنظر ما بين كوكبة ذات الكرسي والفرس الأعظم في شتاء ليل في السّماء.

ستبدو المجرة ضخمة، وتغطّي مساحة ستة أضعاف القمر عندما يكون بدرًا. وهي بالطبع معتمة أكثر من القمر. وستكون أفضل مشاهدة باستخدام المقراب بعيدًا عن ضوء المدن.

لو كانت المجرّات البعيدة كلّها تتحرك بعيدًا بعضها عن بعض، فهذا يعني فقط أنها كانت في وقت ما متقاربة أكثر. وبإعادة الشريط الكوني إلى الوراء، فإنّ هذا سيقودنا إلى نتيجة حتمية وهي أنّ المجرّات جميعها كانت معًا في نقطة واحدة في لحظة ما. ومن ثم، فالكون كما نعلم ذو بداية. هذه اللحظة تسمى الانفجار الأعظم *Big Bang* الذي سنناقشه بتفصيل أكثر في الفصل 28. وفي الجزء المتبقي من هذا الفصل، سنصف وببساطة الأنواع المختلفة من المجرّات، وكيفية انتظامها في الكون المرئي.

تتكون المجرة من تجمع كبير من النّجوم، والغاز ما بين النّجميّ والغبار. إنّ المجرّات هي الأرضية المولدة للنجوم. ويعد نجمنا الشّمس واحدًا من مئة بليون نجم عادي في مجرة تعرف بمجرة درب التبانة (الشّكل 27 . 23).

الشّكل 23.27

صورة واسعة لدرب التبانة، والتي تظهر كحزمة ضوئية ممتدة شمالًا – جنوبًا. الأزقة المعتمة والبقع عبارة عن الغاز ما بين النّجمي والغبار الذي يعتم الضّوء الآتي من مركز المجرة. ولو لم يكن هذا الغبار موجودًا، فإنّ درب التبانة ستنشر ضوءها ليلًا بصورة خلابة. وتبين هذه الصورة أيضًا مذنب هياكوتيك الذي ظهر عام 1996.

فبالعين المجردة، يمكننا مشاهدة درب التبانة كحزمة باهتة من الضّوء تمتد وسط السّماء. ولقد سماها الإغريق القدماء الدائرة الحليبية، في حين سماها الرومان الطريق الحليبي أو الممر الحليبي، إلا أنّ الاسم الثاني أهمل.

تتراوح كتل المجرّات من واحد على مليون إلى 50 ضعف كتلة مجرتنا. وللمجرات كتل أكبر كثيرًا مما يمكن مشاهدته بالمقاريب. فأجزاء صغيرة من الكتل غير المرئية هي ببساطة مواد باردة إلى درجة أنها لا تصدر إضاءة كافية لنتمكن من رؤيتها. ولكن الجزء الأعظم من هذه المواد غير المرئية هي أشكال من المادة تعرف *بالمادة القاتمة* dark matter التي لا تمتص ولا تصدر أيّ إضاءة. ولكنها تمتلك كتلة على أيّ حال. وعليه، يمكن قياس تأثيرها الجاذبي. في الفصل القادم، سوف نصف الدور الرئيس الذي قامت به المواد القاتمة في تكوين المجرّات وتوزعها.

المجرّات الإهليلجيّة (Elliptical)، والحلزونيّة (Spiral)، وغير المنتظمة (Irregular)

تصنّف ملايين المجرّات التي تشاهد على ألواح التصوير إلى ثلاثة أنواع هي: الإهليلجية، والحلزونية، وغير المنتظمة. *فالمجرّات الإهليلجية* هي الأكثر شيوعًا في الكون. وهي كروية الشّكل، وتزدحم فيها النّجوم في المركز. ويحتوي معظمها على القليل من الغاز والغبار، مما يساعد على رؤيتها. وتبدو أيضًا صفراء اللون ما يعني أنها تتكون من نجوم قديمة. فالنّجوم القديمة المسنة تكون صفراء اللون، في حين أنّ النّجوم الحارة الشابة تبدو زرقاء اللون. إنّ معظم المجرّات الإهليلجية صغيرة، وتتكون من أقل من بليون نجم (الشّكل 27 .24)، عدا المجرة الإهليلجية العملاقة M 87 (الشّكل 27 .25). كما أنّ أضخم المجرّات الإهليلجية تبلغ 5 أضعاف مجرتنا، وأصغرها 1/ 100 من حجم مجرتنا.

أما *المجرّات الحلزونية* كالمرأة المسلسلة، كما تبدو في الشّكل27 .22، فقد تكون أجمل النّجوم ترتيبًا. إنّ بعض المجرّات الحلزونية، كالمجرة القبعة sombrero الشّكل 27 .26 لها قبة نواة كروية. وبعضها كما يبدو في الشّكل27 .27 لها نواة متطاولة على شكل عصا barred. في حين تشبه مجرة درب التبانة، إلى حدّ بعيد، مجرة NGC 6744 الحلزونية، والتي هي وسط بين المجرّات العصوية النواة واللاعصوية (الشّكل 27 .28).

أما *المجرّات غير المنتظمة* فهي عادة صغيرة وباهتة ومن الصعب اكتشافها. ويبدو أنها تحتوي على غيوم كبيرة من الغاز والغبار، وكذلك على نجوم فتيّة زرقاء وأخرى مسنة صفراء.

الشّكل 24.27

هذه المجرة الإهليلجية الصغيرة، التي تسمى الأسد آي Leo I، وجدت في كوكبة الأسد، ويبلغ قطرها 2500 سنة ضوئية. وللمقارنة، فإن قطر مجرة درب التبانة نحو 100000 سنة ضوئية.

لمعلوماتك

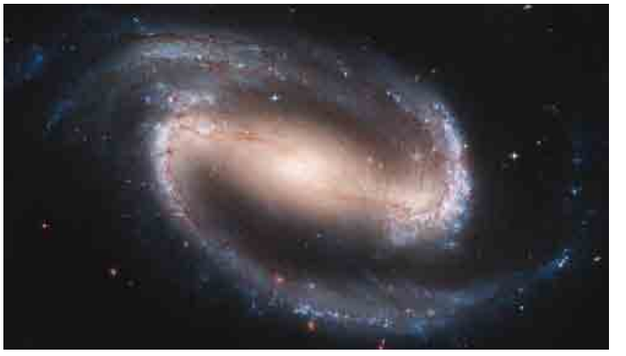
■ تعدّ مجرة المرأة المسلسلة أقرب المجرّات الحلزونية إلينا؛ فهي جارة تبعد عنا 2.5 مليون سنة ضوئية وهي تضم عددًا من النّجوم أكبر كثيرًا من درب التبانة والتي تجعلها أكثر سطوعًا. ويبلغ قطرها أيضًا نحو 220000 سنة ضوئية مقارنة مع درب التبانة 100000 سنة ضوئية. وهكذا، فإن مشاهدتنا لمجرة المرأة المسلسلة خلابة أكثر من مشاهدة المرأة المسلسلة لنا.

الشّكل 25.27

المجرة الإهليلجية العملاقة M 87، من أكثر المجرّات سطوعًا في السّماء، تقع بالقرب من مركز عنقود العذراء الذي يبعد 50 مليون سنة ضوئية عن الأرض تقريبًا. ويبلغ عرضها 120000 سنة ضوئية، وكتلتها أكبر 40 مرة من كتلة مجرتنا درب التبانة.

الشّكل 26.27

يبلغ قطر مجرة القبعة، M 104، 80000 سنة ضوئية وتبعد عن الأرض 32 مليون سنة ضوئية تقريبًا. ويقع في مركزها أحد أكبر الثّقوب السّوداء كتلة قيس حتى الآن في أيّ مجرة مجاورة.



الشّكل 27.27
المجرة الحلزونية العصوية الجميلة NGC 1300 يبلغ عرضها 100000 سنة ضوئية وتبعد 70 مليون سنة ضوئية.

إنّ المجرة غير المنتظمة التي وصفت لأول مرة من قبل الملاحين في رحلة ماجلان حول العالم عام 1521 هي الجارة الأقرب إلينا. إنها غيمة ماجلّان. تتكوّن هذه المجرة من غيمتين تسمى إحداهما غيمة ماجلان الكبرى (L M C) والأخرى غيمة ماجلان الصغرى (SMC). وكلتاهما تجذبان ببطء إلى درب التبانة. إنّ غيمة ماجلان الكبرى مرصعة بنجوم حارة فتيّة، تصل كتلها مجتمعة إلى 20 بليون كتلة شمسيّة، في حين أنّ غيمة ماجلان الصغرى تحوي نجومًا تساوي كتلها مجتمعة أكثر من بليوني كتلة شمسيّة، كما يبدو في الشّكل27 . 29. بعض المجرّات غير المنتظمة كما هو الحال في NGC 4038 الشّكل 27 . 30 . هي نتاج آثار حادثات تصادم المجرّات.

■ **نقطة فحص**

هل يمكن أن يتحول نوع من المجرّات إلى نوع آخر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

نعم، ويحدث ذلك عندما تتصادم مجرتان متناظرتا الشّكل معًا لتكوّنا مجرة غير منتظمة وغير متناظرة الشّكل.

المجرّات النشطة (Active Galaxies)

بالمعايير المجريّة، تعدّ مجرتنا درب التبانة وسيمة ومصقولة الحواف. وبعيدًا عن مجرة درب التبانة هذه، وجد الفلكيون مجرات سموها *المجرّات النشطة* وهي ذات طاقة كبيرة جدًّا. إنّ أحد نماذج هذه المجرّات النشطة هي **المجرة المنتجة للنجوم *starburst galaxy***، حيث تتشكّل النّجوم بمعدل عال غير عادي. تستطيع المجرة المنتجة للنجوم توليد أكثر من مئة نجم جديد كلّ سنة. وبالمقارنة، تولّد مجرة درب التبانة ما معدّله نجم واحد في السّنة. إنّ هذا المعدل العالي لإنتاج النّجوم في هذا النوع من المجرّات، هو في الغالب، نتيجة لنوع من الاضطراب السريع كالتصادم بين المجرّات. والمجرة غير المنتظمة في الشّكل27 .30 هي مثال للمجرات المنتجة للنجوم. وهناك مثال آخر وهو مجرة السيجار M 82 التي تتشكّل بفعل قوى المدّ من جارتها الأكبر كثيرًا مجرة M 81 (الشّكل 27 .31). ويبدو أنّ المجرة المنتجة للنجوم تموت بمجرد زوال الاضطراب، أو بعد استهلاك كل الوقود ما بين النّجمي. ويعتقد أنّ العديد من المجرّات الإهليلجيّة كانت أصلا مجرات منتجة للنجوم بسبب قلة وفرة الغبار والغاز ما بين النّجمي.

الشّكل 28.27
المجرة NGC 6744 حلزونية وسطى بين عصوية النواة ولا عصوية النواة. كما أنّ دراسة درب التبانة يعتقد أنها أيضًا حلزونية متوسطة. وبكلمات أخرى، فهذا هو ما يرى منها من بعيد.

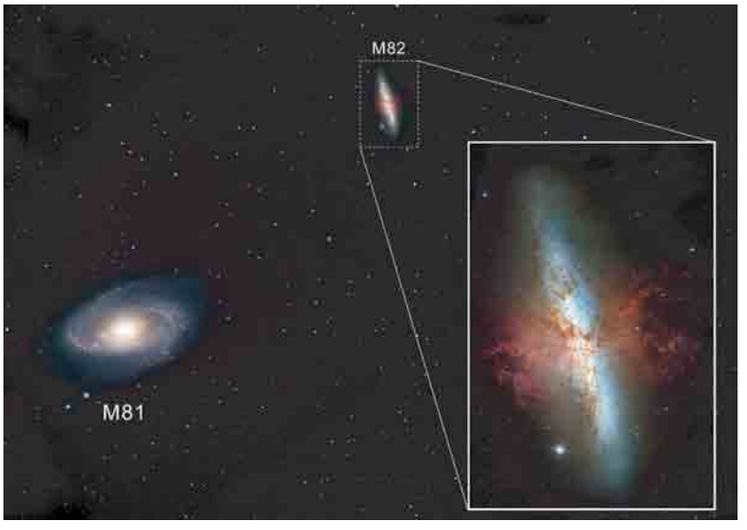
(ب) (أ)

الشّكل 29.27
(أ) غيمة ماجلان الكبرى (ب) غيمة ماجلان الصغرى والمجاورة وهما زوج من المجرّات غير المنتظمة. إنّ غيمتي ماجلان هما المجرتان الجارتان الأقرب إلينا، حيث تبعدان عنا نحو 150000 سنة ضوئية. ويبدو أنهما تدوران حول درب التبانة.

الشّكل 30.27
تبيّن الصورة باللونين الأبيض والأسود المأخوذة بمقراب أرضي منظرًا لمجرة غير منتظمة ناتجة عن تصادم مجرتين. لاحظ بقايا الأذرع التي تقترح مجرتين حلزونيتين سابقتين. وتبين الصورة التفصيلية صورة مكبرة بالألوان التقطت بمقراب هابل الفضائي، يتضح فيها التّشكّل السريع لنجوم جديدة (الأزرق) والذي يحدث بفعل مجموع كتلتي المجرتين.

إنّ المجرّات النشطة الأخرى تكون هكذا بفعل لبّها المجرّي، والذي يستضيف ثقبًا أسود كثافته أكبر من كثافة الشّمس مليون وحتى بليون مرة. يبلغ أفق الحدث لمثل هذه الثّقوب السّوداء حجم نظامنا الشّمسي! وتحتوي معظم المجرّات الضخمة، بما فيها درب التبانة، على مثل هذه الثّقوب السّوداء في مراكزها. إنّ الذي يصنّف المجرّات النشطة كمجموعة منفصلة هو الكمية الضخمة من المادة التي تسقط باستمرار في ثقوبها السّوداء فوق الكتلية. وقبل السّقوط في هذه الثّقوب السّوداء، تكوّن الكتلة الساقطة قرصًا يدور حول نفسه بسرعة، ويسمى *القرص النامي* ***accretion disk*** حول خطوط الاستواء للثقوب السّوداء. تولّد الدقائق المشحونة في هذا القرص السريع جدًّا في دورانه، حقلًا مغناطيسيًّا ضيقًا، ولكنه قويّ جدًّا يرتفع من قطبي الثقب الأسود. وبدلًا من سقوطها في الثقب الأسود، فإنّ بعض الدقائق المشحونة كالإلكترونات، تتسارع في اتجاه الخارج في هذه الحقول المغناطيسية إلى ما يقارب سرعة الضّوء. وينتج عن ذلك انسيابان طويلان جدًّا من الدقائق يسميان *النفاثات* ***jets*** تمتد آلاف السّنوات الضّوئيّة بعيدًا عن مركز المجرة التي تسمى **النواة النشطة للمجرة** ***active galactic nucleus (AGN)***.

لقد وُجدت نواة نشطة لمجرة قريبة نسبيًّا في المجرة الإهليلجية *M* 87 الموضحة في الشّكل 27 .25. وتوضّح الصور الشديدة التفاصيل لهذه المجرة، كما يبدو في الشّكل 27 . 32 ، نفاثًا من المواد



الشّكل 31.27
مجرة السيجار M 82، وهي مجرة حلزونية ملتوية بعيدة عنّا. لذا، فإننا نراها من إحدى حوافها. إنّ قوى المدّ من المجرة M 81 المجاورة تحدث اضطرابًا في توزيع المادة في M 82 والتي تتكتل مؤدية إلى تشكّل العديد من النّجوم الجديدة، كما يستدل من اللون الأزرق المميز لمجرة M 82. إنّ الغازات الحمراء فوق المجرة وتحت مستواها هي مبدئيًّا هيدروجين يدفع نحو الخارج بفعل الرياح النّجمية الوفيرة.

الشّكل 32.27
تولّد المواد الساقطة في الثقب الأسود فوق الكتلي في مركز المجرة M 87 نفاثات تندفع مبتعدة بسرعة تعادل سرعة الضّوء تقريبًا.

يتدفق مبتعدًا عن مركزها إلى مسافة 7000 سنة ضوئية تقريبًا. ومن المفيد معرفة أنّ النفاث يميل بزاوية نحونا. وهذه بالإضافة إلى السرعة الهائلة لهذا النفاث (99.5% من سرعة الضّوء)، تساعد على جعل النفاث يبدو أكثر سطوعًا. أما النفاث المضاد الذي يبتعد عنا بمثل هذه السرعة الهائلة، فهو غير قابل للرؤية لعدة أسباب متعلقة بنظرية أينشتاين النسبية.

تزودنا النوى النشطة للمجرات القريبة، كما هو الحال في M 87، بمعلومات لفهم طبيعة المجرّات ذات الطاقة الأعلى- *الكوازرات quasars* . فمنذ ستينيّات القرن الماضي، بدأ الفلكيون اكتشاف أجرام ذات طاقة عالية جدًّا يبلغ سطوعها مئات المرات أكثر من مجرتنا، ومع ذلك فهي أبعد من أيّ جرم مرصود. وبما أنها تبدو كالنّجوم الباعثة للموجات الراديوية، سميت بأشباه مصادر النّجوم الراديوية، والتي اختصرت إلى "كوازرات". وبما أن الكوازرات جميعها شديدة البعد جدًّا، فإنها تكون قد نشأت منذ زمن طويل جدّا - يصل إلى نحو 13 بليون سنة مضت، وهذا الزمن يعني أنها قريبة من نشأة الكون. وهكذا، فعندما ننظر إلى الكوازرات، فإننا ننظر في الحياة الأولى المبكرة للمجرات (الشّكل 33.27). ففي شباب مثل هذه المجرّات، فإنّ معظم المواد كانت لا تزال تسقط في الثّقوب السّوداء فوق الكتلية الموجودة في لباب المجرّات. تسمح دينامية هذه العملية بالتحول الفاعل من المادة إلى الطاقة، وتوليد نفاثات هائلة لدقائق عالية الطاقة والضوء. وعندما تواجهنا واحدة من هذه النفاثات القديمة، تكون النتيجة انتشارًا متألقًا للطاقة يسمى **كوازر quasar**.

■ **نقطة فحص**

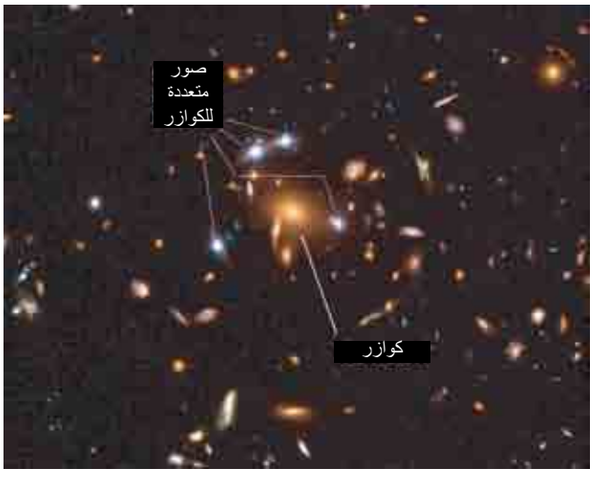
هل يوجد أيّ كوازر في مجرة درب التبانة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

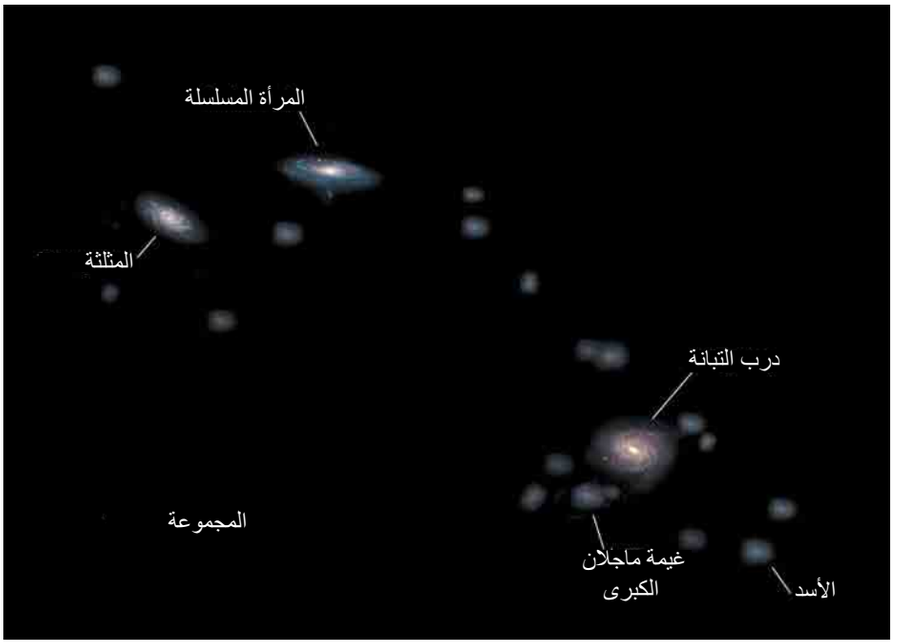
لا؛ فالكوازر هو النواة النشطة لمجرة كما كانت عند نشأة الكون. الكوازرات جميعها تبعد عن مجرتنا بلايين السنين الضّوئيّة.

العناقيد (Clusters) وفوق العناقيد (Super Clusters)

المجرّات ليست البنى الأكبر في الكون، حيث يبدو أنّ هذه المجرّات تتشكّل كعنقود في مجموعات متميزة. وعلى سبيل المثال، فإن مجرتنا تعدّ جزءًا من عنقود من المجرّات المحلية التي تضم مجرتين أخريين حلزونيتين هما المرآة المسلسلة والمثلثة Triangulam. وتضم أيضًا أكثر من 12 مجرّة إهليلجية صغيرة، مثل مجرة الأسد Leo I المبينة في الشّكل27 - 24، وقليلًا من المجرّات غير المنتظمة كغيمة



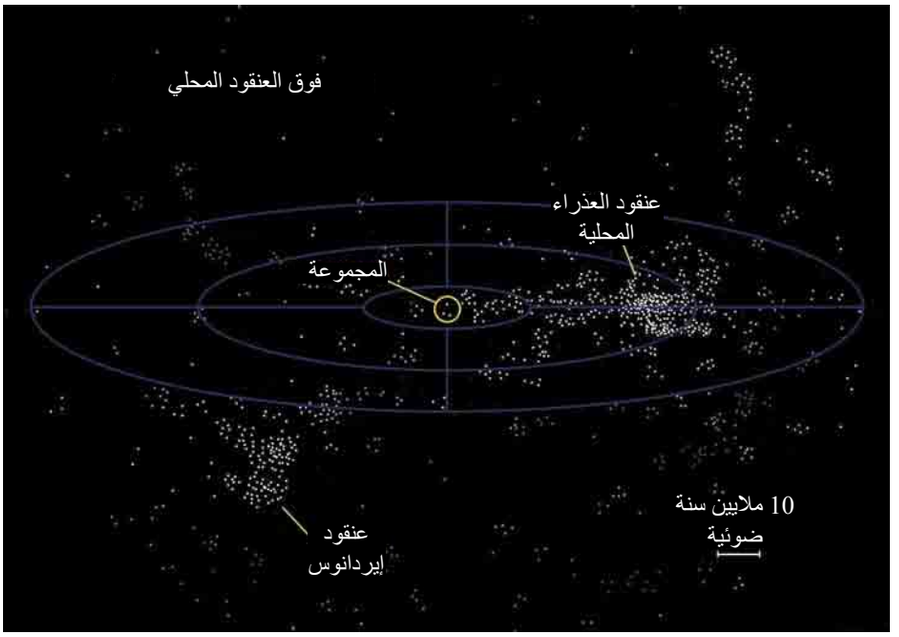
الشّكل 33.27
كلٌّ واحد من الأقراص في هذا المنظر الفضائي العميق والذي التقط بمقراب هابل الفضائي- مجرةٌ. يقع الكوازر الذي يرى في المركز على بعد بلايين السنين الضّوئيّة خلف عنقود المجرّات. ولقد أمالت جاذبية العنقود الضّوء الصادر عن الكوازر كما تفعل العدسة. لذا، تشاهد عدة صور للكوازر.



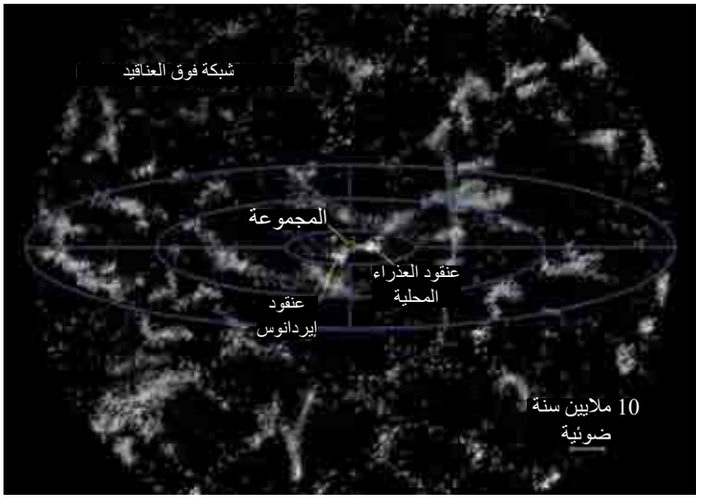
الشّكل 34.27
تبيّن هذه الصورة المركبة الثنائية الأبعاد المسافات النسبية التقريبية بين أعضاء مجموعة مجراتنا المحلية. تتحرك هذه المجرّات كلها بعضها اتجاه بعض، وسوف تتصادم في يوم ما لتشكيل فوق مجرة كبيرة.

ماجلان الكبيرة. وكل هذا العنقود من المجرّات يعرف بالمجموعة المحلية Local Group . يوضح الشّكل34.27 التوزيع التقريبي لهذه المجرّات. ولو رُسِمت وفق مقياس رسم صحيح، فستكون مجرة لمرأة المسلسلة على بعد 20 ضعف قطر درب التبانة عن درب التبانة. لقد سميت **المجرة المثلثة *Tri-angulam*** بهذا الاسم لأنها تكمل مثلثًا بين المجرّات الحلزونية. فهي أقرب إلى المرأة المسلسلة، ولكنها أبعد منا.

تقع المجموعة المحلية من المجرّات أيضًا تحت تأثير الجاذبية لعناقيد المجرّات المجاورة. فعنقودنا، بالإضافة إلى هذه العناقيد الأخرى كلّها، تشكّل ما يعرف بفوق العنقود، والذي هو عنقود من المجرّات العنقودية. فمجموعتنا المحلية هي في الواقع جزء صغير من فوق **عنقودنا المحلي *Local Supercluster*** كما يبدو في الشّكل27 . 35.



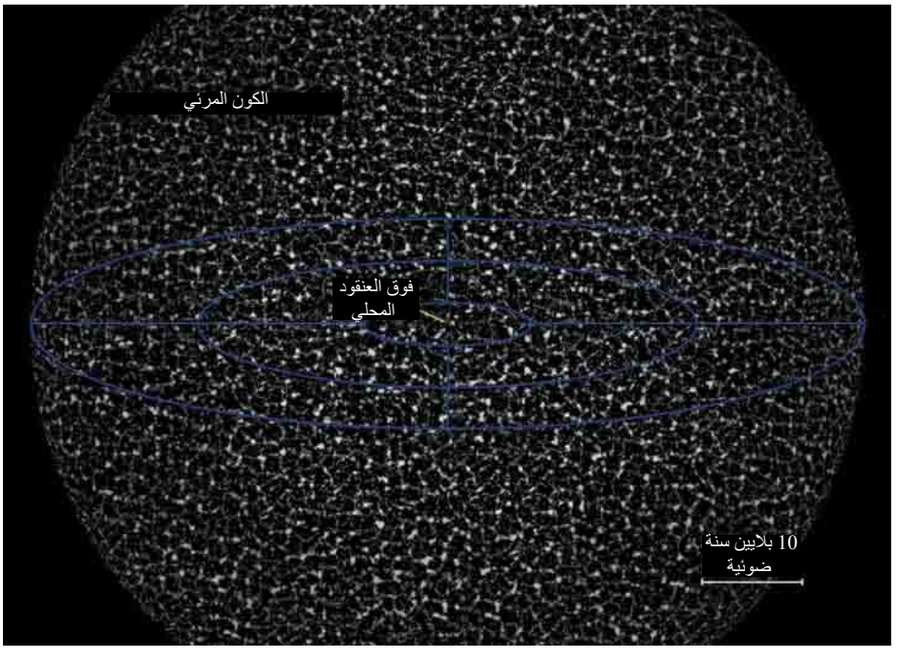
الشّكل 35.27
فوق العنقود هو عنقود لمجرات عنقودية. فكلّ نقطة تمثّل مجرة. لاحظ أنّ مجموعتنا المحلية تقع في منتصف الطريق بين عنقودين أكبر منها كثيرًا هما عنقودا العذراء وإيردانوس.



الشّكل 36.27
كلّ غيمة تمثل فوق عنقود.
لاحظ أنّ فوق العناقيد مربوطة معًا وكأنها على سطح رغوة.

إنّ فوق عنقودنا المحلي مربوط مع شبكة محكمة من فوق العناقيد. كما يبدو في الشّكل27 . 36. وتبدو جميع فوق العناقيد هذه معًا وكأنها تستوطن على سطح رغوة بينها ثقوب فضائية كبيرة وخالية. وبتحريك آلة التصوير بعيدًا، سنجد أنّ شبكة فوق العناقيد تمتد حتى حافة *الكون المرئي* كما يبدو في الشّكل27 . 37. ونعني بالكون المرئي كلّ ما يمكن رؤيته. والذي يعطي الحقيقة أنّ عمر الكون 14 بليون سنة فقط. أما الضّوء الذي يأتي من أيّ جرم يبعد أكثر من 14 بليون سنة ضوئية فلم يكن لديه الوقت الكافي للوصول إلينا.

وهكذا، فإنّ كوننا المرئي ضخم. ضخم بالمطلق. وما مقدار هذه الضخامة التي قد يكون عليها الكون كله. هذا الكلّ الذي يحدث ضجة مدوية. إننا لا نعرف. وقد لا نعرف أبدًا.



الشّكل 37.27
شبكة فوق العناقيد التي تمتد حتى حافة الكون المرئي، ولا تزيد في بعدها على 14 بليون سنة ضوئية. يوضح هذا الشّكل فرضية منظر عين الطير لهذا الكون المرئي الكامل النضوج حتى هذه اللحظة، والتي تضع معظم الأجرام البعيدة على بعد نحو 42 بليون سنة ضوئية بفعل التمدد الكوني.

إنّ علماء الكونيات والرياضيات لم يتوقفوا عن تطوير نماذج تقترح إجابات ممكنة. ويرى أحد هذه النماذج أنه لو كان حجم الكون المرئي بحجم بروتون، فإنّ الكون جميعه سيكون بحجم كوكب الأرض. ولنتصور عدد البروتونات في حجم كحجم الكرة الأرضية. سيكون هذا العدد هو عدد الأكوان المرئية في الكون كله. وسيكون الرقم كبيرًا جدًّا بحيث إنك لو استطعت السفر مسافة م في أي اتجاه، فإنّ لديك احتمالًا كبيرًا أن تتقاطع مع كون مرئي آخر يشبه إلى حدّ بعيد الكون الذي تركته. وبالاستمرار في هذا التخمين، فإنك قد تبحث عن شخص آخر مثلك يقرأ كتابًا تمامًا مثل الكتاب الذي تقرأه الآن. ماذا لو كان هذا الشخص هو أنت المستقبلي؟ فإلى جانب العيش بعيدًا جدًّا جدًّا، فإن الفرق الوحيد القابل للقياس هو أنّ هذا أو هذه قد انتهى أو انتهت من قراءة هذه الفقرة. يدعو العلماء هذا النموذج "بنموذج العالم المتعدد" many worlds حيث إنّ كلّ كون مرئيّ هو كون ساكن، يمثل ترتيبًا ممكنًا واحدًا للمادة. نحن لا نتحرك خلال الزمن. ولكننا، بالأحرى، نقفز من كون مرئي إلى كون مرئي آخر، والذي يعطي مظهر الحركة خلال الزمن. أهلًا وسهلا. لقد قفزت من كون مرئي إلى كون مرئي آخر. إنّ الكون القديم الذي تركته قبل ستّ جمل هو الآن بعيد للأبد.

التبصّر في علوم الفيزياء

■ حجم المجرة

المسألة الأولى

تبعد الأرض عن الشّمس 0.000016 سنة ضوئية، وعن أقرب النّجوم الأخرى إلينا وهو قنطورس القريب نحو 4.2 سنة ضوئية. وبالمقارنة ببعدنا عن الشّمس، كم مرة نبعد عن قنطورس القريب؟

الحل :

اقسم بُعدنا عن قنطورس القريب على بُعدنا عن الشّمس.

$$\frac{\text{4.2 سنة ضوئية}}{\text{0.000016 سنة ضوئية}} = 262.500$$

وهكذا، فإنّ أقرب النّجوم إلينا يبعد 260000 مرة من بُعدنا عن الشّمس.

المسألة الثانية

إنّ بُعدنا عن مركز مجرة درب التبانة 26000 سنة ضوئية تقريبًا. فكم مرة يبلغ هذا البعد مقارنة ببعدنا عن النّجم قنطورس القريب؟

الحل :

اقسم المسافة إلى مركز المجرة على المسافة إلى نجم قنطورس القريب

$\frac{\text{26000 سنة ضوئية}}{\text{4.2 سنة ضوئية}} = 6190$ أي أنّ مركز مجرتنا يبعد 6200 مرة من بُعد أقرب النّجوم إلينا.

المسألة الثالثة

تبعد مجرة درب التبانة عن مجرة المرأة المسلسلة 2300000 سنة ضوئية. ويبلغ قطر مجرة درب التبانة نحو 100000 سنة ضوئية. فكم قطرًا من أقطار درب التبانة تبعد عنا المرأة المسلسلة؟

الحل :

اقسم المسافة إلى المرأة المسلسلة على قطر درب التبانة.

$$\frac{\text{2300000 سنة ضوئية}}{\text{100000 سنة ضوئية}} = 23$$

وعليه، فإنّ بعد مجرة المرأة المسلسلة عن درب التبانة يبلغ 23 قطرًا من درب التبانة.

المسألة الرابعة

تتحرك مجرة المرأة المسلسلة في اتجاه درب التبانة بسرعة 300000 ميل/ ساعة تقريبا. فبعد كم سنة تتصادم المجرتان؟

الحل :

حوّل 300000 ميل/ سنة إلى سنين ضوئية في السّنة. أولا: حوّل 300000 ميل إلى سنين ضوئية.

$$\text{300000 ميل} \times \frac{\text{1.61 كم}}{\text{1 ميل}} \times \frac{\text{1 سنة ضوئية}}{\text{10000000000000 كم}}$$

$= 4.83 \times 10^{-8}$ سنة ضوئية.

ثانيًا: حوّل الساعات إلى سنين 1 ساعة ×

$$\frac{\text{1 يوم}}{\text{24 ساعة}} \times \frac{\text{1 سنة}}{\text{365.25 يوم}} = 10^{-4} \times$$

1.14 سنة.

ضع العلاقتين معًا:

$$\text{300000 ميل/ ساعة} = \frac{4.83 \times 10^{-8} \text{ سنة ضوئية}}{1.14 \times 10^{-10} \text{ سنة}}$$

$= 4.23 \times 10^{-10}$

سنة ضوئية/ سنة

استخدم معادلة السرعة من الفقرة 1

السرعة = $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$ 4.23×10^{-4} سنة ضوئية/ سنة = $\frac{\text{2300000 سنة ضوئية}}{\text{س سنة}}$

س = 5400000000 سنة.

وهكذا، فإنه خلال 5.4 بليون سنة، ستصطدم المرأة المسلسلة مع درب التبانة. ولكن خلال هذه المدة، فإنّ شمسنا ستكون قد استنفدت معظم وقودها النووي. وهكذا، فإننا لن ننغمس في حضور هذه الشهادة. إنّ التصادم بين المجرّات أمر عادي، مما مكّن الفلكيين من تصوير العديد من عمليات التصادم الجارية حاليًّا.

لقد بيّنت الاستطلاعات أنّ نحو نصف الأمريكيين البالغين لا يعرفون أنّ الأرض تستغرق سنة كاملة لتدور حول الشّمس. ومع ذلك، فالعديد منا ما زالوا يناضلون لفهم الأفكار العلمية التي وجدت خلال 400 سنة قبل الوقت الحاضر. لقد تطورت معرفتك، وأصبحت مطّلعا على الاحتمالات المذهلة التي يكشفها العلم باستمرار، وهو ما يضعك في أقلية متميزة. فابتهج بذلك!

■ **نقطة فحص**

أيهما أكبر: عدد النّجوم في مجرتنا أم عدد المجرّات في الكون؟

هل كانت هذه إجابتك؟

هناك الكثير من المجرّات البعيدة في الكون كلّه، وهي أكثر من عدد النّجوم في مجرتنا. وللتذكير في بداية هذا الفصل، فإنّ الفلكيين يقدرون وجود 100 بليون نجم في مجرتنا تقريبًا، ونحو 100 بليون مجرة في كوننا المرئي. وإن كان هذا صحيحًا، فإنه يعني وجود 1022 نجم تقريبًا في كوننا المرئي، وهذا يساوي عدد الجزيئات في قطرة ماء. إنّ شدة اتساع الكون هذه يقابلها شدة صغر وحدات بناء أجسادنا. ونقع- نحن البشر- بين هذين الحدّين المتطرفين بشكل لطيف.

ملخّص المصطلحات

الكرة السّماويّة *Celestial sphere*: كرة تخيليّة تحيط بالأرض وترتبط بها النّجوم.

السّنة الضّوئيّة *Light-year*: المسافة التي يقطعها الضّوء في سنة.

مخطط هيرتزبروخ – رسل *(H – R) Hertzsprung–Russell diagram (H–R diagram)*: مخطط للسطوع الفعلي مقابل الحرارة السّطحية للنجوم. وعندما يرسم هكذا، فإنّ مواقع النّجوم تأخذ شكل السّلسلة الرّئيسة لمعدل النّجوم مع بعض النّجوم الخارجة أعلى السّلسلة الرّئيسة وأسفلها.

السّلسلة الرّئيسة *Main sequence*: الحزمة القطرية من النّجوم على مخطط $H - R$؛ هذه النّجوم تولد طاقة باندماج الهيدروجين وتحويله إلى هيليوم.

النّجوم العملاقة *Giant stars*: نجوم باردة عملاقة تقع فوق السّلسلة الرّئيسة من النّجوم على مخطط $H - R$.

الأقزام البيضاء *White dwarf*: نجوم ميتة انهارت إلى أن أصبحت بحجم الأرض وتبرد باستمرار، وتقع في الجزء الأيسر الأسفل من مخطط $H - R$.

السّديم الكوكبيّ *Planetary nebula*: غلاف متمدد من الغاز نفث من نجم منخفض الكتلة في آخر مراحل تطوره.

نوفا *Nova*: حدث يسطع فيه قزم أبيض بشكل مفاجئ ويبدو كأنه نجم جديد.

سوبرنوفا *Supernova*: انفجار لنجم كتلي بسبب الانهيار الجاذبي مع انبعاث كميات ضخمة من المادة.

النّجوم النيوترونية *Neutron star*: نجوم صغيرة شديدة الكثافة مركبة من نيوترونات مربوطة بإحكام تكونت بالتحام بروتونات مع إلكترونات.

النّجوم النابضة *Pulsar*: أجرام سماوية (تشبه إلى حدّ بعيد النّجوم النيوترونية) تدور بسرعة، مرسلة نحو الخارج اندفاعات قصيرة وبأوقات محددة من الإشعاعات الإلكترومغناطيسية

الثّقوب السّوداء *Black hole*: بقايا انهيار النّجوم العملاقة على نفسها، وهي ذات كثافة عالية وحقل جاذبي عالٍ إلى درجة أنها لا تسمح للضوء بالانفلات منها.

أفق الحدث *Event horizon*: منطقة الحدّ للثقب الأسود التي لا يمكن لأيّ شعاع الانفلات منها. فأيّ حدث يقع ضمن أفق الحدث غير مرئيّ للمشاهد البعيد.

تفردية الثقب الأسود *Black-hole singularity*: الجسم الذي نصف قطره صفر، والتي تضغط فيها مادة الثقب الأسود.

الانفجار الأعظم *Big Bang*: الانفجار الأولي للفضاء عند بدء الزمن.

المجرة *Galaxy*: مجموعة كبيرة من النّجوم، والغاز ما بين النّجوم والغبار، والتي تصنف عادة وفق شكلها إلى إهليلجية وحلزونية وغير منتظمة.

المجرة المنتجة للنجوم *Starburst galaxy*: هي المجرة التي تتشكّل فيها النّجوم بسرعة عالية غير عادية.

النواة النشطة لمجرة *Active galactic nucleus (AGN)*: ثقب أسود فوق كتلي يقع في مركز المجرة حيث تتساقط المادة بمعدل عالٍ جدًّا ما يؤدي إلى تحرير كميات فلكية من الطاقة.

كوازر *Quasar*: مجرات بعيدة لها أنوية مجرية نشطة تصدر حزمًا شعاعية متجهة نحونا، والتي تجعلها تظهر أكثر سطوعًا من المجرة التي تقع فيها.

المجموعة المحلية *Local Group*: عنقودنا المتوسط من المجرّات، بما فيه درب التبانة والمرأة المسلسلة والمثلثة وكلّها حلزونية بالإضافة إلى عدة مجموعات من المجرّات الأصغر الإهليلجية وغير المنتظمة.

فوق العنقود المحلي *Local Supercluster*: عنقود مكون من مجموعة عناقيد مجرّيّة حيث تقع مجموعتنا المحلية.

أسئلة مراجعة

27 . 1 رصد السّماء في الليل

1. ما المجموعات النجمية؟
2. لماذا يرى الراصد في موقع معين مجموعة من المجموعات النجمية في الشتاء، في حين يرى مجموعة أخرى مختلفة في الصيف؟
3. لماذا تبدو النّجوم أنها تدور حول محور تخيليّ شمالا – جنوبًا مرة كلّ 24 ساعة؟
4. هل السّنة الضّوئيّة مقياس للزمن أم مقياس للمسافة؟

27 . 2 سطوع النّجوم وألوانها

5. أيّ النّجمين أكثر حرارة: الأحمر أم الأزرق؟
6. ما الفرق بين السّطوع الظاهري واللمعان؟

27 . 3 مخطط هيرتزبرونج – رسل

7. ما مخطط H – R؟
8. أين تقع معظم النّجوم على مخطط H – R؟
9. أين تقع شمسنا على مخطط H – R؟
10. أيّ النّجمين أكبر: الأحمر أم الأصفر؟

27 . 4: دورات حياة النّجوم

12. ما القوى في اتجاه الخارج التي تؤثر في النّجم؟
13. ما القوى في اتجاه الداخل التي تؤثر في النّجم؟
14. متى تصل شمسنا إلى مرحلة العملاق الأحمر؟
15. هل زمن حياة النّجم العالي الكتلة أطول من النّجم المنخفض الكتلة أم أقصر؟
16. ما العلاقة بين العناصر الثقيلة التي نجدها الآن في الأرض والسوبرنوفا؟
17. ما العلاقة بين السوبرنوفا والنّجوم النيوترونية؟
18. ما العلاقة بين النّجوم النيوترونية والنابضة؟

27 . 5 الثّقوب السّوداء

19. ما العلاقة بين النّجم فوق العملاق والثقب الأسود؟
20. لماذا لا يعتقد أنّ الشّمس ستتحول يومًا ما إلى ثقب أسود؟
21. كيف تقارن كتلة النّجم قبل الانهيار بكتلة الثقب الأسود الذي سيؤول إليه؟
22. إذا كانت الثّقوب السّوداء غير مرئية، فما الدليل على وجودها؟
23. هل يعدّ أفق الحدث للثقب الأسود حدثًا رياضيًّا أم فيزيائيًّا؟

27 . 6 المجرّات

24. أيّ نوع من المجرّات تكون درب التبانة؟
25. ما نتيجة تصادم المجرّات؟
26. ما المجرة المنتجة للنجوم؟
27. كيف تقارن سطوع الكوازرات مع المجرّات الضخمة؟
28. كم يبلغ عدد المجرّات الحلزونية في المجموعة المحلية؟
29. هل تعدّ المجموعة المحلية عنقودًا صغيرًا أم كبيرًا من المجرّات؟
30. ما العناقيد المجرية الثلاثة التي توجد في فوق العنقود المحلي؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● في القرن التاسع عشر، كتب الكاتب والمعلم الاجتماعي ثوماس كارليل "لماذا لم يعلمني أحد عن المجموعات النّجمية ويجعل بيتي مزدانًا بجنة النّجوم، والتي دائمًا تعلو رأسي ولا أعرفها حتى الآن حقّ المعرفة؟". فما الذي لا يعرفه ثوماس كارليل بالإضافة إلى أسماء المجموعات النّجميّة؟
2. ■ هل يوجد أي نجم يسطع بما فيه الكفاية لنراه في يوم مشمس؟
3. ■ يمكن أن ترى النّجوم وليس الشّمس فقط في النهار على سطح القمر. لماذا؟
4. ● أيّ شكل في الفصل يبين على نحوٍ أفضل أن الكوكبة التي ترى في خلفية كسوف شمسي سوف ترى بعد ستة أشهر في السّماء ليلًا؟
5. ■ نحن نرى البروج كمجموعات نجمية متميزة. ناقش لماذا تبدو مختلفة الشّكل تمامًا عند النظر إليها من موقع آخر في الكون بعيدة جدًّا عن الأرض.
6. ■ يبدو الدّبّ الأكبر أحيانًا عموديًّا للأعلى (يمكن أن يحمل الماء) وفي أحيان أخرى مقلوبًا للأسفل (لا يحمل الماء). فكم يحتاج الدّبّ الأكبر من الوقت ليغير وضعه من حالة إلى أخرى؟
7. ● لماذا يغير الدّبّ الأكبر مكانه في الليل في حين أن النّجم القطبي يبقى ثابتًا تقريبًا؟
8. ■ لو سافرت إلى القطب الشّماليّ، فأين ستجد النّجم القطبي (النّجم الشّماليّ) في السّماء؟
9. ● ما العلاقة بين السّديم الكوكبيّ والقزم الأبيض؟
10. ● ماذا تعمل القوى الخارجية والداخلية الفاعلة على حجم النّجم؟
11. ● ما العلاقة بين القزم الأبيض والنوفا؟
12. ● ما الحدث الذي يشير إلى ولادة نجم؟
13. ● متى يموت النّجم؟
14. ■ علامَ يدلك لون النّجم؟
15. ● ما لون أضخم النّجوم؟
16. ● ماذا يتوقع أن يحدث للشمس عندما تتقدّم في العمر؟
17. ■ متى يستطيع النّجم المحترق المنهار أن يُشعل من جديد؟
18. ● بأيّ مفهوم أننا كلنا مكونون من الغبار النّجمي؟

19. ● كيف يدلّ الذهب في خاتم الزّواج على قدم النّجوم التي أكملت دورة حياتها طويلًا قبل ميلاد النظام الشّمسي؟
20. ■ كيف تتوقع أن تكون المعادن أكثر وفرة في النّجوم القديمة منها في النّجوم الحديثة؟ دافع عن وجهة نظرك.
21. ♦ ما دليلك على أنّ شمسنا نجم حديث نسبيًّا في الكون؟
22. ● لماذا يكون هنالك حدّ أدنى لكتلة النّجم؟ (ما الذي لا يمكن أن يحدث في تراكم الكتلة المنخفضة لذرات الهيدروجين والمواد ما بين النّجمية الأخرى؟)
23. ● ما الذي يحفظ نجم السّلسلة الرّئيسة من الانهيار؟
24. ● فيم يختلف النّجم الأولي عن النّجم؟
25. ● كيف تختلف طاقة النّجم الأولي عن الطاقة التي تحرك النّجم؟
26. ● لماذا لا يحدث تفاعل الاندماج النووي على الطبقات الخارجية للنجم؟
27. ■ لماذا يكون عمر النّجوم الضخمة عادة أقلّ من عمر النّجوم الأقلّ كتلة؟
28. ♦ لماذا تكون النّجوم فوق الكتلية قليلة نسبيًّا؟
29. ■ ماذا يمكن أن ينتج معدل دوران النّجم حول نفسه لو كان له نظام كوكبي؟
30. ■ بالنسبة للتطور النّجمي، ما المقصود بالعبارة التالية "كلما كبرت النّجوم، كان سقوطها أصعب"؟
31. ■ لماذا لا يكون بإمكان الشّمس دمج نوى الكربون في اللّبّ؟
32. ■ تحتوي بعض النّجوم على كمية من العناصر الثقيلة أقلّ من الشّمس. فإلامَ يشير ذلك عن عمر هذه النّجوم بالنسبة إلى عمر شمسنا؟
33. ● ما النّجم الذي له حرارة سطح أعلى: الأحمر، أم الأبيض، أم الأزرق؟
34. ♦ في مصطلح دورة حياة الشّمس، فسر سبب عدم استمرارية الحياة على الأرض إلى الأبد.
35. ♦ إنّ العناصر الأثقل من الحديد تتولد في النّجوم، فهل تتشكّل بالطريقة نفسها التي تتشكّل بها العناصر الأخف؟ فسّر ذلك.
36. ■ لو سقطت في ثقب أسود، فمن المحتمل جدّا أن تموت بفعل قوى المدّ. فسر ذلك.
37. ■ لا يكون الثقب الأسود أكثر كتلة من النّجم الذي انهار منه. لماذا إذن تكون الجاذبية عالية جدًّا بالقرب من الثقب الأسود؟
38. ♦ ماذا يحدث للمسافة الإشعاعية لأفق الحدث عندما يسقط المزيد والمزيد من الكتل في الثقب الأسود؟
39. ♦ ما الفرق بين الغلاف الفوتوني للثقب الأسود وأفق الحدث؟
40. ♦ كم ستكون قريبًا من الثقب الأسود عندما تمر من خلال أفق الحدث؟
41. ● هل ستصبح الشّمس: 1- سوبرنوفا؟ 2- ثقبا أسود؟ دافع عن إجابتك.
42. ● هل هناك مجرات يمكن أن ترى بالعين المجردة غير مجرة درب التبانة؟ اشرح ذلك.
43. ■ من أين تحرر الكوازرات طاقتها؟
44. ■ هل تحتوي مجرة درب التبانة على نوى مجرّيّة نشطة؟
45. ♦ كيف يمكن أن يعدل الشّكل 27-37 ليمثل ما يمكن أن يشاهد من قبلنا الآن؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● افترض أنّ سطوع النّجم أ أكبر من سطوع النّجم ب بأربع مرات. إذا كان النّجمان على بعد 500 سنة ضوئية من الأرض، فكيف يقارن بين سطوعيهما الظاهريين؟ وكيف يقارن سطوعاهما الظاهريان لو كان بعد النّجم أ ضعف بعد النّجم ب؟
2. ■ يبعد نجم الشّعري اليمانية، أسطع النّجوم، عن الأرض نحو 8 سنوات ضوئية. لو استطعت السفر إلى هناك بطائرة نفاثة سرعتها 2000 كم/ ساعة، فبيّن أنّ الرحلة ستستغرق نحو 4.3 مليون سنة. (لاحظ أنّ السّنة الضّوئيّة تساوي $10^{12} \times 9.46$كم).
3. ● لو سافرت من لبّ مجرتنا باستقامة نحو الخارج ثم نظرت إلى الخلف، فستلاحظ منظرًا رائعًا لدرب التبانة الحلزونية. فإذا كانت المسافة من اللب وحتى الحافة الخارجية 50000 سنة ضوئية، فكم ستكون مساحة السّطح الذي تراه؟ افترض المجرة دائرة يمكن معرفة مساحتها من المعادلة:

المساحة = نق$^2\pi$.

4. ● افترض أنّ مجرة درب التبانة تحتوي على 100 بليون نجم موزعة بانتظام دون أن تكون متركزة في المركز. ما كثافة النّجوم على مساحة السّطح؟ استخدم المعادلة:

الكثافة على السّطح = العدد/ مساحة السّطح.

5. ■ استخدم المعلومات في المسألة 4 لإيجاد مقدار الفضاء حول النّجم الواحد بالوحدات الفلكية AU.
(لاحظ أنّ السّنة الضّوئيّة الواحدة هي 63000 وحدة فلكية).
6. ■ باستخدام إجابتك للمسألة 5، هل يمكن لمجرتين وبتوزيع منتظم لنجومهما، اختراق إحداهما للأخرى؟

أنشطة استكشافية

حركة النّجوم

لمشاهدة حركة النّجوم اليومية، اخرج ليلًا، وحدّد أحد النّجوم أو المجموعات النجمية التي تشكّل خطًّا مع علامة أرضية ثابتة كشجرة أو بيت أو غيرهما. ارجع إلى المكان نفسه بعد ساعة تقريبًا لتلاحظ أنّ النّجم قد تحرّك عن العلامة الأرضية، ولكنه بقي في مكانه بالنسبة إلى النّجوم الأخرى. فبأي اتجاه تحرك النّجم: الشّرق، الغرب، الجنوب الغربيّ، الشّمال الغربيّ؟ وأين سيكون عندما تشرق الشّمس؟ هل سيبقى في مكانه 24 ساعة؟

حركة البروج

لرصد حركة الأرض حول الشّمس، شارك في رحلة رصد للنجوم واكتب ملاحظاتك عن النّجوم التي تقع فوق رأسك مباشرة. ارسم مخططًا لتوزيع النّجوم على ورقة واكتب عليها التاريخ والوقت الذي تمت به المشاهدة والرصد. وإذا لم تكن هذه النّجوم في برج معروف فاقترحه ضمن برج جديد وسمّه بما شئت. وبعد شهر من ذلك، انظر إليها في الوقت نفسه من الليل. لِمَ لا توجد مباشرة فوق رأسك الآن؟ في أيّ اتجاه تحركت هذه المجموعة؟ ولماذا؟

مجرة المرأة المسلسلة العظمى

السّماء في الليل ليست ملأى فقط بالنّجوم والكواكب. فإن كنت محظوظًا لتشهد سماء صافية في موقع بعيد عن إضاءة المدن، فبإمكانك رؤية مجرة المرأة المسلسلة بسهولة. إنّ أفضل الأوقات لرصد هذه المجرة في النصف الشّماليّ للكرة الأرضية هي شهور الشتاء. فابحث في البداية عن مربع كبير يمثل جسم الحصان الطائر "الفرس الأعظم". وستكون رؤية المرأة المسلسلة أفضل ما يمكن عندما يكون صندوق الفرس الأعظم فوق رأسك مباشرة. ومن ثمَّ انظر إلى الشمال (قريبًا من المكان الذي يرى فيه الدّبّ الأكبر عادة) حتى ترى الحرف W الذي يمثل مجموعة ذات الكرسي. وبجانب الفرس الأعظم بإمكانك مشاهدة الحرف Vمن النّجوم التي تمتد من الصندوق في اتجاه يسار ذات الكرسي. هذان هما قائمتا الفرس الأعظم الخلفيتان اللتان تكونان مجرة المرأة المسلسلة. تقع مجرة المرأة المسلسلة فوق الرجل العليا مباشرة بين ذات الكرسي W وصندوق الفرس الأعظم. انظر وبتمعن إلى الشّكل22-27 لمساعدتك على تحديد المكان بدقة متناهية. وبالعين المجردة فإنها تشبه الزغب المعتم (هكذا رآها الفلكي المسلم الشهير أبو عبد الرحمن الصّوفيّ. انظر كتابه المطبوع "صور الكواكب الثمانية والأربعين" المترجم). وبإمكانك رؤيتها بشكل أفضل بعدم النظر إليها مباشرة. فالزغب يأخذ شكلا إهليلجيًّا بيضويًّا عندما تنظر إليه من خلال المقراب؛ فما تراه به هو في الغالب مركز اللب. أما المجرة كلّها فتشاهد فقط عند النظر إليها بمقراب دقيق جدًّا، وهي تعادل ستة أضعاف قطر القمر.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدًا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر الجواب الأفضل لكلّ مما يلي:

1. تختلف المجموعات النجمية للصيف والشتاء بسبب:
أ. دوران الأرض حول محورها القطبي.
ب. أنّ السّماء في الليل تواجه اتجاهين متقابلين في الصيف والشتاء.
ج. ميلان محور الأرض القطبي.
د. تناظر الكون وتناسقه.

2. يقع النّجم القطبي دائمًا فوق:
أ. القطب الشّماليّ.
ب. أيّ مكان شمال خط الاستواء.
ج. خط الاستواء.
د. القطب الجنوبيّ.

3. أقرب النّجوم إلى الأرض:
أ. ألفا – قنطورس.
ب. النّجم القطبي.
ج. عطارد.
د. الشّمس.

4. خاصية النّجم المتعلقة بمقدار الطاقة الذي ينتجها تعرف بـ:
أ. اللمعان.
ب. السّطوع الظاهري.
ج. اللون.
د. الحجم.
هـ. الكتلة.

5. النّجوم الأطول عمرًا هي ذات الكتل:
أ. المنخفضة.
ب. العالية.
ج. المتوسطة.
د. اللانهائية.

6. لا نستطيع رؤية النّجوم في ضوء النهار بسبب:
أ. الشّمس التي تحجبها.
ب. عدم وجودها في الجزء النهاري من السّماء.
ج. أنّ ضوء السّماء يغلب ضوء النّجوم.
د. نقص التباين مع ضوء القمر.
هـ. أنّ الرياح الشمسيّة تحجبها عن الرؤية.

7. المعادن أكثر وفرة تقريبًا في:
أ. النّجوم المسنّة
ب. النّجوم الفتيّة
ج. لا علاقة للعمر.
د. النّجوم النيوترونية

8. بعد أن تحرق شمسنا محتواها من الهيدروجين ستصبح:
أ. قزما أبيض.
ب. قزما أسود.
ج. ثقبا أسود.
د. عملاقا أحمر.
هـ. عملاقا أزرق.

9. الثقب الأسود هو:
أ. أيّ منطقة فراغ في الكون ذات حجم جاذبي ضخم.
ب. منطقة صغيرة ذات كتلة تعادل العديد من المجرّات.
ج. بقايا النّجوم العملاقة المنهارة.
د. يعادل بحجمه الغلاف الفوتوني.

10. يقدر العلماء عمر الكون بـ:
أ. 5000 سنة
ب. بليون سنة
ج. 14 بليون سنة
د. 42 بليون سنة

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

1 ج، 2 أ، 3 د، 4 ب، 5 أ، 6 ب، 7 ب، 8 أ، 9 ج، 10 ج

اكتشف المزيد

http://imagine.gsfc.nasa.gov/index.html

تخيل القيام بزيارة الكون للبحث في مواضيع تتراوح ما بين السوبرتوفا إلى الثقوب السوداء. استمتع بالشروحات الواضحة، والمؤثرات البصرية الرائعة، ثم اختبر نفسك حول فهمك لهذه الظواهر.

http://www.windows.ucar.edu

يحتوي هذا الموقع الكثير من المعلومات حول النجوم، والمجرات، وجميع الأشياء الفلكية. ستجد في هذا الموقع تاريخ البعثات الفضائية، وتوقعات طقس الفضاء الحالية، وجولات الوسائط المتعددة للنظام الشمس وما بعده.

http://www.smv.org/hastings/student2.htm

صمم تسلسل الدروس هذا خطوة بخطوة ليعرض اساسيات النجوم والمجرات.

http://opposite.stsci.edu

لاحظ أن كتابة اسم موقع الشبكة (oposik) قد كتب بحرف P واحد فقط هذا الموقع هو الصفحة الرئيسة لمعهد علق تيلسكوب الفضاء، حيث يساعد على ربط الجمهور العالم بالاكتشافات المذهلة التي تمت من خلال مثل تيلسكوب هابل لاكتشاف الفضاء. تتبع الرابط للوصول الى معرض الصور، حيث حول الفضاء للصفوف K-12، هو أيضاً تعليم يستحق الوقت الذي تقضيه في تصفحه.

http://wwwatlasofthuniverse.com

قام ريتشارد بول بتطوير ايضاحات الأشكال 27.35 وحتى 27.37 باستخدام الرسوم من على هذا الموقع، وهي الرسوم التي أعدها كجزء من دراسات تفاعلي رائع حول حجم الكون.

الفصل 27 مصادر على الشبكة

دروس تعليمية

- نشوء النجوم
- الثقوب السوداء

أشرطة فيديو

- حياة النجوم

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط

بنية الفضاء والزّمن

28

1.28 الانفجار الأعظم

2.28 التّضخّم الكونيّ

3.28 النّسبيّة العامة

4.28 المادة العاتمة

5.28 الطّاقة العاتمة

6.28 مصير الكون

■ لقد بدأنا كتابنا هذا بالفيزياء مركّزين على ميكانيكا عالمنا المادّي اليومي. ثم طبّقنا المفاهيم الفيزيائيّة على العالم الصّغير جدًّا، وهو عالم الذّرّة والجزيئات. وهذه ميادين كيميائية كما تعلم. ومن ثَمَّ طبقنا الفيزياء والكيمياء على كوكب الأرض مع التركيز على اليابسة، والمحيطات، والغلاف الجوّيّ. وبعد الأرض، ناقشنا في فصلين الفلك والمجرات، والنّظام الشّمسيّ، وجيراننا من النّجوم، ومجرة درب التبانة، وجيراننا من المجرات والمجموعة المحلية. وأنهينا الموضوع بمناقشة كيفية امتداد فوق العناقيد من المجرات في هذا الكون الفسيح. لاحظ في الصّورة العليا من هذه الصفحة أنّ كلّ نقطة من الضّوء ليست نجمًا، ولكنها مجرة، مجرة بالكامل! وتبين الصّورة جزءًا صغيرًا واحدًا لكوننا المرئيّ، زاوية صغيرة من الكون كاملا.

والآن، نصل إلى النتائج ونناقش موضوعين واسعين وشيّقين هما: **علم الكونيّات** ***cosmology*** **والنّسبيّة**. فعلم الكونيّات هو دراسة بنية الكون وتطوره ككل. ومن خلال علم الكونيّات سنحاول الإجابة عن بعض الأسئلة مثل: ”كيف بدأ الكون؟“ و”ماذا يمكن أنّ يكون مصيره“.

أما **النّسبيّة** ***Relativity*** التي اقترحت بداية من أينشتاين، فهي دراسة علاقة الفضاء والطّاقة والكتلة معًا. وسنبدأ فصلنا النهائي هذا بالانفجار الأعظم.

1.28 الانفجار الأعظم

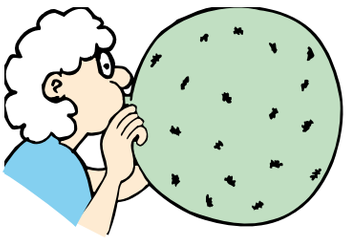
لقد كنا نعتقد، بشكل عام حتى زمن ليس ببعيد، أنّ مجرة درب التبانة تشكّل الكون كلّه. وفي بدايات عام 1920م ، اكتشف الفلكي إدوين هابل باستخدام مقراب ذي قدرة عالية بني حديثًا، أنّ سديم المرأة المسلسلة هو في الحقيقة مجرة منفصلة تبعد كثيرًا، وأبعد من النّجوم الخارجية لدرب التبانة. ولقد كان هذا اكتشافًا مهمًّا، ولكن هابل لم يتوقف عند هذا الحدّ. فكما ناقشنا في الفصل السابق، فقد استمر هابل في عمله لتحديد مسافات العديد من المجرات الأخرى وقياسها. وما اكتشفه لاحقًا كان الأكثر دهشة: فالمجرات بكاملها ترتد إلى الوراء، يبتعد بعضها عن بعض. وزد على ذلك أنه كلما كانت المجرة أبعد كانت سرعة تباعدها تبدو بشكل أكبر.

لقد تضمنت مشاهدات هابل أمرين رئيسين: الأول هو أنك لو استطعت إرجاع الشريط السينمائي إلى الخلف، فستجد الزّمن الذي كان فيه الكون جميعه مضغوطًا في نقطة واحدة. وربما، وكما نعلم، لم يكن الكون موجودًا دائمًا. وربما كانت هناك لحظة ولد فيها الكون. وفي نقطة البداية هذه ظهرت المادة كلّها والطّاقة في كوننا. وهذا ما يشار إليه **بالانفجار الأعظم** ***Big Bang***.

أما الأمر الآخر فهو أنّ الكون لا يوجد ضمن منطقة في الفضاء. بل إنّ الفضاء هو الذي يقع في الكون، وأنّ هذا الفضاء يتمدد سريعًا. وهذا وضع خاص لأنك قد تعتقد في البداية أنّ الانفجار الأعظم حدث في فضاء موجود ولانهائي، وأنّ المادة والطّاقة تدفقت نحو الخارج من هذا الانفجار الأعظم لاحتلال هذا الفضاء. فإذا كان هذا هو ما حدث، فإنّ المجرات التي نراقبها اليوم وحركاتها النّسبيّة ستكون مختلفة تمامًا. ولإعادة التأكيد على هذا المفهوم غير الواضح: فعندما نتكلم عن تمدد الكون فإننا نتحدث عن تمدد بنية الفضاء نفسه. ونوضح ذلك بمثال مشابه ومفيد وهو وجود مجموعة من النحل على سطح بالون يتمدد كما يبدو في الشّكل 1.28 . فكلما انتفخ البالون، فإنّ كلّ نحلة ترى كلّ نحلة أخرى تبتعد عنها بعيدًا. وهكذا، فإنّ الانفجار الأعظم لا يحدد فقط بداية الزمن ولكن بداية الفضاء.

ولكن كيف استطاع هابل قياس المسافات إلى مجرات بعيدة جدًّا؟ لقد احتاج هابل إلى مقراب ذي كفاءة عالية، بني حديثًا على جبل ولسون. وقد ساعد هذا المقراب في تمييز النّجوم بشكل منفرد في المجرات المتجاورة (الشّكل 2.28). وعندما درس هابل هذه النّجوم البعيدة، اكتشف أنّ بعضها من نوعيات محددة اسمها *قيفاويات Cepheids* وهذه تغير سطوعها بانتظام خلال دورات في بضعة أيام.

وفي الأيام التي كان فيها هابل، استطاع الفلكيون حساب لمعان نجم قيفاوي من التغيرات الدورية في هذا اللمعان. وهكذا، وبقياس دورات القيفاويات البعيدة، تمكن هابل من قياس لمعانها. استخدم الفلكيون مصطلح *اللمعان luminosity* بمعنى مقدار الطّاقة التي ينشرها النّجم في الثانية. لاحظ أنّ



الشّكل 1.28
شكل تفاعلي. ترى كلّ نحلة على سطح البالون المتمدد كلّ نحلة أخرى تبتعد عنها. لذا، فإنّ كلّ نحلة قد تعتقد أنها في مركز التمدد. إنّ الحالة ليست كذلك!

لمعلوماتك

■ يعرف النّجم الشّماليّ أيضًا بالنّجم القطبي، وهو متغير قيفاوي دورته نحو 4 أيام تقريبًا. إنّ التغير في لمعانه الظّاهريّ ليس مدركًا بالعين المجردة. والحقيقة أنّ النّجم الشّماليّ هو في حركة دورانية حول نجمين رفيقين، أي أنّ النّجم الشّماليّ هو ثلاثة نجوم.
هذه النّجوم الثلاثة قريبة جدًّا بعضها من بعض، ولكنها في الحقيقة بعيدة جدًّا (نحو 430 سنة ضوئية) لرؤيتها بالعين المجردة.

السّطوع الظّاهريّ لنجم لا يعني لمعانه. لماذا؟ لأنّ اللمعان يتناقص مع المسافة. فكلما زاد بعدك عن نجم ساطع فسيبدو لك أكثر خفوتًا. وكالجاذبيّة، فإنّ الضّوء يضعف مع زيادة المسافة وفق قانون مربع معكوس المسافة. فإذا ضاعفت بعدك عن مصدر الضّوء فسترى أنّ شدة هذا الضّوء تصبح $\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$ شدتها في المكان الأول. وهكذا، فإنّ مقارنة سطوع القيفاويات مع لمعانها، وتطبيق هذا على قانون مربع معكوس المسافة، مكّن هابل من حساب المسافة لأيّ مجرة تحتوي على القيفاويات.

■ **نقطة فحص**

سطوع النّجم أ يساوي أربعة أضعاف سطوع النّجم ب. ومع هذا، فلكلا النّجمين اللمعان نفسها.

1. لماذا يحدث هذا؟
2. لو كان النّجم أ يبعد 100 سنة ضوئية، فكم يكون بُعد النّجم ب؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. يصبح الضّوء أكثر خفوتًا كلما ابتعدنا عن مصدره. لذا، فالنّجم أ يكون أكثر سطوعا لأنه أقرب إلينا.
2. يشير قانون مربع معكوس المسافة إلى أنّ سطوع نجم يتعلق بمعكوس المسافة للنجم مربعة.

$$\text{السّطوع الظّاهريّ} \sim \frac{1^2}{\text{المسافة}}$$

وهكذا، فإنّ للنجم أ سطوعا بقوة 8 مرات من سطوع النجم ب عندما يبعد ب ضعف المسافة:

$$\text{السّطوع الظّاهريّ للنجم أ} \sim \frac{1^2}{1} : 1$$

$$\text{السّطوع الظّاهريّ للنجم ب} \sim \frac{1^2}{2} : 0{,}25$$

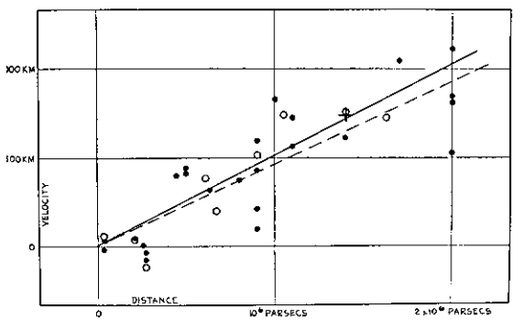
لاحظ أنّ سطوع 1 يبلغ أربع مرات سطوع 0.25.

ومن هذه القيم، نلاحظ أنّ للنجم أ معامل مسافة يبلغ 1، في حين أنّ للنجم ب معامل مسافة هو 2. إذن، فالنّجم ب يبعد ضعف المسافة التي تعادل 200 سنة ضوئية.

الشّكل 2.28

عالم الفلك والكونيّات إدوين هابل (1889- 1953) ، كما يبدو في هذه الصّورة عام 1923 م خلف مقراب 100 بوصة على مرصد جبل ولسون، حيث عمل معظم أيام حياته. في عام 1929م أعلن هابل عن قانونه الذي ينصّ على أنه كلما كانت المجرات بعضها أبعد عن بعض كانت حركتها أسرع.

كيف استطاع هابل حساب السّرعة التي تتباعد فيها هذه المجرات المتراجعة (الهاربة)؟ تذكّر أثر دبلر الذي نوقش في الفصل 10. وتذكّر أيضًا أنّ الأمواج الصوتية تتمدد عندما يتراجع مصدر الصوت وتنضغط عندما يدنو مصدر الصوت هذا. كما أنّ الأمواج الضوئيّة تعمل بالكيفية نفسها. فعندما تتراجع المجرة، فإنّ أطوال الأمواج التي تصلنا تتمدد. وهذا يعني أنّ الأمواج الأطول ذات تردد أدنى، مما يعني بالنسبة للأمواج الضوئيّة الانزياح نحو النهاية الحمراء للون الطيف. لقد درس هابل لون الطيف القادم من المجرات البعيدة، وقاس درجة الانزياح نحو الأحمر. فكلما كان الانزياح *نحو الأحمر redshift* أعلى، كانت سرعة تراجع المجرة أعلى أيضًا. لقد كانت إنجازات هابل العظيمة هي جمع معلومات المسافة والانزياح نحو الأحمر للعديد من المجرات ثم مقارنتها معًا على مخطط. وقد أوضح مخططه علاقات واضحة تشير إلى أنّه كلما زاد بعد المجرة، زاد انزياحها نحو الأحمر (الشكل 3.28)



الشّكل 3.28

يبين الرسم البياني الأصلي لهابل زيادة تراجع المجرات مع زيادة السرعة.

تتراجع المجرات ويتباعد بعضها عن بعض بسبب تمدّد الفضاء بينها. وهكذا اتبع الفلكيون تفسيرًا بديلًا لسبب انزياح طيف المجرات نحو الأحمر: فكلما انتقلت الأمواج الضوئيّة في الفضاء المتمدد، فإنّ الأمواج نفسها تتمدّد. وتسمّى هذه الاستطالةُ للأمواج الضوئيّة نتيجة تمدد الفضاء **الانزياحَ الكونيَّ نحو الأحمر cosmological redshift.**

فكلما كانت المجرة أبعد، انتقل ضوؤها مسافة أطول في الفضاء المتمدد. وهكذا يكون الانزياح الكونيّ نحو الأحمر أكبر. ويوضح البند الآتي هذه الفكرة بتشبيهها بشريط مطاطي.

إن الضّوء الصادر عن مجرة بعيدة هو الضّوء نفسه الصادر عن سلك متوهّج، والذي يصدر أطيافًا ذات تردد محدد كما شرحنا في البند 12. 6. يبين تفحص الطيف الكامل لضوء مجرة أنظمة القمم والتي هي مجموع أطياف العناصر المتوهّجة كلّها، والتي هي مبدئيًّا عبارة عن الهيدروجين والهيليوم. فإذا انزاحت هذه القمم نحو الأحمر، فسندرك أنّ المجرة تتراجع بعيدًا عنا. وبمقدار ما يكون هذا التردد منزاحًا يمكن أنّ نعرف سرعة تراجع المجرة.

■ **نقطة فحص**

ارسم ثلاث نقاط على أبعاد متساوية. وافترض أنّ المسافة بين كلّ منها 5 مم. وهكذا، ستكون المسافة بين النقطتين الأولى والثانية 5 مم. في حين ستكون المسافة بين الأولى والثالثة 10 مم. وفي ثانية واحدة مط الشريط المطاطي عشرة أضعاف طوله الأصلي.

1. بين أنّ النقطة الثانية تراجعت عن الأولى بسرعة 45 مم/ ث (علمًا أنّ: السرعة= المسافة/ الزّمن).
2. بين أنّ النقطة الثالثة تراجعت عن الأولى بسرعة 90 مم/ ث.
3. لماذا يبدو تراجع المجرات الأبعد بالنسبة لنا بسرعة أكبر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. كانت المسافة الأصلية 5 مم وأصبحت بالتراجع 50 مم. وهكذا، فالتغير الحاصل في المسافة هو 45 مم في ثانية واحدة. أي أنّ السّرعة هي 45 مم/ ثانية.
2. الاختلاف بين 100 مم و 10 مم هو 90 مم في ثانية واحدة من الزّمن، والتي تعادل 90 مم/ ث، أو ضعف السّرعة البالغة 45 مم/ ث.
3. وعليه، فلأيّ شريط مطاطي يتمدد، سنلاحظ أنّ أيّ نقطة تبعد ضعف المسافة تبدو وكأنها تنتقل بضعف السرعة. وهذا ما يحدث في الكون؛ فالمجرة التي تبعد ضعف المسافة عنا تبدو كأنها تتحرك بضعف السرعة. ويعزى سبب سرعة التراجع هذا إلى تمدد الفضاء نفسه.

لقد بين هابل أنّ هناك علاقة بسيطة بين بُعْدِ جرم ما عن الأرض وسرعة تراجعه (بسبب تمدد الفضاء). سميت هذه العلاقةُ البسيطة والتي أثبتت بالعديد من الأقيسة في العقود الماضية قانونَ هابل

$$\textit{Hubble's Law:}\quad \upsilon = H \times d$$

حيث v سرعة المجرة، كما استنتجت من الانزياح الكونيّ نحو الأحمر، وH ثابت يعرف بثابت هابل، و d بُعْد المجرة عن الأرض. ويبين لنا هذا القانون، على سبيل المثال، أنه إذا كانت إحدى المجرات تبعد ضعف المسافة التي تبعدها مجرة أخرى فإنّ المجرة البعيدة تتراجع بضعف السّرعة عنا. وزد على ذلك، إذا تحركت مجرة ما وأخذت وضعها الحالي بالنسبة إلينا بسرعة v ، فإنّ الزّمن الذي استغرقته الرحلة يمثل مسافة الانتقال مقسومة على السّرعة

$$t = d/\upsilon$$

وباستخدام قانون هابل لتعويض v :

$$t = d/(H \times d)$$
$$= 1/H$$

وبإدخال قيمة H في المعادلة نستطيع تقدير زمن التمدد. وبعبارة أخرى، استطعنا تحديد عمر الكون. فبتعويض قيمة H المقبولة حاليًّا نقول إنّ عمر الكون هو 14 بليون سنة تقريبًا. يا إلهي!

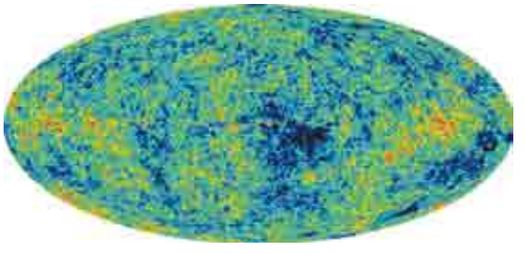
الشّكل 4.28
آرنو بنزياس وروبرت ولسون يقفان أمام مستقبل الأمواج الميكروووية الذي استخدماه لاكتشاف ما بعد توهّج الانفجار الأعظم.

الخلفية الإشعاعية الكونيّة (Cosmic Background Radiation)

بالإضافة إلى التمدد الكونيّ، هناك دليل آخر يعزز نظرية الانفجار الكونيّ: إنه *الخلفية الإشعاعية الكونيّة*. ففي عام 1964 م، استخدم العالمان آرنو بنزياس وروبرت ويلسون اللذان كانا يعملان في مختبرات بيل في نيوجيرسي جهاز استقبال راديوي مبسط لمسح الإشارات الراديوية السّماويّة (الشكل 4.28). فبغض النظر عن الاتجاه الذي وجه إليه اللاقط، إلا أنهما التقطا أمواجًا ميكروووية بأطوال 7.35 سم قادمة في اتجاه الأرض. واعتبرت هذه الأمواج ألغازًا بالنسبة إلى بنزياس وولسون. فمن دون مصادر إشعاعية محددة، من أين يمكن أنّ تأتي هذه الأمواج الميكروووية؟ ولماذا؟

ذكّر أنّ أيّ جسم فوق الصفر المطلق يصدر طاقة على شكل إشعاعات كهرومغناطيسية. وأنّ تردد هذه الإشعاعات يتناسب مع الحرارة المطلقة للجسم المشع. وفي الوقت نفسه الذي كان فيه بنزياس وولسون يعملان، كان نظيران لهما يعملان في بريستون، حيث بينا أنه لو بدأ الكون الانفجار المبدئي كما وصف بالانفجار الأعظم، فإنه لا يزال يتبرد حتى الآن.

ليس هذا فحسب، بل أوضحا أنّ حرارة الكون المبكرة تبردت لتصل إلى متوسط الحرارة الحالية 2.73 كلفن. ويتوقع من كون بهذه الحرارة أنّ يصدر أمواجًا ميكروووية من الترددات المرصودة فقط من قبل بنزياس وولسون. وهكذا، فإنّ تدفق الإشعاعات الموجية الميكروووية التي حيرت بنزياس وولسون وجد أنها تصدر بالتبريد نفسه.تعرف إشعاعات الأمواج الميكروووية الضعيفة الآن بالخلفية الإشعاعية الكونيّة (*CBR*). وتعدّ دليلًا قويًّا على الانفجار الأعظم (الشّكل5.28).



الشّكل 5.28
أخذت خريطة السماء كلها للخلفية الإشعاعية الكونيّة من ساتل Wilkinson Microwave An-isotropic Probe (WMAP) وهي تكشف عن معدل درجة حرارة بنحو 2.73 كلفن في كلّ مكان. إنّ درجة الحرارة هذه هي للبقايا التي بردت إثر الانفجار الأعظم. يبين اللون اختلافات طفيفة في درجة الحرارة من مرتبة ±0.0001 كلفن.

أن يعطي التلفزيون المزود بهوائي (ليس متصلًا بكيبل أو ساتل) عند ضبطه على قناة ليس لها محطة محلية شاشةً لها مظهر الثلج الثابت، قد يكون من المفيد معرفة أنّ نحو 1% من هذا المظهر الثلجي مصدره فوتونات من الخلفية الإشعاعية الكونيّة.

هيليوم الانفجار الأعظم

كلما تمدد الكون برد. وتخبرنا الخلفية الإشعاعية للأمواج الميكروووية على أنها بردت إلى ما معدله 2.73 كلفن. واستنادًا إلى ذلك، قدّر العلماء أنّ درجة كلفن بعد بضع ثوان من الانفجار الأعظم كانت أعلى من 100 بليون درجة مطلقة. وفي هذه الدرجة العالية جدًّا، فإنّ البروتونات تتحول إلى نيوترونات والنيوترونات إلى بروتونات، وأنّ معدّل هذا التّحوّل متساو. وهذا يعني أنّ نسبة البروتونات إلى النيوترونات في ذاك الوقت المبكر جدًّا من نشأة الكون هي 1: 1.

وفي الدقائق الثلاث اللاحقة، انخفضت درجة الحرارة إلى أقلّ من 100 بليون درجة كلفن وهذا مناسب لتكوّن البروتونات*. وهكذا، زادت البروتونات على النيوترونات سريعًا. وحال وصول النسبة بين البروتونات إلى النيوترونات 7: 1، فإنّ الكون كان قد برد إلى درجة كافية لحدوث الاندماج النووي. ونقول برد بما فيه الكفاية لأنّ الكون كان ما يزال حارًّا، ولكن ليس كما كان من قبل. وعند هذه النقطة، فإنّ البروتونات والنيوترونات تكون قد بدأت الاندماج وإعطاء نوى (مكونة من بروتون الديتيريوم ونيوترون). وبعدها اندمجت نوى الديتيريوم لإعطاء الهيليوم. ثم استمرت العملية هكذا حتى أصبح متناثرًا وغير كثيف (وهذا يفسر ندرة وجود نظير الديتيريوم في الوقت الحاضر). وباستمرار التبريد، لم يكن بالإمكان استمرار الاندماج النووي لتحويل الهيليوم إلى عناصر أثقل كالكربون. وفي الوقت الذي انتهت فيه الدّقائق الثلاث وهي فترة تكوين الهيليوم يكون الكون قد احتوى على 75% من الهيدروجين و 25% من الهيليوم، وهذا ما نراه في الكون في الوقت الحاضر. وفي الحقيقة، فإنّ مجرة درب التبانة تضم نحو 28% من الهيليوم، وهذه الزيادة البالغة 3% من الهيليوم هي نتيجة الاندماج النووي في النّجوم. ولم يكتشف حتى الآن أيّ مجرة تحوي أقلّ من 25% من الهيليوم كما يتنبأ الانفجار الأعظم تمامًا الديتيريوم.

* إنّ كتلة النيوترونات أكبر من كتلة البروتونات. وعليه، فإنّ تحويل البروتون إلى نيوترون يتطلب قدرًا من الطّاقة المدخلة وفقًا للعلاقة $E=mc^2$. وعندما تكون الحرارة أقلّ من 100 بليون كلفن، تكون الطّاقة غير كافية لإتمام عملية التّحوّل هذه. أمّا تحول النيوترونات إلى بروتونات فإنه يحرر طاقة، ولهذا، واستنادًا إلى القانون الثاني من الثيرموديناميك، فإنّ هذا التّحوّل هو المفضل في درجات الحرارة الأدنى.

أين حدث الانفجار الأعظم بالتحديد؟ هل كان ذلك في نقطة بعيدة جدًّا عن الموقع الذي كنا فيه قبل رحلتنا الطويلة؟ الجواب الصاعق لا! بل إنّ كلّ نقطة في الكون كانت موجودة في الانفجار الأعظم. ولكنها جميعًا أصبحت متباعدة عن بعضها. ولذلك، إذا أردت أن تشير إلى مكان الانفجار الأعظم فما عليك إلا أنّ تشير بإصبعك إلى رأس منخارك أو أيّ مكان آخر تريد، ولن تخطئ أبدًا.

وفرة الهيدروجين والهيليوم (The Abundance of Hydrogen and Helium)

إنّ الانفجار الأعظم يجيب على سرّ كونيّ آخر لعنصر الهيليوم. فقد بينت الأقيسة أنّ المادة في الكون مكونة من هيدروجين بنسبة 75% وهيليوم بنسبة 25%. (تعدّ العناصر الثقيلة كالموجودة على الأرض مكوّنًا صغيرًا بالنسبة إلى المادة الموجودة في الكون كلّها). فالهيدروجين هو أبسط هذه العناصر كلها، ويتكون من نواة فيها بروتون واحد. ومن المنطق أو الصواب إذن، أنّ يكون الهيدروجين العنصر الأولي الأصلي. أمّا الهيليوم فهو أكثر تعقيدًا، ويحتوي في نواته على بروتونين ونيوترونين. ونحن نعلم أنّ الهيليوم ينتج عن اندماج الهيدروجين في النّجوم. ولكن عدد النّجوم ليس كافيًا لإنتاج كلّ ما نرى من هيليوم، فإنتاجها لا يزيد على 10% مما نراه من هيليوم. إذن، فمعظم الهيليوم في الكون لا بد وأنّ يكون قد أنتج في مكان آخر. وكما وصفنا في صندوق هيليوم الانفجار الأعظم، فإنّ نموذج هذا الانفجار يتنبأ أنّ الكون المبكر لا بدّ وأنّ يكون مناسبًا لتكوين الهيليوم، ولكن ليس لتكوين العناصر الأخرى. ولقد بينت التحاليل التفصيلية الأخرى أنّ كمية الهيليوم التي تكونت مباشرة بعد الانفجار الأعظم لا بدّ وأنّ تكون هي الكمية التي نراها في وقتنا الحاضر.

وباختصار، هناك ثلاثة أدلة رئيسة تدعم بقوة فرضية الانفجار الأعظم. أول هذه الأدلة هو التمدد الحالي للفضاء، والذي يجعل المجرات يتباعد بعضها عن بعض. والدليل الثاني هو اكتشاف الخلفية الإشعاعية الكونيّة التي تمثل ما بعد توهّج الانفجار الأعظم. أما الدّليل الثالث فهو قابلية الانفجار الأعظم على تفسير نسب العناصر. وبوجود هذه الأدلة وما شابهها، أصبحت فرضية الانفجار الأعظم مقبولة بشكل واسع في المجتمع العلمي كأفضل فرضية قابلة للتطبيق لنشأة كوننا هذا.

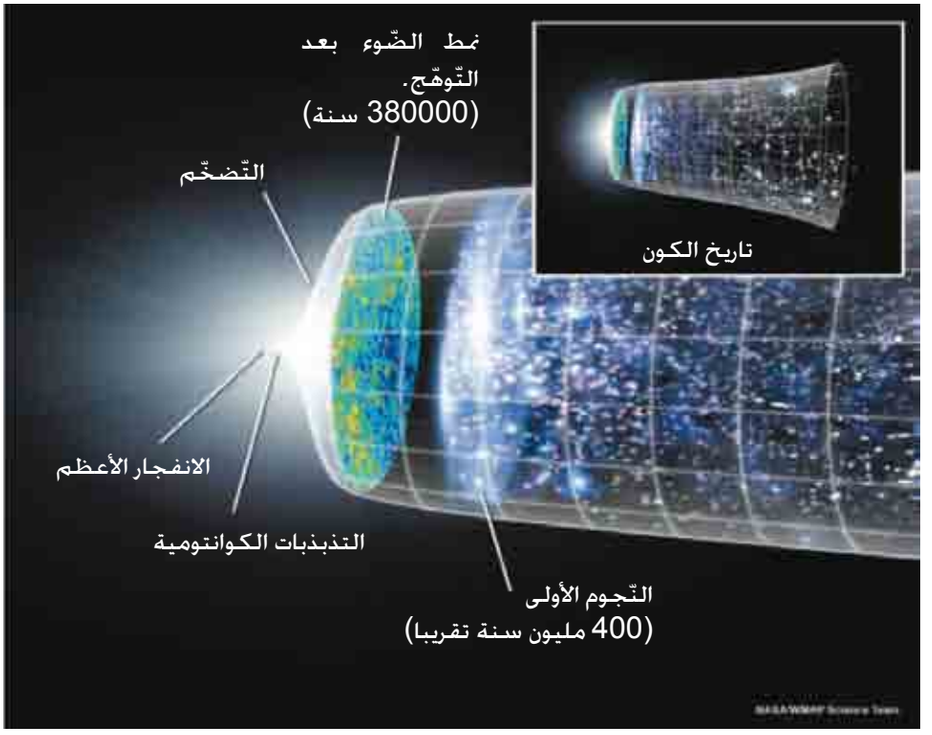
2.28 التّضخّم الكونيّ

الشّكل 6.28
نظرًا لمساعيهما في تطوير نظرية التّضخّم الكونيّ، فإنّ ألان غوث (يسار) وأندري لندي (يمين) تشاركا عام 2004م في الحصول على جائزة الكون القيمة لمؤسسة بيتر جروبر.

النّظرية فكرة شاملة يمكن استخدامها في تفسير مدى واسع من الظواهر. ووفق ما ناقشناه في التمهيد لهذا الكتاب، فالنظريات ليست نقوشًا على الصخر. ولكنها تمرّ بمراحل من التنقية والتكرير. وتصبح النّظرية أقوى بعد كلّ مرحلة من مراحل التكرير هذه. ففي بواكير عقد الثّمانينيّات من القرن الماضي، اكتسبت نظرية الانفجار الأعظم هذا النوع من التكرير من تبصّر الفيزيائيين ألان غوث وأندري لندي (الشّكل 6.28). لقد تنبأت نظرية الانفجار الأعظم بأنّ الجسيمات المعروفة *بأحادية الأقطاب المغناطيسية* magnetic monopoles يجب أنّ تكون غزيرة في كوننا الحالي، ولكنها لم تكتشف رغم المحاولات العديدة لاكتشافها. ولقد حقق غوث من أنّ أحادية الأقطاب هذه ستكون نادرة إلى حدّ بعيد لأنّ الكون تمدد تمددًا هائلًا بعد لحظة من الانفجار الأعظم. (الأقطاب الأحادية خففت إلى درجة ما وراء قابليتنا لاكتشافها). إنّ الانفجار المفاجئ هذا سيكون قد بدأ بعد 10^{-38} من الثانية من بدء الانفجار الأعظم وانتهى بعد 10^{-36} من الثانية. وفي هذا الزّمن الأقصر من الخيال، فإنّ الكون انتفخ بمقدار 10^{30}. إنّ لحظة التمدد الدراماتيكية هذه تعرف **بتضخم الكون** ***cosmic inflation*** . وسريعًا بعد أنّ تعرف غوث على أهمية هذا التّضخّم لأول مرة، تبعه لندي بالمزيد من التّصفية والتنقية المهمة للنظرية. وبمزيد من البهجة والسرور لغوث ولندي وآخرين، فإنّ فكرة التّضخّم الكونيّ حلت العديد من الأسرار التي كانت مزعجة في نظرية الانفجار الأعظم.

ويطرح هنا سؤال بارز هو: لماذا تكون الخلفية الإشعاعية الكونيّة منتظمة إلى هذا الحدّ في درجة حرارتها؟ فحتى تتساوى درجة الحرارة في منطقتين، فلا بد أنّ تكونا متصلتين معًا. فكأس من الماء السّاخن مع كأس أخرى من الماء البارد مثلًا لا يعطيان كأسًا من الماء الفاتر ما لم يخلط الكأسان معًا. وعلى النقيض من ذلك، فإنّ التمدد الثابت للفضاء بعد الانفجار الأعظم الذي كوّن مناطق مختلفة ومتباعدة بعضها عن بعض، أدى إلى أن تكون هذه المناطق غير قادرة على خلط طاقتها الحراريّة للمناطق المختلفة وحتى بعد العمر الطويل للكون. وهكذا، فإننا نتوقع أنّ تبقى حرارة بعض المناطق العالية جدًّا، في حين تكون منخفضة جدًّا في مناطق أخرى. وبناء على تضخم الكون، فإنّ درجة الحرارة المنتظمة كانت موجودة في لحظات ما قبل التّضخّم الكونيّ. وفي حينها، كانت أجزاء الكون كلها مرتبطة معًا، وبما أنها كانت متقاربة جدًّا، فإنها كانت قابلة للخلط لتعطي حرارة متجانسة. وهكذا، فإنّ الانفجار الأعظم لم يتفجر مباشرة، بل ترابط بقوة، ثم تمدد ببطء بقدر ما يستطيع حتى قبل لحظة الانفجار كالفقاعة، ومن ثَمَّ هدأ بعد ذلك مباشرة، ولكن ليس قبل تحقيق التّضخّم المثير للفضاء.

وكما يستدل من الخلفية الإشعاعية للكون، فإنّ توزيع المادة أو الطّاقة في الكون المتمدد كان منتظمًا رغم وجود بعض التذبذبات الصغيرة. وبناء على التّضخّم الكونيّ، فإنّ سبب هذه التذبذبات يعود إلى عالم ميكانيكا الكوانتوم الذي يشير إلى أنّ بعض الصفات الفيزيائيّة كالموقع والعزم تصبح غير محددة المعالم على المقياس المتناهي في الصّغر؛ كحجم الدقائق تحت الذّرّة. وفي الحقيقة، فإنّ الكون قبل التّضخّم كان متناهي الصّغر في نقطة حتى أنها في أحد الأوضاع أصغر من حجم الجسيمات تحت الذرية. واعتمادًا على أنّ قوانين ميكانيكية الكوانتوم الحالية تنطبق على وقت الانفجار الأعظم، فإنّ الكوانتوم غير محدّد المعالم يصبح من معالم ميلاد الكون (الشّكل 7.28). ومع التّضخّم، فقد ضخمت اختلافات كوانتمية صغيرة جدًّا في الموقع والعزم. ولم يكن توزيع المادة والطّاقة في حقب ما بعد التّضخّم منتظمًا تمامًا. ولكن شاب النتيجة بعض التكتل. ولقد أكدت قوى الجاذبيّة لاحقًا أنّ هذه التكتلات كانت بذورا



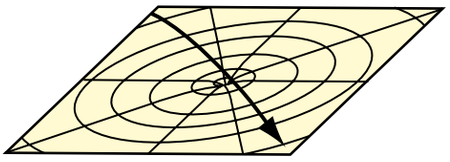
الشّكل 7.28
تمثّل هذه الصّورة من ناسا التاريخ المبكر للكون بدءا من الانفجار الأعظم. ولقد ضخمت التذبذبات الكوانتمية بالانفجار المفاجئ في الحجم في فترة تعرف بالتّضخّم. وبعد نحو 380000 سنة، استقرت الدقائق بطريقة أصبح فيها الكون شفافًا. ومنذ تلك اللحظة أصبحنا نرى الخلفية الإشعاعية للكون بعد التوهّج. ولم تتشكّل النّجوم الأولى إلا بعد نحو 400 مليون سنة.

للتكتلات اللاحقة، والتي أدّت في نهاية الأمر إلى ظهور المجرات وما فوق العناقيد المجرية. وعليه، فعندما ننظر إلى توزيع المجرات وفوق العناقيد المجرية في الكون حاليًّا، فإننا ننظر إلى ميكانيكية عالم الكوانتوم مضخمة إلى المقياس الكونيّ. ومن ثَمَّ، فإنّ التّضخّم الكونيّ يفسر كيف أنتجت هذه التذبذبات البنية الكونيّة التي نراها في مقاربنا الآن، وليس فقط انتظام المادة والطّاقة في الكون. (انظر الشّكل 37.27 من الفصل السابق).

أما النجاح الثالث للتّضخّم الكونيّ فهو التّعامل مع الشّكل الحقيقي للكون. فوفق نظرية أينشتاين النّسبيّة العامة التي سنناقشها لاحقًا، فنحن نعيش في فراغ ثلاثي الأبعاد. بالإضافة إلى بعد رابع هو الزمن. تضاف جميعها إلى **الكون الزمكاني** ***spacetime*** الرباعي الأبعاد. وللكتلة أثر في انحناء الزمكان. فبسبب هذا الانحناء، فإنّ الخطوة المتوازية قد تتلاقى أو تتباعد. وللتشبيه، يمكن اعتبار سطح كوكب الأرض كما يلي: ارسم خطين متوازيين من خطة الاستواء يتجهان تمامًا شمال- جنوب. بسبب انحناء الأرض، فإنّ هذين الخطين المتوازيين سيلتقيان في القطبين. وأنت ترى وتعرف أنّ هذا ما يحدث لخطوط الطول في أيّ كرة. وهذا يشبه ما تقوم به الكتلة في الزّمن الفضائي حيث تحنيه بالطريقة نفسها التي تلتقي فيها الخطوط المتوازية في النهاية. لقد بيّنت حسابات كتلة الكون كله أنّ الكون نفسه يجب أنّ يكون قد انحنى بطريقة قابلة للاكتشاف بسهولة. ولكن ليس هذا ما يشاهده الفلكيون؛ فبدلًا من ذلك، فإنّ الضّوء يسير في خطوط مستقيمة (ما لم يمر الضّوء في حقل جاذبي شديد يحيط بنجم أو ثقب أسود). ولقد وجدنا أنّ الكون مستوٍ، وأنّ الخطوط المتوازية تبقى متوازية.

وفيما يلي تفسير تمثيليّ للتّضخّم: انظر وتابع تحرك نحلة على بالون. ستجد أنها إذا سارت في خط مستقيم فهي تسير أيضًا في دوائر؛ أي أنّها تعود من حيث بدأت إلى نقطة البدء. فإذا نظرت إلى الأعلى، فإنّ نحلة شديدة الذكاء قد ترى الأفق المنحني، وتستنتج أنّ بيئتها منحنية كثيرًا. وإذا افترضنا أنّنا نفخنا البالون ليصل إلى حجم الشّمس، فإنّ النحلة ستتابع مسيرها إلى مناطق جديدة تراها كمستوى منبسط لا نهائي. ستبدو الخطوط المتوازية أنها تبقى متوازية. وبالطريقة نفسها، فإننا كبشر على سطح الأرض نقود سياراتنا وكأنّ العالم مستو. ولكن، وعن بعد، نعلم أنّ سطح الأرض ليس مستويًا بل منحنٍ. وهكذا بالنسبة إلى الكون؛ فما نشاهده في موقعنا من الكون يبدو أنه مستوٍ في أبعاد رباعية نوعا ما.

وهكذا، فهل الكون كلّه منحنٍ؟ الحقيقة أننا لا نملك إجابة عن هذا السؤال. ولكن من المفيد معرفة أنّ معظم المعطيات الفلكية الفيزيائيّة في هذه الأيام ثابتة على أنّ الكون مستو. ولهذه مضامين كبيرة فيما يتعلق بالنهاية المحتومة للكون. ولكن، وقبل الخوض في هذه المضامين، نحتاج إلى استكشاف مفهوم الزمكان، بالإضافة إلى الفكرة الثابتة الآن، وهي أنّ الجاذبيّة ليست قوة بل انحناء للزمكان.

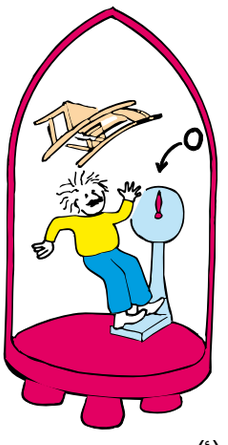


الشّكل 8.28
محاكاة ثنائية الأبعاد لزمكان رباعي الأبعاد مطوي. ينحني الزمكان بجانب النّجم بطريقة تشبه سطح لوح مطاطي عند وضع كرة ثقيلة عليه

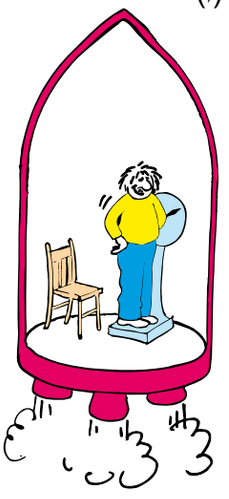
3.28 النّسبيّة العامة

نشر أينشتاين عام 1915م ما يُعرف الآن **بالنّظرية النّسبيّة العامة**، والتي كانت تنقيحًا وتجديدًا واسعًا لقوانين نيوتن في الجاذبيّة التي اختبرت بشكل جيد. وكما رأى أينشتاين، فإنّ الجاذبيّة ليست قوة تؤثر من جسم في آخر تفصلهما مسافة ما، بل هي الأثر الذي يُشاهد عندما تسبّب كتلة كبيرة ككوكب أو نجم أو مجرة انحناء شكل "الفضاء والزمن" الزمكان التي هي فيه. إنّ انحناء الزمكان رباعي الأبعاد (ثلاثة أبعاد للمسافة والبعد الرابع للزمن) يمكن أنّ يعبر عنه رياضيًّا، ولكن من المستحيل تصوره. ويمكن لنا إلقاء نظرة خاطفة لهذا الانحناء بمحاكاة بسيطة في ثنائي الأبعاد كالآتي: لنتصور كرة ثقيلة تستقر منتصف لوح مطاطي ضخم. فكلما كانت كتلة الكرة أكبر، كان تشوه اللوح المطاطي ثنائي الأبعاد أكبر أيضًا. وإذا ما مرّرت مدحلة من الرّخام فوق هذا السّطح المشوه فإنها ستترك أثرًا منحنيًا لمرها، كما يبدو في الشّكل 8.28. وإذا مرّرت هذه المدحلة قريبًا من الكرة فإنها، حتمًا، ستترك أثرًا منحنيًا إهليلجيًّا حول الكرة. ولكن إذا مررت المدحلة بزاوية وسرعة مناسبة (على افتراض عدم وجود احتكاك يبطئ من حركتها)، فقد تدخل هذه المدحلة مدارًا دائمًا أبديًّا حول الكرة. وفي هذه المحاكاة، نرى أنه لا توجد قوة تربط المدحلة بالكرة. بل إنها وببساطة تتبع الانحناء الطبيعي للّوح المطاطي.

وبطريقة مشابهة، فإنّ كتلة الشّمس تحني الزمكان حولها. إنّ كوكبنا يتحرك جانبيًّا على طول مر يتبع هذا الانحناء. ونحن نتحرك بالسّرعة المناسبة وبالضبط بحيث استدام هذا المدار. ولو كنا نتباطأ، فإنّ شدة الانحناء ستؤدي بنا إلى السّقوط في الشّمس. ولو أسرعنا بما فيه الكفاية، فسنفلت من هذا الانحناء ونغادر الشّمس إلى المجهول.



(أ)



(ب)

الشّكل 9.28
(أ) كلّ شيء دون وزن داخل المركبة الفضائية التي بلا تسارع بعيدًا عن التأثيرات الجاذبيّة.
(ب) شعور الركاب داخل المركبة بالجاذبيّة عندما تتسارع.

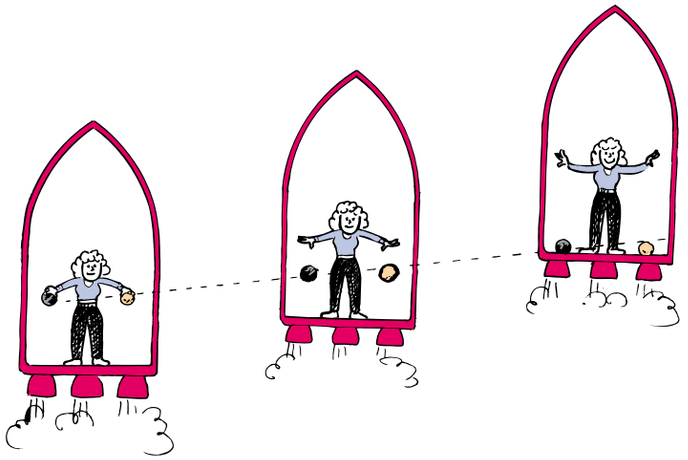
■ **نقطة فحص**

لو قلّت كتلة الشّمس فجأة، فماذا يحدث لمدارنا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

عندما تقلّ كتلة الشّمس يصبح أثر انحنائها في الزمكان أقلّ، ولو حافظت الأرض على سرعتها فإنها ستجبر على الانفصال عن الشّمس. ووفقًا لقوانين نيوتن يمكن القول إننا فلتنا من شدّ الجاذبيّة الضعيفة للشمس. ولكن وفقًا لأينشتاين يمكن القول إنّ الزمكان أصبح أكثر استواءً، وهذا ما سمح لنا بالتحرك على طول طريق مريحة.

لقد قاد أينشتاين إلى هذه النظرة الجديدة للجاذبية تفكيره عن راصدين في حركة تسارعية. لقد تخيل نفسه في مركبة فضائية بعيدا جدًّا عن تأثير الجاذبيّة (الشّكل 9.28). ففي مركبة كهذه، وفي حالة استراحة، أو حركة منتظمة، وببعد نسبيّ عن النّجوم، فإن كلّ شيء في هذه المركبة سيطفو وبحرية. فلا "أعلى" هناك ولا "أسفل". ولكن لو نشطت الدّفعات الصّاروخيّة لتسارع المركبة، فإنّ الأمور ستختلف؛ وسنرى ظاهرة شبيهة بالجاذبيّة. فالحائط الملاصق للدّفع الصّاروخيّ سيدفع نحو الأعلى بعكس أيّ ساكن ليصبح الأرضيةَ، في حين يصبح الحائطُ المقابلُ السّقفَ. وسيكون بإمكان الراكب في المركبة



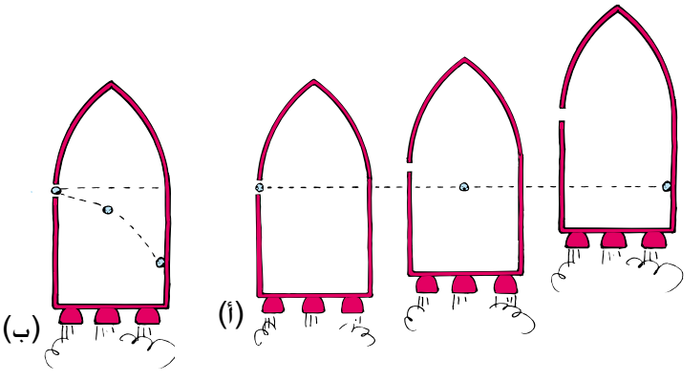
الشّكل 10.28
يرى المشاهد داخل المركبة المتسارعة أنّ كرتي الرصاص والخشب تسقطان معًا عند تركهما.

الوقوف على الأرض والوثب إلى الأعلى والأسفل. وإذا ما كان التسارع للمركبة يعادل التسارع الأرضي g، فسيقتنع الركاب جيدًا أنّ المركبة لم تكن تتسارع وإنما كانت في استراحة على سطح الأرض.

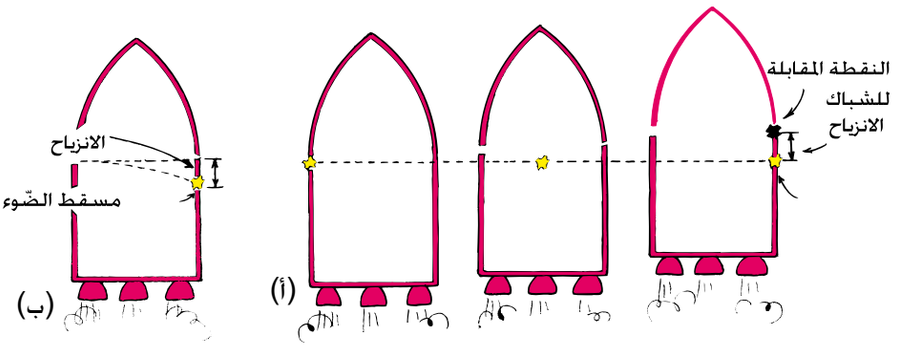
ولقد استنتج أينشتاين أنّ هناك علاقة بين الجاذبيّة والحركة في الزمكان، وتعرف هذه العلاقة الآن بمبدأ التكافؤ ***principle of equivalence***، التي تشير إلى أنّه لا يمكن تمييز المشاهدات المحلية التي تحدث في إطار مرجعي متسارع من المشاهدات التي تحدث في الحقل الجاذبي.

ولاختبار هذا المفهوم الجديد للجاذبية بسبب التسارع (كمقابل للتسارع بسبب الجاذبيّة وفق ما ورد في الفصل 4)، فكر أينشتاين في نتيجة تحرير كرتين؛ إحداهما من الخشب والأخرى من الرّصاص. فعند تحريرهما في مركبة فضائية تتحرك بانتظام، فإنّ الكرتين ستستمران في الحركة في المركبة من لحظة التحرير. وإذا ما كانت المركبة تتحرك بسرعة ثابتة (التسارع صفر)، فستبقى الكرتان معلقتين في المكان نفسه؛ لأنّ المركبة والكرتين ستتحركان بالمقدار نفسه. ولكن إذا تسارعت المركبة فإنّ أرضية المركبة ستتحرك إلى الأعلى أسرع من الكرتين، مما يؤدي إلى اعتراض الأرضية سريعًا لهاتين الكرتين (الشّكل 10.28). هاتان الكرتان، وبغض النظر عن كتلتيهما ستلاقيان الأرضية في الوقت نفسه. ولنتذكر دليل عرض جاليليو في البرج التعليمي في بيزا.

إنّ تفسيري سقوط الكرتين مقبولان بشكل متساوٍ. ولقد ضمّن أينشتاين هذا التكافؤ أو استحالة التمييز بين الجاذبيّة والتسارع إلى قاعدة نظريته النّسبيّة العامة. إنّ مبدأ حالة التكافؤ التي تعملها في تسارع هيكل المرجعية لا يختلف عن مشاهدات حقل نيوتن الجاذبي. ويعدّ هذا التكافؤ مهمًّا، ولكنه ليس ثورة إن طبق على الظواهر الميكانيكة فقط. ولكن أينشتاين ذهب إلى أبعد من ذلك.



الشّكل 11.28
(أ) يرى المشاهد الخارجي الكرة الملقاة أفقيًّا وكأنها تتحرك بخط مستقيم، وبما أنّ المركبة تتحرك نحو الأعلى، في حين تتحرك الكرة أفقيًّا فإنّ الكرة ستضرب الحائط المقابل في نقطة تحت مستوى الشباك. (ب) أما للمشاهد من الداخل، فإنّ الكرة ستنحني كما لو كانت في حقل جاذبي.

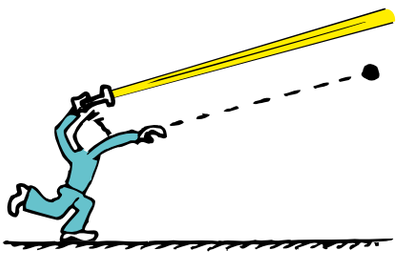


الشّكل 12.28
(أ) يرى المشاهد الخارجي الضّوء ينتقل أفقيًّا في خط مستقيم، ولكنه كالكرة في الشّكل 28. 11 يسقط على الحائط المقابل في نقطة تحت مستوى الشباك قليلًا. (ب) وللمشاهد الداخلي، ينحنى الضّوء كما لو أنه استجاب للحقل الجاذبيّ.

وقال إنّ المبدأ يصلح للظواهر الطبيعية *جميعها*؛ فهو صالح للبصريات، وللظواهر الكهرومغناطيسية.

افترض أنّ كرة ألقيت من جانب محطة مركبة فضائية في حالة انعدام الجاذبيّة. سوف تسير الكرة بخط مستقيم بالنسبة إلى المشاهد في داخل المركبة ومشاهد المحطة من خارج المركبة. ولكن في حال تسارع المركبة، فإنّ الأرضية ستتجاوز الكرة وستضرب الحائط المقابل في نقطة أسفل مستوى الشباك (الشّكل 11.28). إنّ المشاهد من خارج المركبة لا يزال يرى أنّ مسار الكرة مستقيم، ولكن المشاهد الواقع في تسارع المركبة فسيرى أنّ المسار منحنٍ: إنه قطع مكافئ. وتنطبق هذه النتيجة تمامًا على حزمة من الأشعة الضوئيّة (الشّكل 12.28). والاختلاف الوحيد بينهما هو مقدار الانحناء. فلو ألقيت الكرة بسرعة الضّوء لكانت النتيجة واحدة.

ووفقًا لنيوتن، فإنّ الكرات المقذوفة تنحني بفعل قوة الجاذبيّة. أمّا وفقًا لأينشتاين فإنّ كلًّا من الكرات المقذوفة والضّوء ينحنيان عندما يقتربان من كوكب أو نجم، ليس بفعل أيّ قوى، وإنما بسبب انحناء الزمكان الذي يسيران فيه (الشكل 13.28).



الشّكل 13.28
القذيفة المنحنية لوميض حزمه ضوئيّة تشبه تمامًا قذيفة كرة منحنية ألقيت بسرعة الضّوء. وكلا المرين منحنيان بالتساوي في حقل جاذبي منتظم.

■ نقطة فحص

لقد تعلمنا سابقًا أنّ سحب الجاذبيّة هو نتيجة التفاعل بين كتل. كما تعلمنا أنّ الضوء لا كتلة له. والآن نقول إنّ الضّوء قد ينحني بفعل الجاذبيّة. فهل هناك تناقض؟

هل كانت هذه إجابتك؟

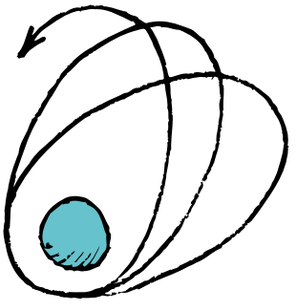
ليس هنالك تناقض عندما يفهم تكافؤ الكتلة والطّاقة (الفصل 13): فعدم وجود كتلة للضوء يعدّ حقيقة، ولكنه ليس دون طاقة. فالحقيقة القائلة إنّ الجاذبيّة تسحب الضّوء نحو الأسفل تعطينا دليلًا على أنّ الجاذبيّة تسحب طاقة الضّوء. فالطّاقة حقيقة تكافئ الكتلة!

ومن ثم، تدعو النّسبيّة العامة إلى هندسة جديدة: هندسة ليست فقط لانحناء الفضاء، ولكن لانحناء الزّمن أيضًا؛ إنها هندسة انحناء الزمكان الرباعي الأبعاد* . تعدّ رياضيات هذه الهندسة صعبة جدًّا لإعطائها هنا. ولكن الفكرة الجوهرية أنّ وجود الكتلة يعطي الانحناء والطّيّ للزمكان. وبدلا من تصور قوة الجاذبيّة بين كتلتين، سنترك فكرة القوة، وبدلًا منها سنفكر في استجابة الكتلة عند حركتها للانحناء أو الطّيّ في الزمكان الذي تستوطنه. إنه الارتطام والطّيّ لهندسة الزمكان الذي يمثّل ظاهر الجاذبيّة.

* لا تحبط إنْ لم تستطع تصور الزمكان الرباعي الأبعاد. دع انحناء الزمكان وحده. فكما قال أينشتاين لأصدقائه: (لا تحاولوا. لا أستطيع أنا أيضًا أنْ أتخيله). ربما لا نختلف كثيرًا عن المفكرين حول جاليليو الذين لم يستطيعوا التفكير في حركة الأرض!

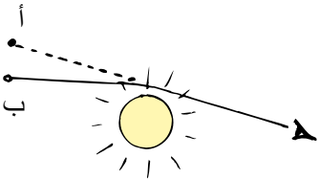
اختبارات النّسبيّة العامة

أعاد أينشتاين استنتاج مدارات الكواكب حول الشّمس باستخدام معادلات المكان الرباعيّ الأبعاد. فما وراء الكوكب، يكون الكون مستويًا تقريبًا، وتتحرك الأجسام على طوله بخطوط مستقيمة تقريبًا أيضًا. فبجانب الشّمس، تتحرك الكواكب والمذنبات على طول مسارات منحنية؛ لأنّ الفضاء منحن، ما عدا حالة صغيرة واحدة، حيث أعطت نظريته النتائج نفسها بالضبط، كما أعطاها قانون نيوتن في الجاذبيّة. إنّ هذا الاستثناء هو أنّ نظرية أينشتاين توقعت أنّ المدارات الإهليلجية للكواكب ستنزلق نحو الأمام مع كلّ دورة بعملية تعرف *بالتقدم أو المبادرة precession* (الشّكل 28. 14). إنّ هذا التقدم صغير جدًّا للكواكب البعيدة، ولكنه أكبر بشكل واضح في الكواكب القريبة من الشّمس. فعطارد هو الكوكب القريب بما فيه الكفاية من الشمس ليعطي انحناء الفضاء أثرًا فيه والذي لم يتنبأ به قانون نيوتن.



الشّكل 14.28
يُرى تقدم المدار الإهليلجي إلى الأمام عندما يشاهد مباشرة.

إنّ السبب في تقدم مدارات الكواكب يعزى إلى جاذبية الكواكب الأخرى، وهذا أمر معروف جيدًّا. ففي بدايات القرن التاسع عشر، قاس الفلكيون التقدم في مدار عطارد فوجدوه 574 ثانية قوسية في القرن الواحد. أما الجاذبيّة التي تقوم بها الكواكب الأخرى فقد وجد أنها تحسب في التقدم، عدا 43 ثانية قوسية لكلّ قرن أكثر من القيمة المحسوبة. وحتى بعد التصحيحات المعروفة كلّها بسبب الآثار المحتملة للكواكب الأخرى التي جرى تطبيقها، إلا أنّ حسابات الفيزيائيين والفلكيين فشلت في أخذ الثلاث والأربعين ثانية في حساب القوس. فإما أنّ تكون الزهرة لها كتلة زائدة، أو أنّ بعض الكواكب التي لم تكتشف بعد تسحب عطارد في اتجاهها. ثم جاء بعد ذلك تفسير أينشتاين بمعادلاته النّسبيّة العامة، والتي طبقت على مدار عطارد وتنبأت بالثلاث والأربعين ثانية الزائدة للقوس كل قرن!



الشّكل 15.28
انحناء الضّوء حال تماسّه مع الشّمس. تبين النقطة أ المكان الظّاهريّ، أما النقطة ب فتبين المكان الحقيقي.

أمّا الاختبار الثاني لنظرية أينشتاين، فقد تنبأ بأنّ أقيسة ضوء النّجوم المارة قريبًا من الشّمس ستنعرج بزاوية 1.75 ثانية قوسية، وهذا كبير بما يكفي لقياسه. إنّ هذا الانعراج في ضوء النّجوم يمكن مشاهدته خلال كسوف الشّمس. (لقد أصبح قياس هذا الانعراج ممارسة معيارية في كلّ كسوف كلّيّ منذ قياسه لأول مرة في كسوف عام 1919م الكلّيّ). ولقد كشفت صورة أخذت لعتمة السماء حول كسوفِ الشّمس وجود نجوم لامعة بالجوار. كما قورنت مواقع هذه النّجوم لاحقًا مع صور أخرى للمنطقة نفسها أخذت في أوقات أخرى في الليل وبالمقراب نفسه. وفي كلّ حالة، فإنّ انعراج ضوء النّجوم عزّز تنبؤات أينشتاين(الشكل 15.28).

لمعلوماتك

■ فنيًّا، ليست الكتلة هي التي تسبب انحناء الزمكان، ولكنها كثافة الكتلة. فكثافة الأرض صغيرة جدًّا لتعطي آثارًا ملحوظة في الزّمن. ولكنها قصة مختلفة.
ولنتذكر من الفصل 27 أنّ ساعة تسقط نحو أفق الحدث ستبدو أنها تتباطأ كلما اقتربت أكثر فأكثر من أفق الحدث والتي لن تراها تصل أبدًا.

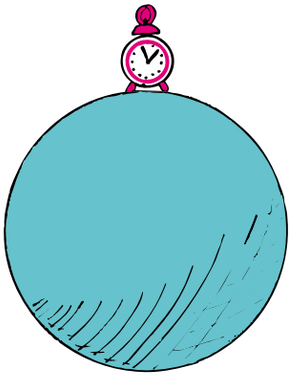
■ **نقطة فحص**

لماذا لا نلاحظ انحناء الضّوء بفعل الجاذبيّة في حياتنا اليومية؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لأنّ سرعة الضّوء كبيرة جدًّا؛ فكما أننا لا نلاحظ المر المنحني للرصاصة السريعة عندما تكون المسافة قصيرة. فإننا لا نلاحظ الانحناء في حزمة الضّوء.

أما التنبؤ الثالث لأينشتاين فهو أنّ الجاذبيّة تسبب إبطاء للزمن. فلقد تنبأ مثلًا أنّ دقيقة من الوقت على سطح كوكب كتليّ تستمر أطول بالمقارنة مع دقيقة من الوقت على سطح كوكب آخر أقلّ كتلة. وهكذا، فالساعة الموجودة على كوكب وذات كتلة عالية ستبدو وكأنها تسير أبطأ من ساعة مماثلة على سطح كوكب أقلّ كتلة. فالجاذبيّة تفسد الوقت! وكلما كانت الجاذبيّة أقوى كان الأثر أكبر.



الشّكل 16.28
لو تحركت من نقطة بعيدة نزولًا نحو سطح الأرض، فإنك تتحرك في اتجاه فعل قوة الجاذبيّة، أي في اتجاه المكان الذي تسير به السّاعة بشكل أبطأ. فالسّاعة على سطح الأرض تسير أبطأ من ساعة أخرى تقع بعيدًا عن السّطح.

لقد اقترح أينشتاين قياس هذا الأثر عندما صاغ مبدأ التكافؤ. فهو يعلم أنّ الذرات كلّها تصدر ضوءًا بترددات محددة تميز معدل الاهتزازات للإلكترونات في الذّرّة. إذن، فكلّ ذرة عبارة عن ساعة وقت، وأنّ بطء الاهتزاز الذري يدلّ على بطء هذه الساعة الذرية. وهكذا، ستصدر ذرة على الشّمس ضوءًا بتردد أدنى (اهتزاز أقلّ) من الضّوء الصادر للذّرّة نفسها على الأرض. لقد وجد الفلكيون أنّ الإبطاء في الزّمن للذرات على شمسنا لا يتحقق بسبب الحركة الحراريّة. لقد لوحظ أثر الإبطاء الزّمني للجاذبية منذ زمن، وقيس بدقة على النّجوم القزمة التي لها حقل جاذبيّ أقوى من حقل شمسنا. وأكثر من ذلك، فالتجارب الدقيقة جدًّا على الأرض بيّنت أنّ الزّمن يسير أبطأ عند قاعدة برج عالٍ، والذي هو أقرب إلى جاذبية الأرض منه عند قمة البرج. إنّ الفرق صغير جدًّا، ولكن يمكن إعادة قياسه، وهذا يتفق مع تنبؤات أينشتاين تمامًا (الشّكل 16.28).

تمثّل نظرية أينشتاين العامة في النّسبيّة مزيدًا من العمل على **نظريته الخاصة في النّسبيّة *special theory of relativity***، والتي افترضها قبل 10 سنوات عام 1905م. ومن خلال النّسبيّة الخاصة، بين آينشتاين كيف أنّ المادة والطّاقة ما هما إلّا شكلان للشيء نفسه، والتي عبر عنها بمعادلته الشهيرة $E=mc^2$. كما ذُكِر في الفصل 13. ففي الملحق وكما في كتاب *تطبيق مفاهيم العلوم الفيزيائيّة* عرضنا مظهرًا رائعًا للنسبية الخاصة التي تبين لنا كيفية تغيّر الزّمن مع الحركة. وعلى سبيل المثال، فإنّ رائد فضاء يذهب في رحلة فضائية مدة سنتين وبسرعة عالية يمكن أن يعود ليرى أنّ عمر الأرض أصبح 2000 سنة! وعلى أيّ حال، نعود الآن إلى أمر أكثر غموضًا، وهو الوجود المحتمل لشكل من المادة لا يرى نهائيًّا من قبلنا، ولا يُحسّ باللمس.

4.28 المادة العاتمة

يمكن أنّ تُعرّف المادة بأنها "الشّيء الذي يحتلّ حيزًا" وبشكل أدق، يمكن لنا القول إنّ المادة هي "الشيء الذي يحتل زمكان". على أيّ حال، فالمادة، أكثر من مجرد إشغالها للزمكان، فلوجودها تأثير في انحناء الزمكان هذا. وإن كان هذا هو تعريفنا للمادة، فإنّ دليلنا الآن يقترح أنّ الانفجار الأعظم ولد مادة بشكلين على الأقل؛ أحدهما يمكن رؤيته، أما الآخر فلا.

إنّ الشّكل المرئيّ من المادة هو "الشّكل العاديّ" المكوّن من دقائق ما تحت الذرات كالبروتونات والنيوترونات والإلكترونات. وكما درسنا في الفصول السابقة، فإنّ هذه الدقائق تتّحد لتكوّن ذرات الجدول الدّوريّ. ومن ثَمَّ تتّحد هذه الذرات لتكوّن الجزيئات كتلك التي تكوّن أجسامنا. إنّ هذه المادة يمكننا لمسها، كما يمكن التفاعل معها مباشرة. فأنت والكواكب والنّجوم مكوّنون من هذا الشّكل من المادة والتي سندعوها من هنا **المادة العادية *ordinary matter***.

أما الشّكل الثاني للمادة والذي تولّد عن الانفجار الأعظم فهو لا يشبه المادة العادية. وهذا الشّكل من المادة لا يتعرف القوة النووية القوية، أي أنّه لا يستطيع التّكتل لتكوين أنوية ذرية. كما أنّه لا يتعرف القوة الكهرومغناطيسية التي تجعلها غير مرئية لا للضوء ولا إلى حاسة اللمس. وكما فسّر في الفصل 12، فإنّ القوى الكهرومغناطيسية هي المسؤولة عن التنافر بين الإلكترونات. والسبب في عجزك عن اختراق جدار هو أنّ الإلكترونات في جسمك تتنافر مع الإلكترونات في الحائط. ولو كان الحائط مكوّنًا من هذه المادة غير المرئية، لكان بإمكانك أنّ تسير من خلال الحائط. وبالطبع لا يكون بإمكانك رؤية الحائط أيضًا. إنّ هذا الشّكل غير المرئيّ من المادة بحاسة النظر ولا باللمس يعرف **بالمادة العاتمة**.

وإذا كنا لا نرى المادة العاتمة فكيف نعرف وجودها؟ الجواب هو أنّ هذا الشّكل غير المرئيّ من المادة يعبر عن نفسه بالأثر الجاذبيّ. ولقد جاءتنا أولى المفاتيح عندما كنا نضع خرائط لسرعة دوران النّجوم حول مركز مجرتنا. فوفق قوانين الجاذبيّة، فإنّ سرعة الدوران تدلّ على قوة الجاذبيّة بين الجسم الدائر والجسم المدار حوله؛ فكلما كبرت قوة الجذب زادت سرعة الدوران.

وعلى سبيل المثال، فإنّ الكواكب الداخلية في نظامنا الشّمسيّ تدور حول الشّمس أسرع من الكواكب الخارجية لأنها أقرب إلى الشّمس ولها قوة جاذبية أكبر.

وبالنسبة لمجرتنا، فإننا نتوقع الاتجاه نفسه: فسرعة دوران النّجوم الأقرب إلى مركز المجرة سيكون أعلى من سرعة دوران النّجوم الأبعد. إلا أنّ الملاحظ لم يكن هكذا! فبدلًا من ذلك نرى أنّ النّجوم الأقرب من المركز والأبعد عنه تدور بالسرعة نفسها. فكيف يكون ذلك؟

وفي النّظام الشّمسيّ تدور الكواكب في وضعها الحالي لأنّ معظم كتلة النّظام الشّمسيّ تتركّز في شمسها المركزية. وفي مجرة كدرب التبانة أو المرأة المسلسلة، فإنها تبدو كأنّ الكتلة تتركز في التّضخّم المركزي. إنّ سرعة دوران النّجوم المقيسة تبيّن أنّ الجزء الأكبر من كتلة المجرة تقع خارج المجرة نفسها في هالة كتلية منتشرة وغير مرئية حتى الآن، ويبلغ قطرها عدة مرات قطر المجرة المرئية (الشّكل 17.28). ونحن نعلم أنها غير مرئية لأنّ مقاربنا كلّها ترى من خلالها بشكل جيد، إلا أنّ شيئًا ما يجب أنّ يكون هناك يؤثر في سرعات الأجرام.

وهناك دليل ضعيف آخر للمادة العاتمة يأتي من قياس سرعة المجرات عندما تدور حول بعضها في العناقيد. فالسّرعة المقيسة تبيّن أنّ كتل هذه المجرات أكبر عدة مرات من مجموع كتل النّجوم كلّها.

وأخيرًا، فإننا نعلم أنّ مسار الضّوء ينحني بفعل الجاذبيّة تمامًا كما ينحني بفعل عدسة. وعليه، فإنّ عنقودًا من المجرات يمكن أنّ يحني الضّوء الآتي من عنقود مجري بعيد يقع وراءه مباشرة؛ وهنا نقول إنّ العنقود الأمامي يسلك سلوك *عدسة جاذبية* *gravitational lens*. ويوضح أثر العدسة الجاذبيّة هذه في الشّكل 33.27

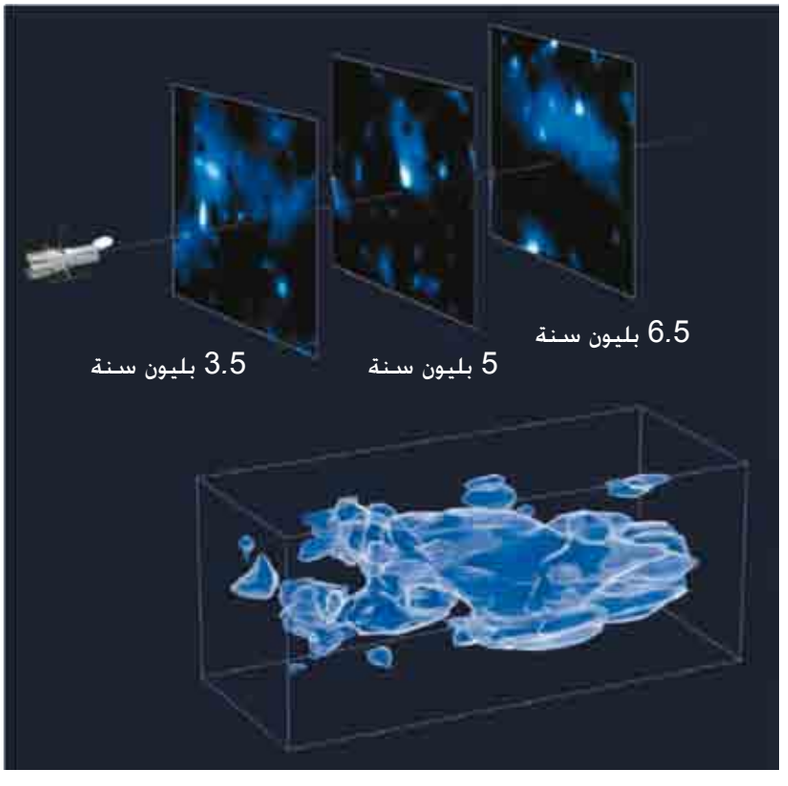
إنّ درجة انحناء الضّوء الآتي من العنقود البعيد يتعلق بكتلة العنقود الأمامي. ومرة أخرى، فإنّ درجة انحناء الضّوء يدلنا على أنّ كتلة العنقود الأقرب تتجاوز كثيرًا ما يمكن أنّ نتوقعه اعتمادًا وبشكل رئيس على لمعان العنقود. لذا، فبالدراسة الواعية لانحناء الضّوء من المجرات البعيدة، يمكن وضع خريطة لتوزيع المادة العاتمة. يبين الشّكل 18.28 دراسة وضعت باستخدام مقراب هابل الفضائي.

وهكذا، فإنّ الدليل على وجود المادة العاتمة قويّ. ولكن مشكلتنا الحالية هي محاولة معرفة ما تتكون منه هذه المادة العاتمة بالضبط. فمن الواضح جيدًا أنّ المادة العاتمة ليست ببساطة مادة عادية كالنّجوم الميتة التي أصبحت باردة إلى درجة أنها لا تصدر ضوءًا.

الشّكل 17.28
كلما كانت المجرة كبيرة، كان نشر هالتها للمادة العاتمة أكبر. وقد يصل قياس هذه الهالة إلى 10 مرات قطر المجرة المضاءة، وكتلتها إلى ستة أضعاف.

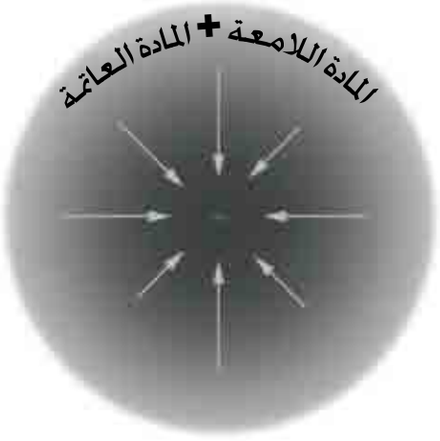
لمعلوماتك

■ **إنّ النّظرية البديلة للمادة العاتمة هو ديناميكا نيوتن المعدلة، والتي اقترحت من قبل الفيزيائي موردیهاي ميلجورم عام 1980 ووفقًا لهذه النّظرية المقترحة، فإنّ معادلة نيوتن $a = F/m$ تفشل عندما تصبح القوة ضعيفة جدًا، ربما بسبب الأثر الكوانتومي. ولقد وضعت نسخة معدلة لهذه المعادلة للأخذ في الحسبان سرعة النّجوم الدورانية المرئية في المجرات. النّظرية لا زالت خلافية وبحاجة إلى الدحض الكامل.**



الشّكل 18.28
صور للمادة العاتمة تظهر باللون الأزرق، أخذت بالمسح المتطور الكونيّ بمقراب هابل الفضائي. وبالتأكيد، فالمادة العاتمة ليست زرقاء، بل إنّ هذه الصّورة تبيّن توزيع المادة العاتمة في منطقة ضيقة من السماء قبل 6.5 بليون سنة.

ومع تعدّد النظريات حول الطبيعة الأساسية للمادة العاتمة؛ إلا أنه لم تكتشف أي دقائق عاتمة. وإلى أنّ يتم ذلك، فسنظلّ في غموض آخر مثير عن كوننا هذا.



الشّكل 19.28
تكثف المادة العادية من خليط من المادتين؛ العاتمة والعادية.

تكوّن المجرات (Galaxy Formation)

نستطيع التفكير في أنه عندما نشأ الكون، فإنّ المادة العادية مع كمية أكبر من المادة العاتمة قد تكونتا. ولما كانتا متماسكتين بالجاذبيّة، فإنهما قد نثرتا سويًّا خارجيًّا على هيئة متكتلة. وفي كلّ تكتّل، كانتا مختلطتين معًا وبانتظام. وهذان الشكلان للمادة يختلفان اختلافًا رئيسًا هو أنه عند تصادم مادة عادية مع مادة عادية أخرى، تتحرر طاقة على شكل حرارة. وبفقدان هذه الطّاقة، فإنّ المادة العادية تفقد شيئًا من سرعة دورانها وتسقط أقرب إلى مركز التكتل. وبمرور الزّمن، وببقاء المادة العاتمة كلها موزعة في التكتل، فإنّ المادة العادية تتجمع في المركز (الشّكل 19.25). وقد سمح تمركز المادة العادية في مركز التكتل بتشكّل النّجوم. وأيضًا بتجمع هذه المادة العادية في المركز، فإنّ معدل الدوران يزداد؛ أي أنّ العزم الزاوي يحفظ. فإذا كان التكتل الأصلي للمادة العادية والعاتمة بالكاد يدور حول نفسه، فإنّ النّجوم المتكونة في المركز ستأخذ شكل مجرة إهليلجية. وإذا كانت التكتلات الأصلية تُبرم بشكل أسرع قليلًا، فإنّ النّجوم الجديدة ستبرم بشكل أسرع بما يكفي لجعل المجرة مسطحة، أي ما يشبه إلى حد بعيد دوران كرة عجين البيتزا. وسيأخذ القرص الناتج شكل المجرة الحلزونية. وهكذا، فمن شكل التكتل للمادة العادية والعاتمة تتكثف المادة العادية لتشكّل المجرة المركزية. وتبقى المادة العاتمة منتشرة ومكونة هالة غير مرئية تحيط بالمجرة المتشكّلة حديثًا.

■ 5.28 الطّاقة العاتمة

في السنوات القليلة التي سبقت اكتشاف هابل لتمدّد الكون، كان أينشتاين يتقدم ببطء لفهم لماذا لم تتسبب الجاذبيّة في انهيار الكون في السحق الأعظم *Big Crunch*. لقد كان يفكر في الكون كعالم ساكن؛ فلا هو منهار ولا هو متمدد. ولكي يبقى الكون ساكنًا مقابل الانحناء الداخلي للجاذبية، فإنه بحاجة إلى انحناء خارجي أساسي مضاد للجاذبية. أي إذا كانت الجاذبيّة هي السحب نحو الداخل، فلا بدّ من وجود ظاهرة تولّد الدفع نحو الخارج. وللسماح بتوازن كهذا، وضع في معادلته فكرة ما سمّي *بالثابت الكونيّ cosmological constant*. ولم يكن لديه الدليل على وجود ظاهرة كهذه، وإنما وضعها لجعل معادلته تبدو طبيعية.

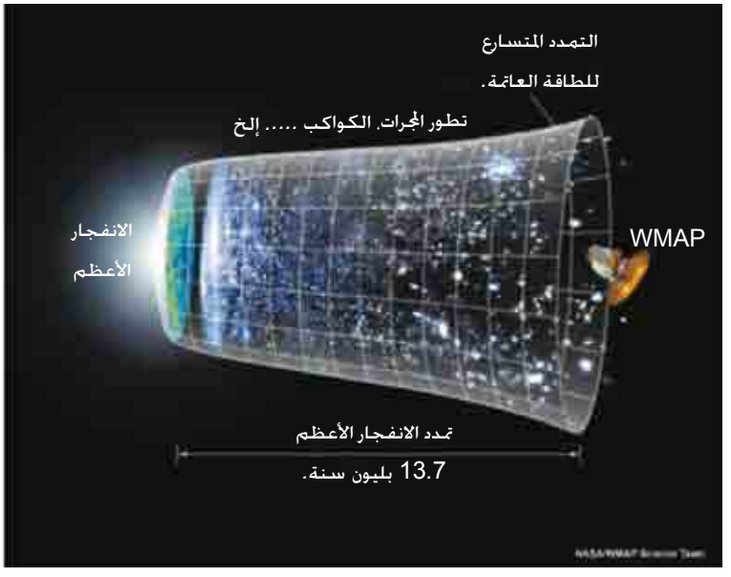
وبعد ذلك بعَشْر سنوات، أعلن هابل أنّ الكون لم يكن ثابتًا، وإنما متحرك بشكل كبير، وأنه الآن في حالة من التمدد. ثم جاء أينشتاين لاحقًا ليعلن أنّ فشله في التنبؤ بديناميكية الكون كان أكبر خطأ فادح في حياته.

لقد بينت الأعمال اللاحقة لمعادلات أينشتاين أنّ الكون السّاكن لا يكون ثابتًا، فأي دفعة صغيرة بهذا الاتجاه أو ذاك ستؤدي به إلى الانهيار أو التمدد. ولقد ترك أينشتاين إيمانه في الثابت الكونيّ، والذي بقي في السنوات الخمس والسبعين اللاحقة غريبًا لافتًا للنظر.

وفي تسعينيّات القرن الماضي، أي بعد نحو 40 عامًا من وفاة أينشتاين، قام فريقان فلكيان باكتشاف مذهل؛ حيث أظهرت المعطيات العالية الدقة التي أخذت من مجرات بعيدة جدًّا أنّ الفضاء الذي نشأ قبل 7.5 بليون سنة قد بدأ في التسارع في تمدده. فالمجرات لا تبتعد عن بعضها فقط، بل إنّ شكلًا غير معروف من الطّاقة يسبب زيادة في سرعة تراجع المجرات. وهنا توجد ظاهرة تعمل ضد الجاذبيّة مسببة الانحناء الخارجي للزمكان. وهو دليل على الثابت الكونيّ الذي اقترحه أينشتاين!

الشّكل 20.28

بدأ تمدد الفضاء في التسارع قبل نحو 7.5 بليون سنة كما يظهر في هذا المخطط كتوسع تدريجي مباشرة بعد تطور المجرات. وقد أعطي سبب هذا التسارع في التّوسّع اسم *الطّاقة العاتمة*. ولكن لا يعني أننا عندما نستطيع تسمية شيء ما أننا نفهمه. وهكذا الحال بالنسبة إلى الطّاقة العاتمة.



لمعلوماتك

■ يحتوي الفضاء الذي تدور فيه كواكبنا على 100 ذرة من الهيدروجين في اللتر تقريبًا. أما الفضاء ما بين النّجوم في مجرتنا فيحتوي على ذرتين من الهيدروجين فقط في اللتر. ولكن إذا أردت الحصول على فراغ تام حقيقيّ، فأنت بحاجة إلى السفر صوب الفراغ الواسع الذي يفصل بين ما فوق العناقيد كما بينا في الشّكل 27. 36. ففي هذه المناطق فقط توجد الطّاقة العاتمة. والفراغ في مجراتنا المحلية وما بينها كثيف جدًّا!

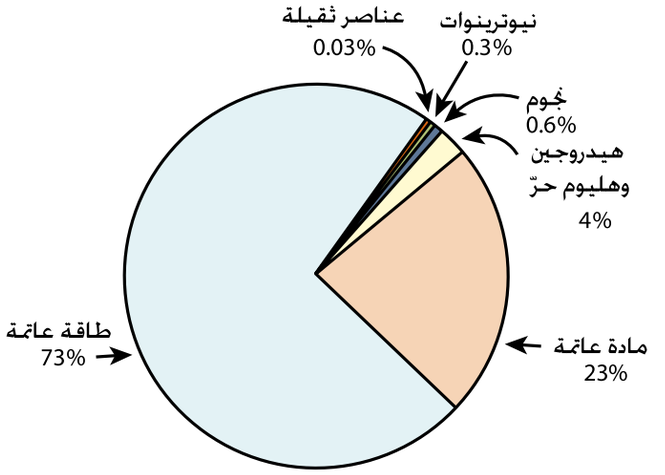
وعند إعداد هذا الكتاب، أي بعد أقل من عشر سنين من اكتشاف هذه الظاهرة، كثر التخمين في الكيفية التي تؤثر بها هذه الاكتشافات في مصير الكون. يوصف هذا الشّكل غير المعروف من الطّاقة **بالطّاقة العاتمة** (الشّكل 20.28). وتقترح المعطيات الفلكية الحالية أنّ الطّاقة العاتمة ما هي إلا الثابت الكونيّ الشهير لأينشتاين. أما الاحتمالات الأخرى، فلا يمكن الحكم عليها حتى الآن.

تقترح بعض النماذج الحالية أنّ الطّاقة العاتمة تجد مصدرها في فراغ الزمكان. وللمادة الأثر في سحب الزمكان معًا. ولهذا، فهو ينكمش. والمثال التقليديّ هو ما يحدث عند تشكّل ثقب أسود: فالزمكان ينكمش إلى نقطة الصفر في حجمه (وكثافة لا نهائية). وفي غياب المادة - في فراغ تام- فإنّ الزمكان الفارغ يتهيّج مع الطّاقة ليولّد انحناء معاكسًا يسمح للزمكان بالتمدد. وكلما تولد المزيد من الزمكان، فإنّ *طاقة الفراغ vacuum energy* تصبح أكثر سيادة، وتزيد في تسارع تشكّل الزمكان الفارغ. وهكذا، فإنّ المجرات البعيدة تبدو وكأن بعضها يتسارع مع بعض. إنه يبدو وكأن الجاذبيّة والطّاقة العاتمة متضادان مطلقًا. وعندما تكسب الجاذبيّة السيطرة، فإنّ النتيجة قد تكون فراغًا لا نهائيًّا، أي ثقبًا فارغًا.

هناك العديد من النماذج المثيرة للاهتمام التي تحاول تفسير طبيعة الطّاقة العاتمة. ويمكن تحديد أفضلها فقط بعد تجميع المزيد من الأدلة. تابع سماع تقارير الأخبار العلمية. وخصوصًا وكالات الفضاء الأوربية *"بلانك سيرفير"* والتي قد تجيب عن العديد من تساؤلاتنا الآنية. على أيّ حال، فإنّ هذا المقراب الفضائي ذا الكفاءة العالية، بالإضافة إلى العديد من المقاريب الأخرى التابعة له، وبدون شك، سيثير العديد من الأسئلة أكثر مما يجيب عن بعضها. ويبقى شيء واحد مؤكد، وهو أنّ الكون لا يحمل أي نقصان في أسراره.

■ 6.28 مصير الكون

الكون يتوسع. والمادة، على أي حال، لها تأثير مضاد لهذا التّوسّع. فهل توجد هناك مادة كافية في الكون لإيقاف هذا التّوسّع أو عكسه؟ فقبل اكتشاف الطّاقة العاتمة والمادة العاتمة، حسب الفلكيون المادة العادية في الكون وقدروها بـ 4% فقط من المادة اللازمة لإيقاف التّوسّع. ولقد اكتشف لاحقًا أنّ المادة



الشّكل 21.28
إنّ المادة العادية التي تكوننا وتكون المجرات التي نعيش عليها لا تشكّل أكثر من 4% من مكونات الكون. أما الباقي فهي، مبدئيًّا، المادة العاتمة (23%)، والطّاقة العاتمة (73%)، وما نعلمه عنهما قليل جدًّا.

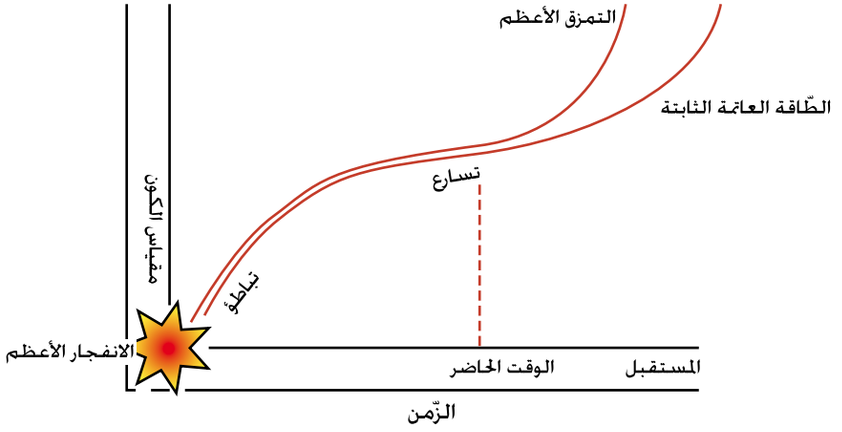
العاتمة تساوي ستة أضعاف المادة العادية؛ فهي تكوّن 23% من المادة اللازمة لوقف التّوسّع. فإذا كان الباقي 100% - (23%+4%) =73% من المادة إيجاده (يمكن أخذه في الحسبان). فإنّ كتلة الكون ستكون كافية لإيقاف التّوسّع في يوم ما. وسيكون شكل الكون الهندسي مستويًا. وبكلمات أخرى، فإنّ الخطوط المتوازية لن تلتقي أبدًا. وبما أننا نرى الكون مستويًا فإنّ الفلكيين قد أربكونا في مكان وجود هذه الـ 73% الباقية من المادة.

ثم جاء بعد ذلك اكتشاف الطّاقة العاتمة. ولنتذكر أنّ ما بين الطّاقة والمادة علاقة بحسب معادلة أينشتاين $E=mc^2$. وهكذا، فكلاهما؛ المادة العاتمة والطّاقة العاتمة، لا بدّ من إدخالهما في جداول التركيب الكلي للكون. وكلاهما يكون له أثر في الانحناء المشهود للكون. وعليه، فإنّ وفرة الطّاقة العاتمة يجعل المتبقى وهو 73% من مكونات الكون المرئيّ يتوافق مع إكمال الصّورة. كما في الشّكل 21.28. لذا، فمن المنطقي أنّ يكون كوننا المرئيّ مستويًا أو قريبًا جدًّا من الاستواء. ومع ذلك، هناك ليّ؛ حيث إنّ الطّاقة العاتمة تسبب التّوسّع في الفضاء وليس الانكماش. ولهذا، فإنّ التفكير الحالي للكثير من علماء الكونيّات، إنّ كوننا المستوي مقدر له التّوسّع الأبدي. وهذا يدعو إلى وضع عدد من الخيارات لاقتراحات محتملة لنهاية كوننا.

مع أنّ *الطّاقة العاتمة* والمادة العاتمة يشتركان في كلمة العاتمة، إلا أنّهما مختلفتان تمامًا؛ فواحدة مكونة من مادة أما الأخرى فمكونة من طاقة. وكلاهما لا زال غامضا. وقد يتم إثبات عدم وجودهما بدلائل حديثة أو بدلائل تفسيرية أخرى. وفي الطبعة القادمة لهذا الكتاب قد تختلف الصّورة تمامًا.

إنّ أحد هذه الاحتمالات هو ما يسمى **الموتَ الحراريّ *heat death***؛ حيث يستمر الكون في التّوسّع، حتى يقترب من الصفر المطلق وحالة الإنتروبي القصوى. وبعد 10^{14} سنة، ستكون النّجوم جميعها قد استهلكت أشكال الوقود المتاحة كلّها. وسوف يصبح الكون معتمًا بالكامل. وبعد 10^{16} سنة ستتقذف الكواكب والنّجوم من مداراتها بسبب التصادم العشوائي. وبعد ذلك سيقع معظمها في الثقوب السوداء فوق الكتلية، في حين يكون الباقي فتاتًا كونيًّا مبعثرًا. وبعد 10^{40} سنة، ستنحل البروتونات والنيوترونات كلّها تلقائيًّا، لتترك خلفها إشعاعات جاما ودقائق ضعيفة (*Leptons*) ومثالها الإلكترونات. ومن هذا الوقت حتى 10^{100} سنة لاحقًا، سوف تكون الثقوب السوداء فوق الكتلية الشّكلَ المسيطر للكتلة في الكون. ولكن وبمرور الزّمن حتى 10^{150} سنة، ستغادر هي أيضًا متبخرة إلى فوتونات ولبتونات. ومن هذا الزّمن حتى 10^{1000} سنة لاحقًا تقريبًا، فإنّ أطوال أمواج الفوتونات وكلّ ما تبقى من دقائق ستصل إلى أدنى حالات الطّاقة الممكنة. وعندئذٍ، سيحقق الإنتروبي النصر المؤزر.

أمّا الاحتمال الآخر فهو ما يعرف **بالتمزق الأعظم *Big Rip*** الذي يتميز بزيادة تأثير الطّاقة مع الزّمن (الشّكل 22.28)؛ حيث يتوسّع الكون وبشكل أسّيّ، ستندفع عناقيد المجرات بعيدًا بعضها عن بعض إلى أنّ تصل إلى درجة عدم رؤية بعضها بعضًا. وهكذا، فالمجرات المتجاورة ستسحب بعيدًا بمنأى عن الأنظار. وقبل نحو 60 مليون سنة من النهاية، ستتطاير النّجوم من المجرات في الاتجاهات كافة. وقبل ثلاثة أشهر تقريبا من النهاية سيتشتت النّظام الشّمسيّ وينتشر. وفي آخر عدة دقائق، لن يكون هناك أيّ ترابط بين النّجوم والكواكب. وفي النهاية، سوف تتمزق الذرات كلّها بعضها عن بعض لتعطي ما تحت الذرات. إنّ الهيكل الزّمني للتمزق الأعظم قد يكون 35 بليون سنة بعد الانفجار الأعظم أي بعد 21 بليون سنة من الآن. وأين ستتطاير هذه المواد كلّها؟ اللّه أعلم، ربما إلى انفجار أعظم آخر!



الشّكل 22.28
إذا بقيت قوة الطّاقة العاتمة ثابتة، فسنتوقع أنّ يعاني كوننا الموت الحراريّ. وإذا اكتسبت الطّاقة العاتمة قوة إضافية فإنّ مصير كوننا قد يكون التمزق الأعظم.

يؤيد ألان غوث، أحد مطوري فكرة تضخم الكون الأوائل، فكرة أنّ الكون لن ينتهي في كلّ مكان في الوقت نفسه. فقبل نحو 14 بليون سنة، تضخّمت قطعة صغيرة من المواد الأولية لتشكّل كوننا المرئي. غير أنّ التّضخّم سيستمر على قطع أخرى من هذه المواد الأولية، وسيستمر في فعل ذلك بشكل سرمدي. وهكذا، ففي حين تتوسع منطقتنا من الكون بلا نهاية، فإنّ بعض المناطق الأخرى قد ولدت حديثًا. هذا الاحتمال الذي يولّد أكوانًا مرئية بشكل أبدي دائم يعرف **بالتّضخّم السّرمديّ** ***eternal inflation*** . ومن منطلق التّضخّم السّرمديّ هذا، فإنّ المصير النهائي لكوننا المرئيّ لن يكون مشابهًا لبقية الكون ككل.

إنه لمن الممتع حقًّا أنّ نرى كيف أنّ بؤرة عرضنا المسرحي تضيق عبر الزّمن. ففي البداية كان كلّ شيء ممكنًا. ولكن كلما فتحنا عيوننا وعقولنا على هذا الكون الطبيعي، تعلمنا أنّ بعض المشاهد تكون أكثر قيمة من مشاهد أخرى. فلقد رأينا مرة أنّ المجموعات النجمية ما هي إلا آلهة سماوية، وبالطبع كانت الأرض مركز الكون. ثم حققنا لاحقًا أنّ الأرض ما هي إلا كوكب يدور حول الشّمس، وما هذه الشّمس إلا نجم متوسط الحجم بين العديد من النّجوم. لقد كان كوننا عبارة عن مجرة درب التبانة، حتى جاء هابل وأشار إلى غير ذلك. وعندما وجد أنّ المجرات تتباعد، افترض كثيرون أنّ الجاذبيّة قد تكون قوية بما يكفي لشد بعضها إلى بعض، فيما يعرف بالسحق الأعظم. ولقد استثني هذا الاحتمال منذ زمن. ونحن الآن في مرحلة من التعجب عما سيحدث بعد التّوسّع الأبدي. المشاهد الحالية هي فقط مشاهد. ولكنها مشاهد مكررة ومنتقاة اعتمادًا على قرون من جمع الدلائل والبراهين. وكلما استمر النظر إلى الكون الطبيعي وبمقاريب تزداد كفاءة، فإننا نتوقع لمشاهدنا هذه أنّ تصفى وتنقى بشكل أفضل. هذا هو فن الانفتاح الفكري في العلوم والذي يبحث ليتعلم عن طبيعة الكون وماهيته؛ وليس ما نتمنى أنّ يكون؛ ولننتظر.

ملخّص المصطلحات

الكونيّات Cosmology: دراسة بنية الكون كله وتطوره.
النّسبيّة Relativity: دراسة العلاقات بين كلّ من الطّاقة والكتلة والزّمن في الفضاء.
الانفجار الأعظم Big Bang: الولادة الأولية وتوسع الفضاء في لحظة بدء الزّمن.
الانزياح الكونيّ نحو الأحمر Cosmological Redshift : استطالة الأمواج الضوئيّة نتيجة توسع الفضاء.
قانون هابل Hubble's Law: كلما زاد بعد المجرة عن الأرض، زادت سرعة ابتعادها عنا $V = H X d$.
الخلفية الإشعاعية الكونيّة Cosmic Background Radiation: إشعاعية الأمواج الميكروووية الباهتة المنبثقة عن الاتجاهات كلّها. وهي تمثل بقايا حرارة الانفجار الأعظم.
التّضخّم الكونيّ Cosmic Inflation: النّظرية القائلة بتعرّض الكون لانفجار مفاجئ وقصير الأمد في الحجم مباشرة بعد الانفجار الأعظم.

الزمكان Spacetime: الاستمرارية التي نعيش فيها والمكونة من فضاء ثلاثي الأبعاد بالإضافة إلى بُعْدٍ رابع هو الزّمن.

النّظرية العامة للنّسبيّة General Theory of Relativity: نظرية تُنسب بداية إلى أينشتاين، وتناقش تأثير الجاذبيّة في الزمكان.

مبدأ التكافؤ Principle of equivalence: مشاهدات محلية من إطار مرجعي متسارع لا يمكن تمييزها عن مشاهدات من حقل جاذبي نيوتوني.

النّظرية الخاصة للنّسبيّة Special Theory of Relativity: نظرية منسوبة بداية إلى أينشتاين، وتناقش تأثير الحركة المنتظمة في كلّ من الفضاء والزّمن والطّاقة والكتلة.

المادة العادية Ordinary Matter: المادة التي تتجاوب مع القوى النووية القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية والجاذبيّة. تتكوّن هذه المادة من بروتونات ونيوترونات وإلكترونات تتضمن الذرات والجزيئات المكونة لنا ولأوساطنا البيئية.

المادة العاتمة Dark Matter: المادة التي تستجيب للقوى النووية الضعيفة وقوى الجاذبيّة فقط. هذا الشّكل من المادة غير مرئيّ، ولكن يُستدل عليه بآثاره الجاذبيّة.

الطّاقة العاتمة Dark Energy: شكل غير معروف من الطّاقة يبدو أنه يسبب تسارعًا في توسع الفضاء. ويعتقد أنه يترافق مع طاقة الفراغ التام.

الموت الحراريّ Heat Death: نموذج لنهاية الكون تنتشر فيه المادة والطّاقة كلاهما إلى نقطة الإنتروبي العظمى.

التمزق الأعظم Big Rip: نموذج لنهاية الكون تنمو فيه الطّاقة العاتمة بشكل قوي مع الزّمن مؤدية إلى تمزق المادة.

التّضخّم السّرمديّ Eternal Inflation: نموذج للكون؛ حيث لا يكون التّضخّم الكونيّ حدثًا زمنيًّا واحدًا، وإنما يتقدم باستمرار، مولّدًا عددًا غير محدود من الأكوان المرئية عقب ذلك.

أسئلة مراجعة

1.28 الانفجار الأعظم

1. هل الكون في الفضاء أم الفضاء في الكون؟
2. ما القيفاويات *Cepheids*؟
3. ما الذي يعتمد على المسافة: سطوع النّجوم أم ضوئيتها؟
4. وفق قانون هابل، ما العمر التقريبي للكون؟
5. وفق الخلفية الإشعاعية للكون، ما معدل حرارة الكون الآن؟

2.28 التّضخّم الكونيّ

6. وفق نظرية التّضخّم الكونيّ، كم استغرق الكون لزيادة حجمه بمعامل 3010؟
7. في أيّ نقطة تعادلت حرارة الكون؟
8. ما أثر التّضخّم في التذبذبات الكوانتومية التي وجدت في الكون المبكر؟
9. ماذا يحدث للانحناء الظّاهريّ لبالون لو نفخ حتى يعادل حجمه حجم الشّمس؟
10. كم بُعْدًا يوجد في الزمكان؟

3.28 النّسبيّة العامة

11. في أيّ سنة نشر أينشتاين نظريته العامة في النّسبيّة؟
12. هل يمكن تمييز مرجعية إطار متسارع عن الحقل الجاذبي؟
13. عندما تترك كرة حال وقوفك مقابل الأرضية في مركبة فضائية متسارعة، ماذا يحدث للكرة؟
14. بماذا تنبأت النّسبيّة العامة عن مدار عطارد؟
15. ماذا يحدث لإضاءة نجم عندما يمرّ قريبًا من الشّمس؟

4.28 المادة العاتمة

16. ما نوع المادة المرئية؟
17. إذا كنا غير قادرين على رؤية المادة العاتمة، فكيف نعرف وجودها؟
18. على الأغلب، أين توجد المادة العاتمة في المجرة: في داخلها أم في خارجها؟
19. كلما اقترب الكوكب من الشّمس زادت سرعة دورانه. فهل ينطبق هذا على أنه كلما اقترب نجم من مركز المجرة زادت سرعة دورانه أيضًا؟
20. غيمة ضخمة مكونة من مادة عادية وعاتمة مخلوطة بشكل منتظم. وبمرور الزّمن تتركز المادة العادية في مركز هذه الغيمة. لماذا؟

5.28 الطّاقة العاتمة

21. هل اعتقد أينشتاين في البداية أنّ الكون ساكن أم متحرك؟
22. ماذا كان ثابت أينشتاين الكونيّ؟
23. ماذا سمى أينشتاين "التخبط الأكبر في حياتي"؟
24. بناءً على الأدلة الحديثة، منذ متى بدأ تسارع التّوسّع في الكون؟
25. إلى أي شيء ترمز *WMAP*؟

6.28 مصير الكون

26. ماذا يشبه المكون الأكبر لكوننا؟
27. أيّهما أكثر: المادة العادية أم العاتمة؟
28. وفقًا لاحتمال الموت الحراريّ: كم تحتاج الثقوب السوداء في الكون لكي تتبخر؟
29. ماذا يتوقع احتمال التمزق الأعظم للطاقة العاتمة؟
30. ما الاحتمال الذي يفترض أنّ التّضخّم الكونيّ ليس حدثًا زمنيًّا ولمرة واحدة لمصير الكون؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● ما الفرق بين علم الكونيّات والمعالجة التجميلية؟
2. ● متى تولّد معظم الهيليوم في الكون؟
3. ● ما أثر توسّع الفضاء في ضوء يمرّ من خلاله؟
4. ● ما العلاقة بين الطّاقة العاتمة وثابت أينشتاين الكونيّ؟
5. ■ إذا حرّر شرطي المرور لك مخالفة سرعة بالرادار، وأخبرك أنّ سرعتك 45 ميل/ ساعة. فهل كنت حقيقة متجاوزًا السّرعة المقررة وفق رأيك أم أنّ الفضاء بينكما، وببساطة، يتمدد؟
6. ♦ هل الفضاء غياب للمادة؟
7. ● معدل حرارة الكون في الوقت الحاضر 2.73 كلفن. هل ستزيد هذه الحرارة في البليون سنة القادمة أم ستنقص؟
8. ■ تتحول المادة إلى طاقة والطّاقة إلى مادة بحسب معادلة أينشتاين $E= mc^2$. فإذا كانت كمية الكتلة والطّاقة ثابتة في الكون، فماذا يحدث لكمية الفضاء في الكون؟ وماذا يحدث لكثافة الكون؟
9. ● لو بقي الكون الأولي ساخنًا إلى فترة أطول من الزّمن، فهل ستكون هناك زيادة في الهيليوم أم نقص؟
10. ● لو لم يأتِ الهيليوم من الانفجار الأعظم، فمن أين يمكن أنّ تكون العناصر الأثقل قد أتت؟
11. ● لا توجد أيّ مجرة بعيدة تحتوي على أقلّ من 25% هيليوم. فإنّ لم يكن هذا الهيليوم قد أتى من النّجوم، فمن أين أتى إذن؟
12. ■ هل يستطيع الفلكيون توجيه مقاربهم إلى الجهة حيث حدث الانفجار الأعظم؟
13. ♦ يتفرقع بالون من الهيليوم هنا على سطح الأرض محررًا البقايا المباشرة للانفجار الأعظم. هل هذا صحيح أم خطأ؟ فسّر.
14. ● لو كنا مكوّنين من غبار نجميّ، فممّ تتكون النّجوم؟
15. ♦ يخبرنا الفلكيون أنّ معدل حرارة الكون متجانسة= 2.73 0.0001 كلفن. فكيف يكون ذلك ونحن نعلم أنّ حرارة النّجوم عالية جدًّا؟
16. ● ما الخطوط الثلاثة الدالة على دعم فكرة الانفجار الكونيّ؟
17. ■ إن كان هناك تناظر في الخلفية الإشعاعية الكونيّة مثل نظام التذبذب الحراريّ في اتجاه واحد، فهل يرى هذا النّظام نفسه في الاتجاه المقابل تمامًا؟ ماذا يمكن أنّ تستنتج عن انحناء الكون؟
18. ● ما الذي يسبب الوزن: الجاذبيّة أم التسارع؟
19. ● إن لم تكن الجاذبيّة قوة فماذا تكون إذن؟
20. ● عند جلوسك في طائرة نفاثة وهي تتسارع على المدرج للإقلاع وتنقر كرة من التنس أمامك أعلى وأسفل، لماذا يصعب عليك الإمساك بالكرة؟
21. ● عندما تنقر كرة من التنس أمامك أعلى وأسفل وأنت في طائرة نفاثة تطير بسرعة ثابتة 500 ميل/ ساعة. فلماذا يكون من السهل الإمساك بالكرة رغم حقيقة أنّ الطائرة تطير بسرعة؟
22. ■ لو كنت تطفو بحرية في مركبة فضائية وبحركة منتظمة عميقًا في الفضاء الخارجي. وكانت هناك كرة تحوم أمامك، وفجأة أخذت الكرة تتحرك على الأرضية. فما الذي حدث للمركبة؟ وما الذي سيحدث معك؟
23. ♦ أين تسير الساعة بسرعة أبطأ؛ في النهاية الأمامية للمركبة الفضائية المتسارعة أم في النهاية الخلفية؟
24. ■ بعد عدة بلايين من السنين مستقبلًا، سينمو حجم شمسنا لتصبح عملاقًا أحمر؛ حيث سيتمدد سطحها حتى يصل إلى مدار الأرض الحالي. بعد حدوث ذلك، هل إبطاء الزّمن سيكون أكثر على سطح الشّمس مما هو عليه الآن أم أقلّ؟
25. ♦ يزود رائد الفضاء بالجاذبيّة عندما تفعّل آلات المركبة الفضائية من أجل أنّ تتسارع. وهذا يتطلب استخدام الوقود. فهل هناك طريقة لزياد التسارع والتزويد بالجاذبيّة دون استخدام الوقود المستدام؟ فسر (اعتمد على الملحق ب).
26. ● في ظل ظروف غاية في الحساسية، هل لإنسان قلق على كبر سنه أن يسكن في أعلى بناية عالية من الشقق أم في أسفلها؟
27. ■ في ظل ظروف غاية في الحساسية، هل لإنسان يحب أنّ يعيش حياة طويلة أن يسكن في أعلى بناية عالية من الشقق أم في أسفلها؟
28. ■ في ظل ظروف غاية في الحساسية، لو أضأت حزمة ملونة من الضّوء لصديق في برج عال، فهل الضّوء الذي استقبله صديقك هو اللون نفسه الذي أرسلته؟ فسّر
29. ♦ لماذا يختلف الانكماش الجذبي بين الشّمس وعطارد؟
30. ● متى تتحرك الساعات أبطأ ما يمكن على عطارد؟
31. ● ماذا يمكن أن تفترض عن توزيع المادة العاتمة لو كانت كواكب نظامنا الشّمسيّ كلها تدور حول الشّمس بالسرعة نفسها؟
32. ● لقد طوّر الفلكيون الأوائل مثل كبلر ونيوتن قوانين الجاذبيّة بناء على حركة الكواكب حول الشّمس. فكيف يمكن أن تختلف هذه القوانين لو كان نظامنا الشّمسيّ محاطًا بهالة سميكة من المادة العاتمة؟
33. ● ما القوة التي تسمح للمادة العاتمة بالتكتل؟
34. ■ إن كانت المادة العاتمة تتأثر بالجاذبيّة، فهل يمكن أنّ يوجد الكثير منها محيطًا بنا هنا على سطح الأرض؟
35. ● ما العلاقة بين المادة العاتمة والطّاقة العاتمة؟
36. ♦ لماذا لا تسمّى الطّاقةُ العاتمةُ القوةَ العاتمةَ؟
37. ■ ما الذي يحفظ المجرة من الانهيار على نفسها؛ المادة العاتمة أم الطّاقة العاتمة؟
38. ■ لو كان الكون غير متغير وكان هناك عدد غير محدود من النّجوم، فما الأثر الذي يحدث للظلام في سماء ليل صافية؟
39. ■ لما كان هنالك هذا العدد من النّجوم في المجرات، فَلِمَ نشاهد هذه الظلمة الشديدة في سماء ليل صافية؟
40. ♦ إذا كنا لا نستطيع التنبؤ حتى بالطقس، فكيف نستطيع التنبؤ بمصير الكون إذن؟

أنشطة استكشافية

كونك الداخلي

أوجد لنفسك مكانًا هادئًا ومريحًا لتجلس دون مقاطعة. ضع يديك على رجليك واجعل ظهرك مستقيمًا. تخيّل أنّ حبلا مربوطًا بقمة رأسك سيرفعك إلى الأعلى. حدّق في الأرض لبضعة أقدام أمامك. أرخ فكّيْك بحيث تبقى شفتاك مفتوحتين قليلا. وعند شعورك بالاسترخاء، ركّز على زفير نَفَسِكَ. وببساطة لاحظ أنّ زفيرك وكأنه يغادر جسمك ويتشتّت في محيطك. وعندما تجد نفسك مشغولًا بفكرة ما، صف الفكرة ودعها تنطلق بعيدًا. حينها، ستتوارد الأفكار الجديدة في عقلك. ولكن، عد بانتباهك إلى زفيرك. حاول ذلك مدة عشر دقائق على الأقل. حافظ على بساطة تجاربك العادية دون تردّد. باستخدام هذا الفن، قد تصل إلى نقطة تمكنك من تمييز مجرد وجودك من أفكارك المنطقية.

الجودة الأساسية

إذا نفّذت النشاط السابق، فستكتشف أن ليس من السهل أن تجد نفسك وسط أفكارك العديدة. وعلى الرّغم من ذلك، اعتبر أنها تستحق المحاولة، وأنها عادة صحية؛ حيث تصل إلى معرفة نفسك في وضع كهذا. وبمجرد شعورك بالراحة في تنفسك، تستطيع أنّ تجرب استقبال أفكار معينة والتي ستصبح ضمن اهتمامك وتفكيرك في الوقت الذي يتراجع فيه تنفسك إلى ما كان عليه. إنّ أحد الأفكار التي بإمكانك البدء بها هو فكرة مجرد وجودك ومجرد الوجود لكل حس يشرق بالحكمة التي يجب أن نسميها الجودةَ الأساسية. ووراء المظاهر الخادعة كلّها، وبغض النظر عن محاسنها، هناك جودة أساسية في كلّ إنسان. حاول تجربتها لمدة عشر دقائق على الأقلّ.

كونك الخارجي

بعد أن حصلت على التأمل والتفكر في الجودة الأساسية بأفكار واضحة مناسبة، هناك أفكار أخرى غير محدودة تستحق التأمل والتفكر. ففي سياق الكلام في هذا الفصل، حاول التفكر في حجم الكون المطلق. تصور نفسك على كرسيك، ثم وسع تفكيرك لترى نفسك في الغرفة، ثم في العمارة، ومن ثَمَّ في الكون. وسع الصّورة تدريجيًّا لتختبر كلّ مرحلة. ثم وسّع حتى ترى النظام الشّمسيّ كله يدور مع المجرة حول المجرات المجاورة فيما فوق العنقود والمكون من بلايين فوق العناقيد. وبعد تصوّر هذا كلّه، ركّز على حاسة الضخامة، وعندما تفقد الإحساس، توقف بحركة بطيئة أو سريعة بما يريحك.

اختبار الاستعداد للقراءة :

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة. وإنْ لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة

اختر أفضل إجابة لكلّ مما يلي:

1. واحد مما يلي دليل غير مقبول للانفجار الأعظم:
أ. الخلفية الإشعاعية للكون.
ب. تجانس حرارة الكون.
ج. وفرة الهيليوم.
د. الطّاقة العاتمة.

2. لو توقف الكون عن التّوسّع في هذه اللحظة فإنّ الانزياح الكونيّ نحو الأحمر للمجرات البعيدة:
أ. يختفي فورًا.
ب. يتحول تدريجيًّا إلى الانزياح الكونيّ نحو الأزرق.
ج. يتوقف ازدياد الانزياح نحو الأحمر عما هو عليه الآن.
د. لا يؤثر؛ لأنّ التوقف المفاجئ للتوسع سيخرج المجرات والكواكب جميعها من مداراتها. ولن نكون حينها موجودين للتحدث عن ذلك.

3. ما نسبة المجرات التي تولّدت في أثناء التّضخّم الكونيّ؟
أ. 100%
ب. نحو 70%
ج. نحو 24%
د. 0%

4. المشترك بين التّضخّم الكونيّ والطّاقة العاتمة عمومًا هو:
أ. كلاهما مسؤول عن توسّع الكون.
ب. كلاهما لا زال يحدث حتى الآن.
ج. كلاهما ظهر من الفراغات الواسعة للفضاء ما بين فوق العناقيد.
د. لا شيء.

5. ينحنى الضّوء في الحقل الجاذبي. ومع ذلك لا يأخذه المساحون في الحسبان وهم يستخدمون حزم الليزر كخطوط مستقيمة بسبب:
أ. انحناء الضّوء في الفضاء الخارجي فقط.
ب. عدم انحناء الضّوء الأحمر إلى هذا الحد. لذا فإنهم يستخدمون الليزر الأحمر.
ج. استثناء ضوء الليزر من هذه القاعدة.
د. انتقال الضّوء بسرعة بحيث لا يلاحظ هذا الانحناء.

6. يتباطأ الزّمن في الحقل الجاذبي. فهل يتباطأ الزّمن في الجاذبيّة الصناعية الناتجة في موطن فضائي دوار؟
أ. لا؛ لعدم وجود تسارع.
ب. نعم؛ بسبب مبدأ التكافؤ.
ج. لا؛ لأنّ المحطة الفضائية تدور بسرعة ثابتة.
د. نعم، حتى لو كانت الجاذبيّة صناعية.

7. هل هناك احتمال مبدئي لفوتون أن يدور حول نجم؟
أ. نعم، إذا كان الفوتون يتحرك بسرعة الضّوء.
ب. نعم، إذا كانت كثافة كتلة النّجم ضخمة بما فيه الكفاية لجعله ثقبًا أسود.
ج. لا؛ لأنّ الفوتون يسير دائمًا بمسارات مستقيمة.
د. لا؛ لأنّ النّجوم بحدّ ذاتها تنتج عددًا غير محدود من الفوتونات.
8. المادة العاتمة هي:
أ. مادة عادية أصبحت لا تصدر أيّ ضوء.
ب. تفسد مدارات كواكبنا.
ج. تنجذب نحو المادة العادية.
د. تتنافر مع المادة العادية.
9. الفضاء في كوننا المحلي:
أ. ليس فارغًا.
ب. مملوء جدًّا بالطّاقة.
ج. ليس مفهومًا جيدًا.
د. كل ما ذكر.
10. النظرية التي عن مصير الكون تفترض أنّ الطّاقة العاتمة ستنمو بشكل أقوى هي:
أ. الموت الحراريّ.
ب. التمزق الأعظم
ج. التّضخّم السّرمديّ.
د. كل ما ذكر.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة :

١. د، ٢. ج، ٣. ب، ٤. أ، ٥. د، ٦. ب، ٧. ج، ٨. د، ٩. ب، ١٠. ب

اكتشف المزيد

http://mag.gsfc.nasa.gov
هذا الموقع هو الصفحة الرئيسة لناسا حول مجلس ويلكنسون لتباين خواص الميكروويف (WMAD) والذي قاس اشعاع الخلفية الكونية بقدر كبير من التفصيل (ولم يتم تجاوزه سوى من قبل مجلس بلانك عام 2008) يتضمن صوراً وشورحات حول اساسيات علم الكون. تأكد من النظر على الكون والذي سينقلك إلى علم الكونيات 101 – وهي بداية لمناقشات كثيرة حول المواضيع التي ناقشناها في هذا الفصل وغيرها الكثير.

http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_inflation
يوفر موقع ويكيبيديا نظرة شاملة عن توسع الكون، إضافة الى العديد من الروابط التشعبية الأخرى.

http://www.pbs.org/wgbh/nova/einstein/relativity
كتب هذا الوصف لانيشتاين ونظريته النسبية من قبل الفيزيائي المشهور آلن لايثمن.

http://en.wikipedia.org/wiki/Modified_Newtonian_dynamics http://www.astro.umd./_ssm/mond
قم بزيارة مواقع الشبكة هذه للحصول على المزيد من المعلومات حول نموذج ديناميات نيوتن المعدل (MOND) المعروض ضمن هذا الفصل الذي يوجد بالقرب من مناقشة المادة المعتمة في الفصل *28.4*.

http://pauli.physics.lsa.umich.edu/w/arch/som/sto2001/Guth/real/n001.htm
شاهد آلن جوث يقدم حلقة دراسية حول الأفكار الأساسية لتضخم الكون والتضخم الابدي. تظهر حلقته الدراسية تقنية كثيراً وخاصة خلال النصف الثامن من الحلقة. ولكن بعد دراسة هذا الفصل، يجب أن تكونت قادراً على تعرف الكثير من تلك الأفكار.

http://space.mit.edu/home/tegmark/multiverse.html
هذه هي الصفحة الرئيسة ل ماكس يتجمارك وهو بروفسور في معهد ماساتشوستس للتقنية (MIT) وهو منخفض في أفكار وجود أكوان موازنة والتي يصفنها عند اربع مستويات مختلفة.

الفصل 28 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية
- 28.1

دروس تعليمية
- قانون هابل
- مصير الكون

أشرطة فيديو
- من الانفجار العظيم وحتى المجرات

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط

ملحق أ
القياس وتحويل الوحدات

هناك نظامان رئيسان للقياس في العالم اليوم هما: *نظام الولايات المتحدة* (USCS) المعروف سابقًا بالنظام البريطاني للوحدات، وهو المستخدم في الولايات المتحدة الأمريكية وفي بورما، و*النظام العالمي* (SI) (وهو النظام العالمي أو المتري)، المستخدم في أنحاء العالم كلّه. ولكل نظام مقاييسه للطول، والكتلة، والزمن، والتي تسمى أحيانًا *الوحدات الأساسية*؛ لأنه عندما يتم تحديدها، يمكن قياس الكميات الأخرى بدلالاتها.

النظام المعروف في الولايات المتحدة

هذا النظام مبني على النظام الإمبريالي البريطاني، وهو نظام *USCS* المألوف للجميع في الولايات المتحدة. يستخدم هذا النظام القدم وحدةً للطول، والباوند وحدةً للوزن أو القوة، والثانية وحدةً للزمن. حاليًّا، تم إحلال النظام العالمي مكان الـ USCS – بسرعة في العلوم والتكنولوجيا (جميع عقود وزارة الدفاع الأميركية عام 1988) وبعض الرياضات (المسارات والسباحة). ولكن هذا الإحلال يسير ببطء في بعض المناطق الأخرى. ويبدو أن التغيير لن يحدث أبدًا في بعض التخصصات. مثلًا، سنستمر في شراء مقاعد عند خط الخمسين ياردة، وستظلّ أفلام التصوير بالملمتر، وأقراص الحاسوب بوحدة البوصة.

لقياس الزمن، ليس هناك فرق بين النظامين ما عدا نظام SI. الوحدة الوحيدة للزمن هي الثانية (S، وليس Sec.) ولكن عمومًا، تقبل الدقيقة، والساعة، والسنة، إلى آخره، باختصارين إضافيين أو أكثر (h، وليس hr).

النظام العالمي

في أثناء المؤتمر الدولي عن الأوزان والمقاييس الذي عقد في باريس عام 1960م، عُرفت وحدات النظام الدولي وأعطيت شرعية. يبين الجدول أ.1 وحدات *SI* على أساس *النظام المتري* الذي تم إيجاده من العلماء الفرنسيين بعد الثورة الفرنسية في عام 1791م. إن ترتيب هذا النظام يجعله مفيدًا في الأعمال العلمية، ويستخدم من قبل العلماء في جميع أنحاء العالم. ينقسم النظام المتري إلى نظامين من الوحدات. في أحدهما، تكون وحدة الطول المتر، ووحدة الكتلة الكيلوجرام، ووحدة الزمن الثانية. يسمى هذا النظام *متر – كيلوجرام – ثانية* نظام *(mks)* ويفضل في الفيزياء. أمّا النظام الآخر فهو سنتمتر – جرام – ثانية. إنّ نظام *(cgs)* مفضل في الكيمياء بسبب قِيَمه الصغيرة. ترتبط وحدات *cgs* و*mks* معًا كما يلي: 100 سنتمتر تساوي 1 متر، 1000 جرام يساوي 1 كيلوجرام. ويبين الجدول أ.2 العديد من وحدات الطول مرتبطة معًا.

الجدول أ.1 وحدات SI

الكمية	الوحدة	الرمز
الطول	المتر	m
الكتلة	الكيلوجرام	kg
الزمن	الثانية	s
القوة	النيوتن	N
الطاقة	الجول	J
التيار	الأمبير	A
درجة الحرارة	الكلفن	K

الجدول أ-2 جدول التحويلات المختلفة بين الوحدات المختلفة للطول

وحدة الطول	الكيلومتر	المتر	السنتمتر	البوصة	القدم	الميل
1 كيلومتر	=1	1000	100,000	39,370	3280.84	0.62140
1 متر	=0.001	1	100	39.37	3.28084	$10^{-4} \times 6.21$
1 سنتمتر	$= 1.0 \times 10^{-5}$	0.01	1	0.3937	0.032808	$10^{-6} \times 6.21$
1 بوصة	$= 2.54 \times 10^{-5}$	0.0254	2.54	1	0.0333	$10^{-5} \times 1.58$
1 قدم	$= 3.05 \times 10^{-4}$	0.3048	30.48	12	1	$10^{-4} \times 1.89$
1 ميل	= 1.60934	1609.34	160,934	63,36	5280	1

الجدول أ.3 بعض الرموز القبلية

الرمز	التعريف
ميكرو-	جزء من مليون: ميكروثانية واحدة من مليون من الثانية.
مل-	جزء من ألف: ملجرام جزء من ألف من الجرام.
سنت-	جزء من مئة: السنتمتر جزء من مئة من المتر.
كيلو-	ألف: الكيلوجرام هو 1000 جرام.
ميجا-	مليون: الميجاهرتز هي 1 مليون هرتز.

إنّ إحدى المزايا الرئيسة للنظام المتري هي استخدامه للنظام العشري، حيث ترتبط الوحدات جميعها مع الوحدات الأصغر أو الأكبر بالقسمة أو الضرب في 10. يبين الجدول أ.3 الرموز القبلية المألوفة المستخدمة لبيان العلاقة بين الوحدات.

المتر

المتر مقياس الطول في النظام المتري، عرف ابتداءً بدلالة المسافة من القطب الشمالي إلى خط الاستواء. لقد قدرت المسافة في ذلك الزمن بنحو 10,000 كيلومتر تقريبًا؛ أي جزء من عشرة ملايين جزء منها. وقد حُدِّد المتر بدقة، وعُلِّم بدلالة حزوز على قضيب من سبيكة البلاتين – الإيريديوم. وقد حُفظ هذا القضيب في المكتب الدولي للأوزان والمقاييس في فرنسا. وقد تمت معايرة المتر منذ ذلك الوقت بدلالة طول موجة الضوء – وهو 1,650,763,73 مضروبًا في طول موجة الضوء البرتقالي المنبعث من ذرات الكربتون – 86. يعرف المتر الآن، على أنه طول المسار الذي يقطعه الضوء في الفراغ خلال فترة زمنية مقدارها 1/299,792,458 من الثانية.

الكيلوجرام

وحدة قياس الكتلة، الكيلوجرام، قطعة من سبيكة البلاتين – الإيريدوم، محفوظة في المكتب الدولي للأوزان والمقاييس الموجود في فرنسا *(الشكل أ.1)*. يساوي الكيلوجرام 1000 جرام. الجرام هو كتلة 1 سنتمتر مكعب من الماء عند درجة حرارة 4°س. *(يعرف الباوند القياسي بدلالة الكيلوجرام القياسي، فكتلة الجسم الذي وزنه 1 باوند تساوي 0.4536 كيلوجرام.)*

الشّكل أ.1
الكيلوجرام المعياري (القياسي).

الثانية

إنّ وحدة القياس الرسمية للزمن في كلا النظامين USCS وSI هي الثانية. وقد كانت حتى عام 1956 تعرف بدلالة معدل اليوم الشمسي الذي قسم إلى 24 ساعة. وقسمت كل ساعة إلى 60 دقيقة. وقسمت كلّ دقيقة إلى 60 ثانية. وهكذا، يوجد 86,400 ثانية في كل يوم. وتعرف الثانية بأنها 1/86,400 من معدل اليوم الشمسي.
لقد أثبت أن هذا غير كافٍ لأنّ معدل دوران الأرض يصبح أيضًا تدريجيًّا. في عام 1956م، تم اختيار معدل اليوم الشمسي لعام 1900م كمعيار لقياس الثانية. وفي عام 1964م، عرفت الثانية رسميّا على أنها الزمن الذي تستغرقه ذرة السيزيوم – 133 لعمل 9,192,631,770 اهتزاز.

النيوتن

النيوتن الواحد هو القوة اللازمة لتسريع كيلوجرام بمقدار 1 متر لكل ثانية. وقد سميت هذه الوحدة بهذا الاسم تكريمًا للسيد إسحق نيوتن (Isaac Newton).

الجول

يساوي الجول الواحد كمية الشغل المبذول من قوة مقدارها 1 نيوتن تؤثر لمسافة مقدارها 1 متر. اعتمد الجول في عام 1948م من المؤتمر الدولي للأوزان والمقاييس كوحدة للطاقة. وهكذا، فإن الحرارة النوعية للماء عند درجة حرارة 15°س تعطى الآن بـ 4185.5 جول لكل كيلوجرام.درجة سيليزية. يرتبط هذا الرقم دائمًا بالمكافئ الميكانيكي للحرارة – 4.1855 جول لكل سعر.

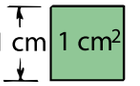
الأمبير

يعرف الأمبير على أنه شدة التيار الكهربائي الثابت، الذي إذا مر في موصلين متوازيين لا نهائيين في الطول مع إهمال مساحة المقطع موضوعين على بعد متر واحد أحدهما من الآخر في الفراغ، فستنتج قوة بينهما تساوي
2×10^{-7} نيوتن لكل متر من الطول. وفي معالجتنا للتيار الكهربائي في هذا المقرر، استخدمنا التعريف غير الرسمي، ولكنه سهل الاستيعاب، على أنّه معدل انسياب 1 كولوم من الشحنة لكل ثانية، حيث 1 كولوم من الشحنة يساوي 6.25×10^{18} إلكترون.

الكلفن

سميت الوحدة الأساسية لدرجة الحرارة بهذا الاسم تكريمًا للعالِم وليام تومسون *William Thomson* اللورد كلفن Kelvin. يعرف الكلفن على أنه 1/273.15من درجة حرارة الديناميكا الحرارية للنقطة الثلاثية للماء *(النقطة الثابتة التي يوجد عندها كلّ من الجليد، والماء السائل، وبخار الماء في حالة اتزان)*. واعتمد هذا التعريف في عام 1968م عندما قرر تغيير اسم درجة كلفن *(°K)* إلى *(K)*. إنّ درجة انصهار الجليد عند ضغط جوي واحد هي 273.15 *كلفن*. وأنّ درجة الحرارة التي يكون عندها ضغط بخار الماء مساويًا لضغط جوي معياري هي 373.15 *كلفن (*درجة حرارة غليان الماء عند ضغط جوي معياري*)*.

المساحة

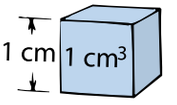


الشّكل أ.2
وحدة تربيع.

وحدة المساحة هي مربع وحدة قياس الطول كضلع. في *USCS*، إنها المربع الذي طول ضلعه 1 قدم، يسمى قدمًا مربعًا ويكتب *(قدم)*^{2}. في النظام العالمي، إنه المربع الذي طول ضلعه 1 متر، والذي يصنع مساحة 1م^2. وفي نظام *cgs* هو 1سم^2. إنّ مساحة سطح معين هي عدد الأقدام المربعة، الأمتار المربعة، السنتمترات المربعة التي يستطيع استيعابها. مساحة المستطيل تساوي طول القاعدة × الارتفاع.

وتساوي مساحة الدائرة $p\ r^2$ ؛ حيث $p = 3.14$ وr نصف قطر الدائرة. أمّا صيغ مساحات السطوح للأشكال الهندسية الأخرى فتوجد في مقررات الهندسة.

الحجم



الشّكل أ.3
وحدة حجم.

يشير حجم الجسم إلى الفضاء الذي يحتله. وحدة الحجم هي الفضاء الذي يشغله مكعب طول ضلعه وحدة طول. في نظام *USCS*، وحدة الحجم هي الفضاء الذي يحتله مكعب طول ضلعه قدم واحدة ويسمى قدمًا مكعبة، ويكتب 1 *(قدم)*^{3}. وفي النظام المتري، إنه الفضاء الذي يحتله مكعب طول كل من جوانبه 1 متر *(SI)* أو 1 سنتمتر *(cgs)*. ويكتب 1م^3 أو سم^3. لذا، يحدد حجم فضاء معين بعدد الأقدام المكعبة، أو الأمتار المكعبة، أو بعدد السنتمترات المكعبة التي يستطيع استيعابها.

في نظام *USCS*، تقاس الأحجام بالكوارتات، أو الجالونات، أو البوصات المكعبة، وأيضًا بالقدم المكعب. هناك 1728 *(12 × 12 × 12)* بوصة مكعبة في 1 قدم مكعبة. يبلغ حجم الجالون في الولايات المتحدة 231 إنشا مكعبا. ويساوي الجالون الواحد 4 كوارتات. في نظام *SI* تقاس الأحجام أيضًا باللترات؛ فاللتر الواحد يساوي 1000 سم^3.

تحويل الوحدات

في العلوم غالبًا، وخصوصًا في التجهيز المختبري، من الضروري التحويل من وحدة إلى أخرى. ولعمل هذا، تحتاج فقط إلى ضرب الكمية المعطاة في *معامل التحويل* المناسب.

يمكن كتابة معاملات التحويل جميعها كنسب، بحيث يمثل البسط والمقام الكمية المكافئة معبرًا عنها بوحدات مختلفة. ولأنّ قسمة أي كمية على نفسها تساوي 1، فإنّ معاملات التحويل جميعها تساوي 1. مثلًا، العاملان التاليان تم اشتقاقهما من العلاقة:

100 سنتمتر = 1 متر:

$$100 \text{ سنتمتر} / 1 \text{م} = 1 = 1 \text{ م} / 100 \text{ سنتمتر} = 1$$

ولأنَّ جميع معاملات التحويل تساوي 1، فإن ضرب الكمية في معامل التحويل لا يغير قيمة تلك الكمية. إنّ ما يتغير هو الوحدات فقط. افترض أنك قست طول شيء معين ووجدته 60 سنتمترا. يمكنك تحويل هذا القياس إلى أمتار بضربه في معامل التحويل الذي يسمح لك باختزال السنتمترات.

مثال

حوّل 60 سنتمترًا إلى أمتار.

الجواب

$$60 \text{ سنتمترًا} \times \frac{1 \text{ متر}}{100 \text{ سنتمتر}} = 0.6 \text{ متر}$$

الكمية بالسنتمتر — معامل التحويل — الكمية بالأمتار

ولاشتقاق معامل التحويل، عد إلى جدول يمثل تكافؤ الوحدات مثل الجدول أ.2، أو في غلاف هذا الكتاب، ثم اضرب الكمية المعطاة في معامل التحويل، وهكذا تحول الوحدات. احرص دائمًا على كتابة الوحدات. إنها الدليل المهم؛ فهي التي تخبرك أين تذهب الأرقام، وكذلك تخبرك عما إذا كنت كتبت المعادلة بشكل مناسب.

اختبر نفسك

اضرب كل كمية فيزيائية في معامل التحويل المناسب لإيجاد القيمة الرقمية بالوحدة الجديدة المشار إليها. ستحتاج إلى ورقة، وقلم، وحاسبة، وجدول مكافئات الوحدة.

أ. 7320 جرامًا إلى كيلوجرامات.

ب. 235 كيلوجرامًا إلى باوندات.

جـ. 2.61 ميل إلى كيلومترات.

د. 100 سعر إلى كيلوسعرات.

هل كانت هذه إجابتك؟

أ. 7.32 كجم.

ب. 518 باوندًا.

جـ. 4.2 كم.

د. 0.1 كيلوسعر.

ملحق ب

الحركة الخطّيّة والدّورانيّة

عندما نصف حركة شيء ما، فإننا نصف كيفية حركته بالنسبة إلى شيء آخر (الفصل الأول)؛ أي أنّ الحركة تتطلب محور إسناد (مراقب، نقطة الأصل والمحاور). ونستطيع اختيار موقع هذا الإسناد على أن يكون متحركًا بالنسبة إلى إسناد آخر. عندما يكون محور حركة غير متسارع، يقال إنه *محور قصوري*. في إطار الإسناد القصوري، تتسبب القوة في تسريع الجسم وفق قوانين نيوتن. وعندما يتسارع محور الإسناد، نلاحظ قوى وحركات افتراضية غير حقيقية. مثلًا، تختلف ملاحظتنا عن حركة الفرسان الخاصة في العروض عندما يدورون عن ملاحظتنا عندما يكونون ساكنين. إذن، يعتمد وصفنا للحركة والقوة على "وجهة نظرنا".

لقد ميَّزنا بين *السرعة* و*السرعة المتجهة* في الفصل الأول. وأشرنا إلى أنّ السرعة هي سرعة تحرك الأشياء، أو المعدل الزمني لتغير الموقع ما عدا الاتجاه، وهي كمية قياسية. أمّا السرعة المتجهة فتتضمن اتجاه الحركة، وهي كمية متجهة، ومقدارها هو السرعة. إنّ الأجسام المتحركة بسرعة متجهة ثابتة تقطع مسافات متساوية خلال أزمنة متساوية في الاتجاه نفسه.

وهناك فرق آخر بين السرعة والسرعة المتجهة وهو ما يتعلق بالاختلاف بين المسافة ومحصلة المسافة أو *الإزاحة*. السرعة هي *المسافة لكل فترة زمنية*، في حين أنّ السرعة المتجهة هي الإزاحة لكل فترة زمنية. وتختلف الإزاحة عن المسافة؛ فمثلًا، المسافر الذي ينتقل 10 كم إلى مكان عمله يقطع مسافة 20 كم، ولكنه لم يذهب إلى "أي مكان". إنّ المسافة المقطوعة هي 20 كم، ولكن الإزاحة صفر. ومع أنّ السرعة اللحظية والسرعة اللحظية المتجهة متساويتان في القيمة عند اللحظة نفسها، ولكنهما قد تختلفان في معدّل السرعة بينهما بشكل كبير. فمعدل السرعة لهذا المسافر 20 كم مقسوم على مجموع زمن المسافر؛ مقدار أكبر من صفر. ولكن معدّل السرعة المتجهة صفر. في العلوم، غالبًا ما تكون الإزاحة أهم من المسافة. (لتجنب كثرة المعلومات، لم نعالج الفرق في هذا المقرر).

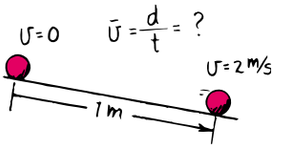
إنّ التسارع هو معدل تغير السرعة المتجهة. ومن الممكن أن يكون هذا التغير في السرعة فقط، أو في الاتجاه فقط، أو في كليهما. وعادة، يسمى التسارع السالب *تباطؤًا*.

في المكان والزمان النيوتوني، للمكان ثلاثة أبعاد هي الطول والعرض والارتفاع. ولكل بعد اتجاهان. يمكننا أن نتحرك أو نتوقف أو نرجع من أي منهما. أما الزمن فله بعد واحد، في اتجاهين هما الماضي والمستقبل، وفيهما لا يمكننا التوقف أو العودة، بل يمكننا التقدم فقط. وفي "الفضاء – الزمان" (الزمكان) أينشتاين، تتوحد هذه الأبعاد الأربعة (ملحق هـ).

حساب السرعة المتجهة والمسافة المقطوعة على مستوى مائل

تذكر من الفصل الأول تجربة جاليليو مع السطوح المائلة. سندرس مستوى مائلًا بحيث تزداد سرعة الكرة المتدحرجة بمعدل 2 م/ث كل ثانية – تسارع 2 م/ث^2. بحيث إنه في اللحظة التي بدأت الحركة كانت سرعتها المتجهة صفرًا، وبعد ثانية واحدة تتدحرج بـ 2 م/ث، وعند نهاية الثانية الثانية تصبح السرعة 4 م/ث، وفي نهاية الثانية التالية تصبح 6 م/ث وهكذا. وتكون سرعة الكرة عند أيّ لحظة، ببساطة، السرعة المتجهة = التسارع × الزمن. أو بالرموز المختصرة $V = at$. (عادة تهمل إشارة الضرب، ×، عند التعبير عن العلاقة بصيغة رياضية. وعند كتابة رمزين معًا، مثل at في هذه الحالة، فهذا يعني أنهما مضروبان في أحدهما في الآخر).

ب-2 ملحق ب

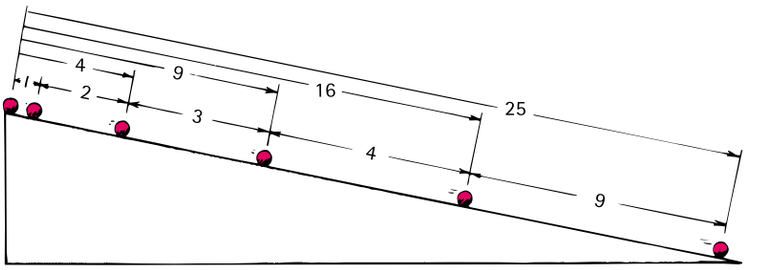


الشّكل ب.1

تتدحرج الكرة 1 متر أسفل المستوى المائل في 1 ثانية، وتصل إلى سرعة 2 م/ث. ولكن معدل السرعة 1 م/ث. فهل ترى السبب؟

إنّ سرعة تدحرج الكرة شيء، والمسافة المقطوعة شيء آخر. ولفهم العلاقة بين التسارع والمسافة المقطوعة، علينا معرفة العلاقة بين السرعة المتجهة اللحظية ومعدل *السرعة المتجهة*. إذا بدأت الكرة المبينة في الشكل ب.1، الحركة من السكون، فإنها تتدحرج مسافة متر واحد في الثانية الأولى. ما معدل سرعتها؟ الجواب هو 1 م/ث (لقد قطعت مسافة 1م في فترة زمنية 1 ثانية). ولكننا رأينا أنّ السرعة اللحظية في نهاية الثانية الأولى 2 م/ث. وبما أنّ التسارع منتظم، فإنّ المعدل في أي فترة زمنية يوجد بالطريقة نفسها التي يوجد فيها معدل أي رقمين: اجمع الرقمين واقسم على 2، للحصول على 1 م/ث لمعدل السرعة.

نرى أن المسافة المقطوعة في كل ثانية تالية هي أطول على المستوى ثابت الميل، كما في الشكل ب.2. لاحظ أن المسافة المقطوعة في الفترة الزمنية الثانية 3 أمتار. وهذا لأن معدل سرعة الكرة في هذه الفترة هو 3 م/ث. في الفترة الزمنية التالية، يكون معدل السرعة 5 م/ث. وعليه، تكون المسافة المقطوعة 5م. من المدهش ملاحظة أن الزيادات المتتالية للمسافة هي على هيئة متتالية للأعداد الفردية؛ حقًّا، القواعدُ الرياضيةُ تحكم الطبيعةَ!



الشّكل ب.2

إذا قطعت الكرة مسافة 1م خلال الثانية الأولى، ثم في كل ثانية تالية ستقطع متتالية من الأعداد الفردية 3، 5، 7، 9 م، وهكذا. فسنلاحظ أن المسافة الكلية المقطوعة تزداد مع مربع مجموع الزمن.

ادرس الشكل ب.2 بتمعن، ولاحظ أن مجموع المسافة المقطوعة عندما تتسارع الكرة أسفل المستوى. تتغير المسافة من 0 إلى 1 متر في ثانية واحدة، ومن 0 إلى 4 أمتار في ثانيتين، ومن 0 إلى 9 أمتار في 3 ثوان، ومن 0 إلى 16 مترًا في 4 ثوان، وهكذا في الثواني التالية. المتتالية لمجموع المسافات المقطوعة مع مربع الزمن. وسندرس العلاقة بين المسافة المقطوعة ومربع الزمن لتسارع ثابت بالتفصيل في حالة السقوط الحر.

■ **اختبر نفسك**

خلال الفترة الزمنية الثانية، تبدأ الكرة بسرعة 2 م/ث وتنتهي بـ 4 م/ث. ما معدل السرعة للكرة خلال هذه الفترة 1ث؟ وما تسارعها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

معدل السرعة = السرعة [الابتدائية + النهائية] ÷ 2 = (2م/ث + 4 م/ث) ÷ 2 = 3 م/ث.
التسارع = التغير في السرعة / الفترة الزمنية = (4 م/ث – 2 م/ث) ÷ 1 ث = 2 م/ث ÷ 1 ث = 2 م/ث^2.

■ حساب المسافة عند تسارع ثابت

كم يقطع الجسم الساقط من السكون في فترة زمنية معينة؟ للإجابة عن هذا السؤال، دعنا ندرس الحالة التي يسقط بها جسم لثلاث ثوانٍ، ابتداءً من السكون. بإهمال مقاومة الهواء، يكون تسارع الجسم ثابتًا، ويساوي نحو 10م لكل ثانية في الثانية (في الواقع أقرب إلى 9.8 م/ث^2. ولكننا نريد تسهيل العمليات الحسابية).

الحركة الخطية والدورانية ب-3

السرعة عند البداية = 0 م/ث

السرعة عند نهاية الثانية الثالثة= (10 × 3) م/ث

معدل السرعة = $\frac{1}{2}$ (مجموع هاتين السرعتين)

= $\frac{1}{2}$ (0 + 10× 3) = 15 م/ث

المسافة المقطوعة = معدل السرعة × الزمن

= ($\frac{1}{2}$ × 10 × 3) × 3

= $\frac{1}{2}$ × 10 × 3^2 = 45 متر.

وندرك من معاني هذه الأرقام أن:

المسافة المقطوعة = $\frac{1}{2}$ × التسارع × مربع الزمن

هذه المعادلة صحيحة ليس فقط للجسم الساقط لمدة 3 ثوان، بل لأي فترة زمنية، ما دام التسارع ثابتًا. إذا رمزنا إلى المسافة المقطوعة بـ *d* و *a* للتسارع و *t* للزمن، أمكننا كتابة القاعدة برموز مختصرة كما يلي:

$$d = \frac{1}{2}at^2$$

اشتقت هذه العلاقة أول مرة من قِبَل جاليليو. لقد أدرك أنه إذا سقط جسم، لنقل، لضعف الزمن، فسيسقط بضعف *معدل السرعة*. ولأنه يسقط في *ضعف الزمن* بضعف معدل السرعة، فسيسقط *أربعة* أضعاف المسافة. وبالمثل، إذا سقط جسم لثلاثة أضعاف الزمن لوحدة الزمن، فسيكون له ثلاثة أضعاف معدل السرعة، وسيكون له كذلك تسعة أضعاف المسافة. لقد أدرك جاليليو أن مجموع المسافة المقطوعة يجب أن يتناسب مع *مربع* ذلك الزمن.

في حالة السقوط الحر للأجسام، من المعتاد استخدام الرمز *g* ليمثل التسارع بدلًا من الحرف *a* (*g* لأن التسارع بسبب الجاذبية). تتغير قيمة *g* قليلًا في المناطق المختلفة من العالم، إنها تساوي 9.8م/ث^2 (32 قدم/ث^2) تقريبًا. إذا استخدمنا *g* لتسارع جسم يسقط سقوطًا حرًّا (مقاومة الهواء مهملة)، فإن معادلات سقوط الأجسام بدءًا من موقع السكون تصبح:

$$v = gt$$

$$d = \frac{1}{2}gt^2$$

تأتي معظم الصعوبة في تعلم الفيزياء، مثل تعلم أي فرع آخر من المعرفة، من الصعوبة المتعلقة بتعلم اللغة من حيث تعدد المصطلحات والتعريفات. تختلف السرعة بطريقة ما عن السرعة المتجهة، والتي تختلف جذريًّا عن التسارع . من فضلك، كن صبورًا، وتعلم التشابه والاختلاف بين المفاهيم الفيزيائية؛ فهذه ليست بالمهمة السهلة.

الشّكل ب.3

عندما يطلق شلسي (Chelcie) الكرتين في الوقت نفسه فإنه يسأل: "أيهما تصل إلى نهاية المسارين المتساويين في الطول أولا؟" (مساعدة: في أي المسارين يكون معدل سرعة الكرة أكبر؟ تلميح آخر: أيّ الكرتين تسبق: السريعة أم البطيئة؟).

■ **اختبر نفسك**

1. تتحرك سيارة ذات تسارع ثابت 4 م/ث^2 من السكون. كم مترًا تقطع في 5 ثوانٍ؟
2. ما المسافة التي يسقطها جسم انطلق من السكون في ثانية واحدة؟ التسارع في هذه الحالة $g = 9.8$ م/ث^2.
3. إذا استغرق جسم 4 ثوانٍ ليضرب الماء من أعلى جسر البوابة الذهبية، علمًا أنّ سقوطه كان حرًّا. فما ارتفاع الجسر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. المسافة $= \frac{1}{2} \times 4 \times 5^2 = 50$ م.

2. المسافة $= \frac{1}{2} \times 9.8 \times 1^2 = 4.9$ م.

3. المسافة $= \frac{1}{2} \times 9.8 \times 4^2 = 78.4$ م.

لاحظ أنه عند استعمال وحدات القياس المناسبة، تنتج الوحدة المناسبة للمسافة بالمتر.

$$d = \frac{1}{2} \times 9.8 \text{ م} \times 16 = 78.4 \text{ م}.$$

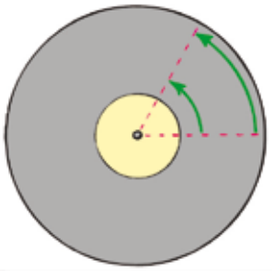
■ الحركة الدائرية

السرعة الخطية هي التي نسميها ببساطة السرعة – المسافة بالمتر أو الكيلومتر لوحدة الزمن. تتحرك نقطة على محيط دائرة أو طاولة دائرية مسافة أكثر في دورة كاملة من نقطة قريبة من المركز. إن قطع مسافة أكبر في الزمن نفسه يعني سرعة أكبر. وأنّ سرعة أي شيء يتحرك في مسار دائري هي **سرعة مماسيّة**؛ لأنّ اتجاه الحركة مماس للدائرة.

السّرعة الدورانيّة (تسمى أحيانًا السّرعة الزّاويّة) ترمز إلى عدد الدورات في وحدة الزّمن. تدور أجزاء الدوارة جميعها حول محور الدوران في مقدار الزمن نفسه. كما تتشارك الأجزاء جميعها في معدل الدوران، أو عدد الدورات في وحدة الزمن. من المألوف التعبير عن معدل الدورات لكل دقيقة (*rpm*).* يدور جهاز الفونوغراف الذي كان مألوفًا قبل عدة سنوات بسرعة1/3 33 دورة في الدقيقة. وتدور أي نقطة على سطح قرص المسجل بـ 1/3 33 دورة في الدقيقة.

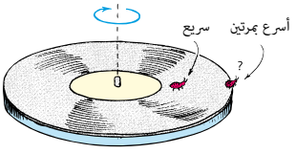
إنّ السرعة المماسية تتناسب مباشرة مع سرعة الدوران (عند نقطة على بعد قطري ثابت). على عكس السرعة الدورانية، وتعتمد السرعة المماسية هذه على البعد عن المحور (الشكل ب.5). إنّ أي شيء عند مركز السطح الدوار ليس له سرعة مماسية على الإطلاق، إنه يدور فقط. ولكن عند الاقتراب من حافة السطح، تزداد السرعة المماسية.

تتناسب السرعة المماسية تناسبًا مباشرًا مع البعد عن المحور (لسرعة دورانية معينة).



الشّكل ب.4

عند تشغيل الفونوغراف (الحاكي) تقطع النقطة الأبعد عن المركز مسارًا أطول في الوقت نفسه، ولها سرعة أعلى.



الشّكل ب.5

يدور القرص كله بالسرعة الزاوية نفسها، ولكن النقاط المختلفة تنتقل على مسافات مختلفة من المركز بسرعات زاوية مختلفة. تنتقل النقطة التي على ضعفي المسافة من نقطة أخرى بضعف السرعة.

* عادة، يصفون في تخصص الفيزياء سرعة الدوران بدلالة الزاوية نصف القطرية "راديان" بوحدة زمن، ويستخدمون لها الرمز ω (الحرف اليوناني أوميجا). هناك أكثر بقليل من 6 راديان في الدورة الواحدة (2π راديان بالضبط).

وعند نقطة على ضعف المسافة من محور الدوران، تتضاعف سرعة الدوران مرتين. وعند مسافة ثلاثة أضعاف محور الدوران، تكون السرعة المماسية 3 أضعاف. وعندما يصطف الناس وأياديهم متشابكة حول حلقة التزلج ويدورون، فإنّ سرعة الشخص الأول تكون كبيرة بشكل واضح بالنسبة إلى سرعة الأخير. وهكذا، فإن السرعة المماسية تتناسب تناسبًا مباشرًا مع كلّ من سرعة الدوران والمسافة القطرية*.

■ **اختبر نفسك**

على منصة دوار مثل ذلك القرص المبين في الشكل ب.5، إذا جلست في منتصف المسافة بين محور الدوران والحافة الخارجية، وكانت سرعتك الدورانية 20 دورة في الدقيقة والسرعة المماسية 2 م/ث، فما سرعة دوران صديقك الذي يجلس على الحافة الخارجية؟ وما سرعته المماسية كذلك؟

هل كانت هذه إجابتك؟

بما أنّ السطح الدوار صلب، فإنّ الأجزاء جميعها لها سرعة الدوران نفسها. وعليه، فإن سرعة دوران الصّديق هي 20 دورة في الدقيقة. أمّا السرعة المماسية فإنها تتحرك بضعف السرعة – 4 م/ث؛ لأنها على ضعف البعد عن محور الدوران.

الشكل ب.6

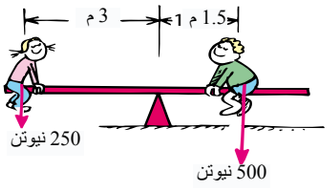
إذا حركت الوزن بعيدًا عن يدك، فستشعر بالفرق بين القوة والعزم.

■ الازدواج (عزم الدوران)

في حين تسبب القوة تغيرًا في السرعة، فإنّ الازدواج يسبب تغيرًا في الدوران. ولفهم الازدواج: أمسك مسطرة مترية من أحد طرفيها أفقيًّا بيدك. إذا علقت وزنًا من المسطرة بالقرب من يدك أمكنك الشعور بالتوائها. والآن، إذا حرّكت الوزن بعيدًا عن يدك، فستشعر بالتواء أكبر، مع أنّ الوزن هو نفسه. إنّ القوة التي تؤثر في يدك هي نفسها، ولكن الذي اختلف هو عزم الدوران.

عزم الدوران = ذراع الرافعة × القوة

ذراع الرافعة هو المسافة بين نقطة تأثير القوة ومحور الدوران. إنها أقصر مسافة بين القوة المؤثرة ومحور الدوران. إنّ عزم الدوران مألوف للأطفال الذين يلعبون على الأرجوحة (الشكل ب.7). يوازن الطفلان الأرجوحة حتى عندما يكون وزناهما مختلفَين. الوزن وحده لا يعمل دورانًا، بل عزم الدوران هو الذي يعمل دورانًا. يدرك الأطفال بسرعة أن الجلوس على بُعد معين من نقطة الارتكاز مهم جدًّا مثل الوزن (الشكل ب.7). عندما تكون عزوم الدوران متساوية، تكون محصلة عزوم الدوران صفرًا؛ أي لا ينتج هناك دوران.

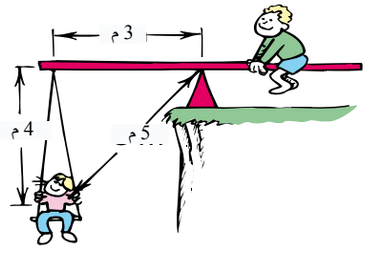


الشكل ب.7

لا يحصل دوران عند تساوي العزمين .

تذكر قاعدة الاتزان في الفصل الأول وهي: مجموع القوى المؤثرة في جسم ما أو أي نظام يجب أن تساوي صفرًا للاتزان الميكانيكي. أي أنّ $\Sigma F = 0$. نرى الآن شرطًا إضافيًّا، وهو عزم الدوران الصافي على جسم ما أو نظام ما، والذي يجب أن يكون صفرًا من أجل الاتزان الميكانيكي. إنّ أيّ شيء في حالة اتزان ميكانيكي لا يتسارع؛ لا خطيًّا ولا دورانيًّا.

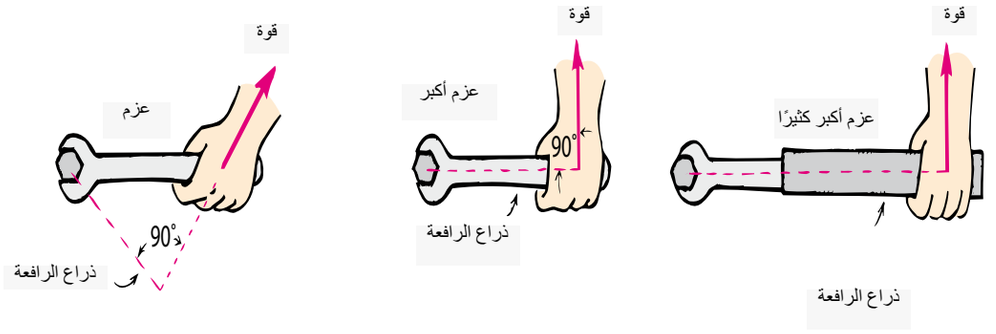
افترض أن الأرجوحة رتبت بحيث إن بنتًا بنصف ثقل البنت الأثقل علقت بحبل طوله 4 أمتار مربوط في نهاية الأرجوحة (الشّكل ب.8). إنها الآن على بعد 5 أمتار من نقطة الارتكاز. وما تزال الأرجوحة متزنة. يمكننا ملاحظة أن ذراع الرافعة ما زال 3 أمتار وليس 5 أمتار. إنّ ذراع الرافعة حول أيّ محور دوران هو المسافة العمودية من محور الدوران إلى الخط الذي تؤثر فيه القوة. هذه دائمًا هي أقصر مسافة بين محور الدوران والخط الذي تؤثر القوة في طوله.



الشكل ب.8

ما زال ذراع الرافعة 3 أمتار.

* عند استعمال الوحدات المألوفة للسرعة المماسية v والسرعة الدورانية r والمسافة القطرية r فإن التناسب المباشر لـ v مع كل من v و r ويعطي المعادلة v=rv بالضبط. ولهذا، فإن السرعة المماسية تتناسب مباشرة مع كل من v و r، عندما تكون للأجزاء جميعها السرعة الزاوية v نفسها، كما في الإطار أو القرص أو الصولجان. (لا ينطبق التناسب المباشر لـ v مع r للكواكب؛ لأن الكواكب ليس لها السرعة الزاوية v نفسها).



الشّكل ب.9
على الرغم من أن قيمة القوة متساوية في كل حالة، إلا أنّ العزوم مختلفة.

لهذا السبب، فإن البرغي القاسي الصعب إدارته، كما في الشكل ب.9 يمكن إدارته بسهولة عندما تكون القوة المؤثرة عمودية على المقبض، بدلًا من أن تكون بزاوية مائلة، كما هو مبين في الشكل الأول. يمثل ذراع الرافعة في الشكل الأول بالخط المتقطع، وهو أقصر من طول المفك. أمّا في الشكل الثاني فإن ذراع الرافعة يساوي طول المفك. في حين ازداد طول المفك، في الشكل الثالث، باستخدام أنبوب لإعطاء طول رافعة أكبر وعزم دوران أكبر.

■ نقطة فحص

1. إذا استخدم أنبوب ليزيد من الطول الفاعل لمفك إلى ثلاثة أضعاف، فكم يزيد عزم الدوران للقوة المؤثرة نفسها؟
2. ادرس الأرجوحة المتزنة في الشكل ب.7. وافترض أنّ البنت عن اليسار اكتسبت 50 نيوتن فجأة، كأن حملت سلة تفاح. أين يجب أن تجلس حتى تعيد الاتزان، على افتراض أن الولد الثقيل بقي في مكانه؟

هل كانت هذه إجابتك؟

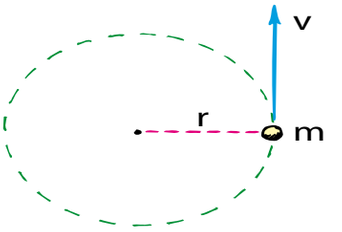
1. ثلاثة أمثال طول الرافعة للقوة نفسها يعطي ثلاثة أمثال عزم دورانه. (طريقة زيادة عزم الدوران يمكن أن تقطع البرغي!)
2. يجب أن تجلس عند نصف – متر أقرب إلى المركز. ثم إن ذراع رافعتها هو 2.5 متر. ويمكن التأكد من ذلك:

$$300\ N \times 2.5\ m = 500\ N \times 1.5\ m$$

■ الزّخم الزّاويّ

إنّ الأشياء التي تدور، سواء كانت أسطوانة تتدحرج أسفل منحدر، أو بهلوان يقفز في الهواء، تستمر في الدوران إلى أن يوقفها شيء ما؛ فللجسم الذي يدور "قصور دوراني". تذكر في الفصل 3 أن للأجسام المتحركة جميعها "قصورًا حركيًّا" أو زخما (كمية حركة) – حاصل ضرب الكتلة في السرعة المتجهة. هذا النوع من الزخم هو **الزخمَ الخطيَّ**. وبالمثل، يسمى "القصور الدوراني" للأجسام التي تدور **الزخمَ الزاويَّ**.

في حالة الجسم الصغير بالمقارنة مع المسافة القطرية لمحور دورانه، مثل وتد يتأرجح من خيط طويل أو كوكب يدور حول الشمس، يمكن التعبير عن الزخم الزاوي بمقدار الزخم الخطي، mv، مضروبًا في المسافة القطرية، r (الشّكل ب.10).* وبالرموز المختصرة، فإنّ الزخم يساوي $= mvr$. مثل الزخم الخطي، الزخم الزاوي هو كمية متجهة، لها مقدار واتجاه. في هذا الملحق، لا نعالج الطبيعة المتجهة للزخم الزاوي (أو حتى لعزم الدوران، والذي هو متجه أيضًا).



الشّكل ب.10
الزخم الزاوي لجسيم صغير كتلته m يدور في مسار دائري نصف قطره r وسرعته v هو mvr.

* للأجسام الكبيرة بالمقارنة بالمسافة القطرية التي تدور، مثلًا، كوكب يدور حول محور دورانه – فإنه يجب أن يستخدم مفهوم القصورالدوراني. ويكون الزخم الزاوي: القصورالدورانية × السرعة الدورانية. لمزيد من المعلومات انظر أي مقرر من *Hewitt's Conceptual Physics*.

كما أنه تلزم قوة محصلة خارجية لتغيير الزخم الخطي لجسم، ويتطلب عزم دوران محصل تغيير الزخم الزاوي لهذا الجسم. ويمكننا صياغة قانون نيوتن الأول (قانون القصور) كما يلي:

يحافظ أي نظام (أو مجموعة أجسام) على زخمه الزاوي ثابتًا إلا إذا أثر فيه زخم زاوي خارجي محصل.

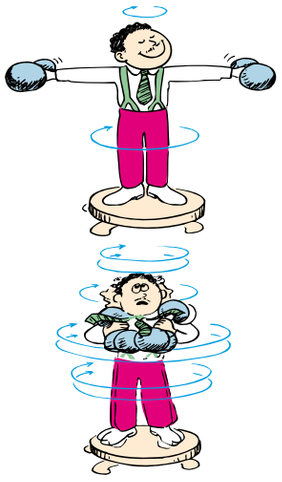
لقد رأينا تطبيقات على هذه القاعدة عندما ننظر إلى الرأس. إذا كان كلّ من الاحتكاك وعزم الدوران قليلا، فإنّ الرأس يستمر في الدوران. تدور الكواكب والأرض في مناطق خالية من عزوم الدوران، وهكذا تستمر في الدوران.

حفظ الزّخم الزّاويّ

كما أنّ الزخم الخطي لأي نظام محفوظ إذا لم تؤثر قوى محصلة فيه فإن الزخم الزاوي محفوظ إذا لم يؤثر عزم دوران محصل فيه. وفي غياب عزم دوران خارجي محصل، يكون الزخم الزاوي للنظام ثابتًا. وهذا يعني أن الزخم الزاوي عند أي زمن هو نفسه عند أي زمن آخر.

حفظ الزخم الزاوي مبين في الشكل ب.11. الرجل الذي يقف على سطح قليل الاحتكاك يدور والثقلان ممتدان في يديه. وعندما يدور ببطء وذراعاه ممدودتان، فإن كثيرًا من الزخم الزاوي يعود إلى المسافة بين الثقلين ومحور الدوران. وعندما يسحب هذان الثقلان إلى الداخل، تنقص المسافة كثيرًا. فما النتيجة؟ تزيد سرعته الدورانية!* يقدر هذا المثل على نحو أوضح من قبل الشخص الذي يدور؛ لأنّه هو الذي يشعر بالتغير في السرعة الدورانية والتي تبدو محيرة. ولكنها فيزياء بحتة! هذا الإجراء يتبع من الشخص المتزلج الذي يبدأ بالدوران، وذراعاه وربما قدماه ممدودتان، ثم يسحب يديه وقدميه ليحصل على سرعة دورانية أكبر. كلما تقلص جسم يدور، تزداد سرعته الدورانية.

يمكن ملاحظة حفظ قانون الزخم الزاوي في حركة الكواكب وفي شكل المجرات. عندما تتقلص كرة غاز جاذبيّا، فإن النتيجة هي زيادة في معدل الدوران. إنّ حفظ الزخم موجود في كل مكان.



الشّكل ب.11

حفظ الزخم الزاوي. عندما يمد هذا الرجل ذراعيه ويقرِّب الثقلين نحو الداخل، فإنه يقلل المسافة بينهما، وتزداد السرعة الدورانية بالمقابل.

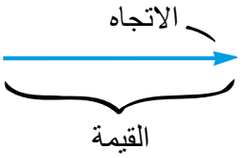
* عندما يعين اتجاه للسرعة الدورانية، نسميها السرعة الدورانية المتجهة (غالبًا تسمى السرعة الزاوية المتجهة)، بالاتفاق، فإن متجه السرعة الدورانية المتجهة هي ومتجه الزخم الزاوي لهما الاتجاه نفسه، ويقعان بموازاة محور الدوران.

ملحق ج
المتجهات

الكميات المتجهة والكميات القياسية

الكمية المتجهة هي كمية ذات اتجاه؛ أي أنّها الكمية التي يجب تعريفها ليس فقط كمقدار ولكن كاتجاه أيضًا. وتذكر من الفصل الأول أنّ السرعة كمية متجهة، إضافة إلى أمثلة أخرى كالقوة، والتسارع، والزخم الخطي. وفي المقابل، فإن *الكمية القياسية* هي تلك التي تعرف كمقدار فقط. ومن أمثلتها السرعة القياسية، والزمن، ودرجة الحرارة، والطاقة.

يمكن تمثيل الكميات المتجهة بأسهم. حيث يشير طول السهم إلى مقدار الكمية المتجهة، أمّا اتجاهه فيشير إلى اتجاه الكمية المتجهة. ومثل هذا السهم المرسوم بمقياس رسم وفي اتجاه مناسب يسمى متجهًا.

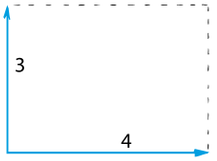


الشّكل ج.1

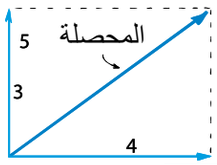
جمع المتجهات

تسمى المتجهات التي تجمع بعضها إلى بعض المتجهات المركبة. ويسمى مجموع مركبات المتجه محصلة.

لجمع متجهين، ارسم متوازي أضلاع من متجهين مُرَكبين بحيث يشكلان ضلعين متجاورين (الشكل ج.2) (هنا، متوازي الأضلاع هو مستطيل). ومن ثمَّ ارسم خطًّا قطريًّا من نقطة الأصل لزوج المتجهات، ليكون هذا هو المحصلة (الشكل ج.3).



الشّكل ج.2



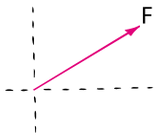
الشّكل ج.3

تنويه: لا تحاول أن تخلط المتجهات! لا نستطيع جمع تفاح مع برتقال. وعليه، فإن متجهات السرعة تجمع مع متجهات سرعة فقط. وكذلك تجمع متجهات قوة مع متجهات قوة فقط. كما تجمع متجهات التسارع مع متجهات التسارع فقط. كل منها على رسم تخطيطي خاص. وإذا مثلت أنواعًا مختلفة من المتجهات على الرسم التخطيطي (البياني) نفسه، فعليك استخدام ألوان مختلفة، أو أي طريقة أخرى للتمييز بين أنواع المتجهات المختلفة.

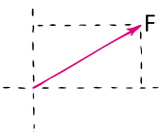
إيجاد مركبات المتجهات

تذكر من الفصل الثاني أنه لإيجاد زوج من المركبات المتعامدة لمتجه فعليك أولًا أن ترسم خطًّا متقطعًا ماراًّ بذيل المتجه (في اتجاه إحدى المركبات المطلوبة). ثانيًا، ارسم خطًّا متقطعًا ثانيًا من ذيل المتجه وبشكل متعامد مع الخط المتقطع الأول. ثالثًا، ارسم مستطيلًا بحيث يكون قطره هو المتجه، وارسم عليه المركبتين. في هذه الحالة: افترض أن F يمثل "مجموع القوة" في حين يمثل U "القوة للأعلى"، وS "القوة الجانبية".

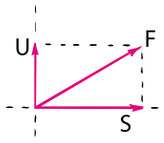
الشّكل ج.4



الشّكل ج.5



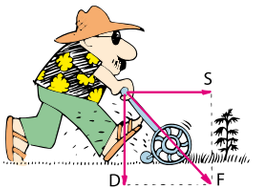
الشّكل ج.6



ج-2 ملحق ج

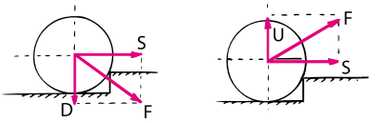
أمثلة

1. يدفع إيرين (Ernie) مِجَزَّ العشب، ويؤثر بقوة تعمل على دفع المِجَزِّ نحو الأمام وكذلك ضد الأرض. في الشكل ج.7، **F** تمثل القوة المؤثرة من الشخص. يمكننا فصل هذه القوة إلى مركبتين. المتجه **D** يمثل المركبة للأسفل، و**S** هو المركبة الجانبية وهذه المركبة هي التي تحرك المِجزّ إلى الأمام. إذا كنا نعرف مقدار المتجه **F** واتجاهه، فيمكننا تقدير مقدار المركبات من الرسم البياني للمتجه.



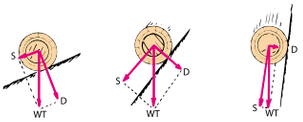
الشّكل ج.7

2. أيهما أسهل: سحب المِجزّ فوق عتبة أم دفعها؟ الشكل ج.8 يبين القوة عند مركز العجلة. عندما تقوم بدفع عجلة ذات دولاب واحد فإن جزءًا من القوة يتجه نحو الأسفل، مما يجعل الصعود فوق العتبة أصعب. عندما تقوم بالسحب، فإنّ اتجاه جزء من القوة يكون إلى الأعلى مما يساعد على رفع العجلة فوق العتبة. لاحظ أن مخطط المتجه يدل على أن دفع العربة لا يمكن أن يحقق رفع العجلة فوق العتبة أبدًا. هل ترى أن ارتفاع العتبة، ونصف قطر العجلة، وزاوية ميل القوة تُحدد ما إذا كان من الممكن دفع العربة فوق العتبة أم لا؟ نحن نرى كيف أن المتجهات تساعدنا على تحليل الحالة. وعليه، يمكننا تعرف المشكلة!



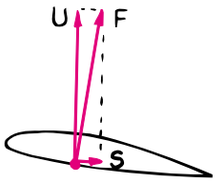
الشّكل ج.8

3. إذا اعتبرنا مركبات الوزن لجسم يتدحرج أسفل سطح مائل، أمكننا ملاحظة سبب اعتماد سرعته على الزاوية. لاحظ أنه كلما كان السطح شديد الانحدار كانت المركبة **S** أكبر. ولهذا، فإن الجسم يتدحرج أسرع. وعندما يصبح السطح عموديًّا، فإن **S** تصبح مساوية للوزن. وعندما يتسارع الجسم بتسارع أقصى ألا وهو 9.8 م/ث^2. هنالك قوتان متجهتان أخريان ولكن لا تظهران: القوة العمودية **N**، والتي تساوي **D** وتعاكسها في الاتجاه، وكذلك قوة الاحتكاك **f** التي تؤثر في سطح الاتصال التماسي.



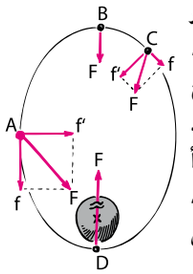
الشّكل ج.9

4. عندما يضرب الهواء المتحرك الجهة السفلى لجناح الطائرة، فإن قوة الهواء التي تدفع بالجناح يمكن تمثيلها بمتجه يعامد مستوى الجناح (الشكل ج.10). ويُمثّل متجه القوة وكأنه يؤثر عند المنتصف على طول السطح السفلي للجناح، حيث توجد النقطة، وتتجه فوق الجناح لإظهار اتجاه قوة دفع الريح. يمكن تجزئة هذه القوة الجانبية إلى مركبتين: إحداهما جانبية والأخرى نحو الأعلى، وهي تسمى **U** *الرافعة*. في حين تسمى المركبة الجانبية، **S** *الساحبة*. إذا كان الهدف هو أن تطير الطائرة بسرعة ثابتة عند ارتفاع ثابت، فإن القوة الرافعة يجب أن تساوي وزن الطائرة، وأنّ قوة دفع محرك الطائرة يجب أن تساوي القوة الساحبة. قيمة القوة الرافعة (والساحبة) يمكن تغييرهما بتغيير سرعة الطائرة أو بتغيير الزاوية (تسمى *زاوية الهجوم*) بين الجناح والمستوى الأفقي.



الشّكل ج.10

5. افترض أن قمرًا صناعيًّا يتحرك في اتجاه عقارب الساعة (الشكل ج.11) عند أي نقطة على مساره الفلكي، فإن قوة الجاذبية **F** تسحبه في اتجاه مركز الكوكب الذي ينتمي إليه. وعند الموقع **A**، نرى أن F تنفصل إلى مركبتين هما: **f** وهي مماسية لمسار المقذوف،و **f′** تتعامد مع هذا المسار. إنّ القيمتين النسبيتين لهاتين المركبتين مقارنة مع قيمة F، يمكن تصورهما في مستطيل تخيلي تكون f و **f′** جانبية. في حين تكون F قطرية. نحن نلاحظ أن f تكون على طول مساره الفلكي، ولكن عكس اتجاه حركة القمر الصناعي. إنّ مركبة القوة هذه تقلل سرعة القمر. أمّا المركبة الأخرى فتغير اتجاه حركة القمر، وتسحبه بعيدًا عن نزعته للسير في خط مستقيم. وعليه، فإن مسار القمر يكون منحنيًا. يفقد القمر جزءًا من سرعته حتى يصل الموقع **B**. عند تلك النقطة الأبعد عن كوكبه (الأرض) تكون قوة الجاذبية إلى حدّ ما أضعف، ولكنها متعامدة مع حركة القمر الصناعي، ومركبة القوة f تقل إلى الصفر. ومن جهة أخرى تزداد المركبة **f′** بحيث تصبح مساوية لقيمة F كاملة. إنّ قيمة السرعة عند تلك النقطة غير كافية لمسار دائري، وعندها يبدأ القمر الصناعي بالسقوط في اتجاه الكوكب. إنه يستعيد سرعته بسبب المركبة f التي تظهر من جديد، وتكون في اتجاه الحركة كما هو واضح

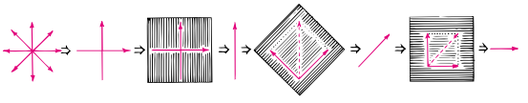


الشّكل ج.11

في الموقع *C*. ويكتسب القمر سرعة إلى أن يصل أدنى موقع *D* حيث يصبح اتجاه الحركة من جديد عموديًّا على قوة الجاذبية. وعندها تصبح مساوية للقوة **F**. وتتلاشى **f**. وعندئذ تكون السرعة قد تجاوزت السرعة اللازمة لمسار دائري عند هذه المسافة. وتكون قد تجاوزت لإعادة الدورة من جديد. إنّ النقصان في السرعة بين *D* و *B* يساوي الكسب في السرعة بين *B* و*D*. ولقد اكتشف كيبلر (Kepler) أن المسارات الكوكبية تكون إهليلجية، ولكنه لم يعرف سبب ذلك. هل تعلم أنت؟

6. بالعودة إلى شرائح استقطاب الضوء المستخدمة من لودميلا (Ludmila) كما في الفصل 11، في الشكل 58.11. في الصورة الأولى (أ)، الضوء ينفذ من خلال زوج من شرائح استقطاب الضوء بسبب اتساق محوريهما. إنّ الضوء النافذ يمكن تمثيله بمتجه يتوافق اتجاهيًّا مع محاور استقطاب الشرائح.

عندما تتعامد الشرائح (ب) فإن الضوء لا ينفذ؛ لأنّ الضوء النافذ من الشريحة الأولى يكون متعامدًا مع محاور الاستقطاب للشريحة الثانية بحيث لا تكون هنالك مركبات على طول محوره. وفي الصورة الثالثة (ج) نلاحظ أن الضوء ينفذ عندما تكون الشريحة الثالثة في الوسط، وبزاوية بين الشرائح المتقاطعة. والشكل ج.12 يفسّر هذا.

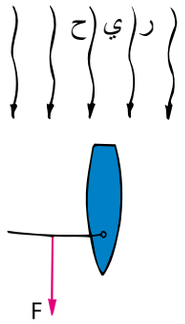


الشّكل ج.12

المراكب الشراعية

عرف البحارة دائمًا أن القارب الشراعي يمكنه الإبحار في اتجاه الريح، وفي اتجاه الريح نفسه. لم يعلم البحارة دائمًا أن القارب الشراعي يمكنه الإبحار عكس اتجاه الريح. ويعود ذلك إلى سبب واحد متوافر فقط في القوارب الحديثة – عارضة مثل الزعنفة تمتد عميقًا تحت الماء أسفل القارب لتمكينه من التجديف خلال الماء في اتجاه الأمام (أو الخلف) فقط. وإن لم تكن هذه العارضة موجودة، فقد ينقلب القارب إلى أحد الجانبين.

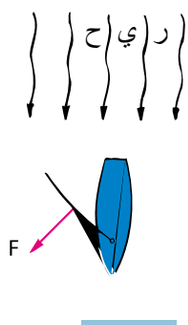
يوضح الشكل ج.13 قاربًا شراعيًّا يُبحر مباشرة في اتجاه الريح. تدفع قوة الريح الشراع بحيث يتسارع القارب. وحتى مع إهمال قوة سحب الماء وقوى المقاومة الأخرى، فإن سرعة القارب القصوى هي سرعة الريح نفسها. ويحدث هذا لأنّ الريح لا تعمل بقوة دفع معاكسة للشراع إذا كان القارب يتحرك بسرعة تساوي سرعة الريح. الريح ليس لها سرعة نسبية بالنسبة إلى القارب، ببساطة يتدلى الشراع. ومع عدم وجود قوة، لا يوجد هناك تسارع. إنّ متجه القوة في الشكل ج.13 يقل كلما كان القارب أسرع. ومتجه القوة هذا يكون أقصى ما يمكن عندما يكون القارب ساكنًا، وقوة الدفع للريح تغطي الشراع. في حين يكون متجه القوة أقلّ ما يمكن عندما يتحرك القارب بسرعة الريح. إذا تحرك القارب بسرعة أكبر من سرعة الريح (باستخدام المحرك)، فستؤثر مقاومة الهواء ضد الجهة الأمامية للشراع منتجةً متجه قوة معاكس، وهذا يؤدي إلى إبطاء حركة القارب. وهكذا، عندما يُبحر القارب بتأثير الرياح فإن سرعته لا تتجاوز سرعة الريح.



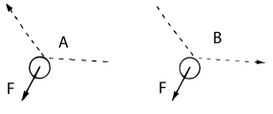
الشّكل ج.13

إذا وُجِّه الشراع بزاوية كما في الشكل ج.14، فإن القارب يتحرك إلى الأمام ولكن بتسارع أقل. ويعزى ذلك إلى سببين هما:

1. تكون القوة على الشراع أقلّ؛ لأن الشراع لا يتعرض للريح كثيرًا بسبب هذا الموقع الزاوي.
2. لا يكون اتجاه دفع الريح على الشراع في اتجاه حركة القارب، إنما يكون متعامدًا مع سطح الشراع. أي، عندما يتفاعل أي مائع (سائل أو غاز) مع سطح أملس، تكون قوة التفاعل متعامدة مع السطح الأملس*. إنّ القارب لا يتحرك في اتجاه القوة المتعامدة نفسه على الشراع، ولكنه مقيد بالحركة إلى الأمام (أو الخلف).

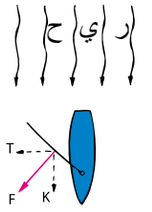


الشّكل ج.14



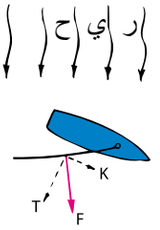
* يمكنك عمل تمرين بسيط لكي ترى أنه كذلك. حاول ضرب قطعة نقد بأخرى على سطح أملس كما ترى. لاحظ أن قطعة النقد التي ضربت تتحرك بزاوية قائمة (متعامدة) مع حافة التماس. لاحظ كذلك أنها لا تعمل أي تغيير سواءً كانت قطعة النقد المقذوفة تتحرك على مسار A أو *B*. استعن بمدرسك لمعرفة المزيد من التفاصيل المتعلقة بحفظ الزخم.

يمكننا فهم حركة القارب على نحو أفضل بتحليل قوة دفع الريح، **F**، إلى مركبتيه المتعامدتين. المركّبة المهمة هي التي تكون موازية لسطح القارب ويرمز إليها بالرمز **K** والمركبة الأخرى تكون متعامدة مع السطح ونرمز إليها بالرمز **T**. إنّ المركبة **K** هي المسؤولة عن حركة القارب في اتجاه الأمام، كما في الشكل ج.15. أما المركبة **T** فهي قوة غير مفيدة، وتحاول إمالة القارب وتحريكه إلى الجانبين. تعادل مركبة هذه القوة بالمروحة العميقة. مرة أخرى، السرعة القصوى للقارب لا تزيد على سرعة الريح.



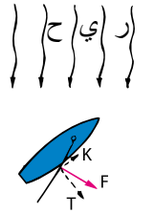
الشّكل ج.15

إنّ العديد من القوارب الشراعية التي تبحر في اتجاهات غير تلك التي ليست للريح تمامًا (شكل ج.16) إذا وجهت لتبحر بشكل مناسب، فإن سرعتها تتجاوز سرعة الريح. وفي حالة القارب الذي يجدف عبر الريح، يمكن أن تستمر هذه الريح بعمل دفع مع الإبحار حتى عندما يتجاوز القارب سرعتها. وبطريقة مشابهة، يتجاوز راكب الأمواج الموجة الدافعة بوضع لوح التزلج بزاوية عبر موجة الدفع. وينتج عن الزوايا الكبيرة للوسط الدافع (الريح للشراع وموجة الماء للقارب) سرعات كبيرة. ومن الممكن أن تكون الطائرة الشراعية أسرع في التجديف عبر الريح منها مع الريح.



الشّكل ج.16

ومن الغرابة أن تحصل القوارب الصغيرة على السرعة القصوى بالتجديف ضد الريح، أي، بتوجيه القارب بزاوية مع عكس الريح! على الرغم من أن القارب لا يبحر مباشرة ضد الريح، ويمكنه الوصول إلى الهدف بعمل زوايا ذهابًا وإيابًا بطريقة متعرجة تسمى هذه تغيير اتجاه. افترض أن القارب والشراع كما هما مبينان في الشكل ج.17. تدفع المركبة **K** القارب في اتجاه الأمام، محدثة زاوية مع الريح. في المكان المبين، يمكن أن يبحر القارب بأسرع من الريح. ويحدث هذا لأنه كلما أسرع القارب، ازداد دفع الريح. وهذا يشبه الركض في المطر عندما يهطل بزاوية؛ عندما تركض باتجاه المطر، تضربك القطرات بقوة وبتتابع أكثر، ولكن عندما تركض في اتجاه معاكس للمطر، فإنّ القطرات لا تضربك بالقوة ولا بالتتابع نفسه. وبالطريقة نفسها، عندما يُبحر القارب عكس اتجاه الريح، فإنّه يتعرض لدفع قوة ريح أشد. في حين يتعرض القارب المبحر في اتجاه الريح لدفع قوة ريح أقل. وعلى أيّ حال، يصل القارب إلى السرعة الحدية عندما تلغي القوى المعاكسة قوة دفع الريح. تتكون القوى المعاكسة بشكل رئيس من مقاومة الهواء على هيكل القارب. لذا، يُصنع هيكل قارب السباق بحيث تكون قوة المقاومة أقل ما يمكن، وهي العقبة الأساس للسرعات العالية.



الشّكل ج.17

لا تتعرض قوارب الجليد (قوارب مجهزة للانتقال على الجليد) لمقاومة الماء، ويمكنها الانتقال بسرعة أكبر عدة مرات من سرعة الريح عند تغيير الاتجاه عكس اتجاه الريح. وعلى الرغم من أن احتكاك الجليد معدوم تقريبًا، فإنّ قارب الجليد لا يتسارع دون حدود. إنّ السرعة الحدية للقارب لا تتحدد فقط بقوى الاحتكاك المعاكسة، ولكن بالتغير النسبي في اتجاه الريح أيضًا. وعندما يكون اتجاه القارب وسرعته بحيث يمكن للريح أن تحرف اتجاهه، بحيث تسير الريح موازية للقارب بدلًا من الاصطدام به، ينعدم التسارع الأمامي – على الأقل في الإبحار المستوي. وفي الواقع العملي، ينحني الإبحار ويُنتج تيارات هوائية وهي مهمة للقوارب الصغيرة كما هي للطائرات، كما ناقشنا في الفصل 6.

ملحق د

النّموّ الأسّيّ وزمن المضاعفة*

تعدّ عملية النمو الأسّيّ أحد أهم الأشياء التي يبدو أننا لم نستوعبها. ونعتقد أننا نفهم كيف تعمل الفائدة المركبة. ولكننا لا نستطيع تخيل أن سُمك قطعة رقيقة من المحارم مثنية 50 مرة على نفسها (إذا كان ذلك ممكنًا) يكون 20 مليون كم. إذا استطعنا إدراك ذلك فعندئذ ندرك سبب نقصان القيمة الشرائية لدخلنا إلى نصف ما كانت عليه قبل أربع سنوات. وكذلك سبب تضاعف أسعار الحاجات جميعها في الفترة نفسها. ومعرفة سبب تضخم عدد السكان أيضًا. إضافة إلى إدراك أنّ التلوث أصبح خارج السيطرة**.

عندما تتعرض كمية ما. مثل مال في بنك. أو عدد السكان. أو معدل الاستهلاك لمصدر طبيعي للنمو بمعدل ثابت في السنة. نقول عندئذٍ إن النمو أسّيّ. يمكن أن يزداد المال في البنك بمعدل 4% في السنة. وأنّ تزداد سعة الطاقة المولدة سنويًّا في الولايات المتحدة بمقدار 7% لفترة تمتد إلى ثلاثة أرباع القرن العشرين. إنّ المعيار المهم في النمو الأسّيّ هو الزمن اللازم لمضاعفة الكمية النامية في المقدار (زيادة بمقدار 100%) وهو أيضًا ثابت. مثلًا. إذا كان الزمن اللازم لمضاعفة عدد سكان مدينة نامية من 10,000 إلى 20,000 هو 12 سنة. واستمر النمو بثبات. فإن عدد السكان سيصبح 40,000. وفي الـ 12 سنة التالية إلى 80,000. وهكذا.

هناك علاقة مهمة بين معدل النمو المئوي وزمن المضاعفة. الزمن اللازم لمضاعفة الكمية*** هو:

زمن المضاعفة = (69.3 / النسبة المئوية للنمو لوحدة الزمن) ≈ 70 / %

وهكذا. لإيجاد زمن المضاعفة لكمية نامية بثبات. نقسم الرقم 70 على معدل النمو المئوي. مثلًا. معدل النمو بمقدار 7% لسعة مولد كهربائي في الولايات المتحدة يعني أن السعة تضاعفت في الماضي كل عشر سنوات [(70% / 7% لكل سنة) = 10 سنوات]. و2% معدل النمو السكاني في العالم يعني تضاعف عدد سكان العالم كل 35 سنة [(70% / 2% لكل سنة) = 35 سنة]. وعلى لجنة التخطيط لمدينة تقبل معدل نمو متواضع بمقدار 3.5% أن تدرك أن المضاعفة ستحصل في 70/3.5 أو في 20 سنة. أي مضاعفة استيعاب الأشياء مثل التزود بالمياه. ومحطات الصرف الصحي. وغيرهما من خدمات كل 20 سنة.

ماذا يحدث عندما يكون هناك نمو ثابت في بيئة محدودة؟ خذ نمو البكتيريا التي تنمو بالانقسام. بحيث إن خلية بكتيريا تصبح اثنتين. والاثنتان تصبحان أربعة. وتنقسم الأربعة لتصبح ثمانية. وهكذا. افترض أن زمن الانقسام لنوع معين من البكتيريا هو دقيقة واحدة. وهذا يعدّ نموًّا ثابتًا؛ أي أنّ أعداد البكتيريا تنمو أسيًّا في زمن مضاعفة هو دقيقة واحدة.

---

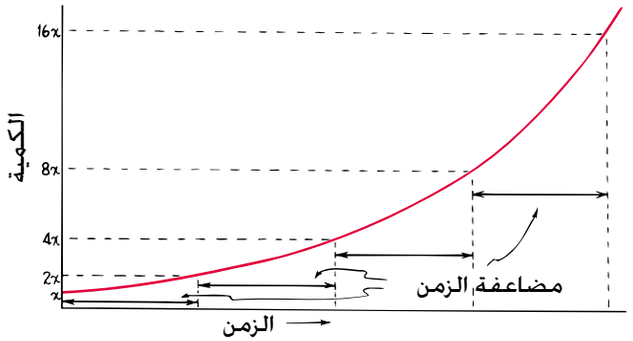
* هذا الملحق مأخوذ من مادة تعود إلى ألبرت أ. بارتلت Albert A. Bartlett. الأستاذ في جامعة كولورادو Colorado. والذي أكد بشدة "أن أعظم خلل في الجنس البشري هو عدم القدرة على فهم الدالة الأسية". انظر مقالة الأستاذ بارتلت التي ما تزال قيمة ومناسبة. "القواعد المنسية في أزمة الطاقة" (*المجلة الأميركية للفيزياء*. أيلول 1978م) أو في طبعته المنقحة (*مجلة الجيولوجيا التعليمية*. يناير 1980م).

** *K. C. Cole, Sympathetic Vibrations* (*NewYork*: *Morrow*, 1984).

د-2 ملحق د

الشّكل د.1

المنحنى الأسّيّ. لاحظ أن كل فترة تتابع زمني متساو على المحور الأفقي يقابل تضاعف الكمية على المحور العمودي. تسمى هذه الفترة بزمن المضاعفة.



وزيادة على ذلك، افترض أن خلية البكتيريا وضعت في علبة الساعة 11:00 قبل الظهر، وأن النمو استمر بثبات حتى أصبحت العلبة معبأة عند الساعة 12:00 ظهرًا. ادرس السؤال التالي بعناية.

الشّكل د.2

■ **اختبر نفسك**

متى أصبحت العلبة معبأة إلى نصفها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

عند الساعة 11:59، يتضاعف عدد البكتيريا كل دقيقة.

من المذهل ملاحظة أنه قبل دقيقتين قبل الظهر كانت العلبة 1/4 معبأة. يلخص الجدول د.1 كمية الفراغ المتبقي في العلبة في الدقائق الأخيرة قبل الظهر. إذا كُنت (تمثّلت خلية بكتيرية) خلية بكتيرية مفردة في العلبة، ففي أي وقت ستدرك أنّ الفراغ ينفد؟ مثلًا، هل ستلمس أن هناك مشكلة خطيرة عند الساعة 11:55 قبل الظهر، عندما تكون العلبة معبأة بنسبة 3% فقط، (1/32)، وفيها 97% فراغًا (متلهف للتطورات)؟ النقطة الأساسية هنا هي أنه لا يوجد وقت طويل بين ملاحظة أثر النمو واللحظة التي تصبح فيها ساحقة (غامرة).

افترض عند الساعة 11:58 قبل الظهر، أن بعض البكتيريا ذات البصيرة أدركت أن الفراغ بدأ ينفد، ثم بدأت بحثًا شاملًا عن علب جديدة. ولحسن الحظ، عند الساعة 11:59 قبل الظهر وجدت ثلاث علب فارغة جديدة، ثلاثة أضعاف الفراغ الذي كان متوافرًا. وهذا يجعل الفراغ 4 أضعاف المتوافر للبكتيريا؛ لأن عندها مجموع 4 علب؛ حيث كان يتوافر علبة واحدة قبل البحث. أكثر من ذلك، افترض، والفضل لبراعتهم التقنية، أنهم لم يواجهوا صعوبة في الهجرة إلى المسكن الجديد. بالتأكيد، قد يبدو أن المشكلة قد حلت بالنسبة لمعظم البكتيريا – وفي الوقت المناسب.

الجدول د.1 **الدقائق الأخيرة في العلبة**

الزمن	الجزء الملآن (%)	الجزء الفارغ
11:54 قبل الظهر	1/64 (1.5%)	63/64
11:55 قبل الظهر	1/32 (3%)	31/32
11:56 قبل الظهر	1/16 (6%)	15/16
11:57 قبل الظهر	18 (12%)	7/8
11:58 قبل الظهر	1/4 (25%)	3/4
11:59 قبل الظهر	1/2 (50%)	1/2
12:00 ظهرًا	ملآن (100%)	لا يوجد

النّموّ الأسّيّ وزمن المضاعفة د-3

■ اختبر نفسك

إذا استمر نمو البكتيريا بالمعدل نفسه، فما الزمن اللازم حتى تمتلئ العلب الجديدة الثلاث بالكامل؟

هل كانت هذه إجابتك؟

الساعة 12:02 بعد الظهر.

نرى من الجدول د.2 أن مضاعفة المورد إلى أربع مرات يمدد عمر المورد، مدة زمنَيْ تضاعف. في مثالنا، المورد هو الفراغ. ولكن يمكن أن يكون فحمًا، أو نفطًا، أو معدن اليورانيوم، أو أي مورد غير متجدد.

الجدول د.2 الآثار المترتبة على اكتشاف ثلاث زجاجات جديدة

الزمن	التأثير
11:58 قبل الظهر	الزجاجة 1 1/4 ممتلئة
11:59 قبل الظهر	الزجاجة 1 1/2 ممتلئة
12:00 ظهرًا	الزجاجة 1 ممتلئة
12:01 بعد الظهر	الزجاجتان 1 و2 ممتلئتان
12:02 بعد الظهر	الزجاجات 1، 2، 3، و4 جميعها ممتلئات

يؤدي النمو المستمر واستمرار المضاعفة إلى أرقام هائلة. في زمني تضاعف، تتضاعف الكمية مرتين ($2^2=4$، أربع مرات) في الحجم. وفي ثلاثة أزمنة تضاعف، يزداد الحجم 8 مرات ($2^3=8$). وفي أربعة أزمان تضاعف، تزداد بمقدار 16 مرة ($2^4=16$). وهكذا.

إن أفضل توضيح لذلك هو في قصة رياضي البلاط في الهند، الذي اخترع لعبة الشطرنج لملكه. سُرّ الملك كثيرًا بهذه اللعبة، فعرض على هذا الرياضي مكافأة بدت متواضعة جدًا: طلب الرياضي حبة قمح على المربع الأول للوحة الشطرنج، وحبتين على المربع الثاني، وأربع حبات على المربع الثالث، وقس على ذلك بحيث تتضاعف حبات القمح في كل مربع لاحق حتى تتم تعبئة المربعات جميعها. وبهذا المعدل، سيكون 2^{63} حبة قمح في المربع 64. أدرك الملك بسرعة أنه لا يستطيع أن يفي بهذا المطلب"المتواضع"، والذي يبلغ كمية أكبر من تلك التي تم إنتاجها في تاريخ الأرض كلّه!

من المدهش والمهم ملاحظة أن عدد الحبوب على أي مربع أكبر من مجموع الحبوب على المربعات جميعها التي تسبقه. وهذا صحيح في أي مكان على اللوحة. لاحظ من الجدول د.3 أنه عند وضع 8 حبات في المربع الرابع، فإن 8 هي أكبر من مجموع الحبوب الموجودة على اللوح وهي 7. وأنّ 32 حبة الموجودة على المربع السادس أكبر من مجموع 31 حبة الموجودة على اللوحة. ومن هنا نرى أنه في زمن تضاعف واحد نحتاج إلى أكثر من مجموع الحبوب التي أنتجتها البشرية سابقًا!

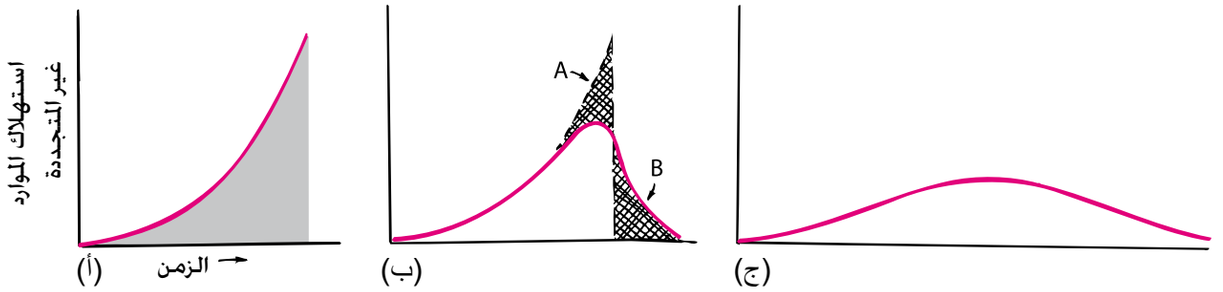
وهكذا، إذا كنا نتحدث عن تضاعف استهلاك الطاقة في عدد ما من السنوات القادمة، فعلينا تذكر أن هذا يعني أننا سنستهلك طاقة في هذه الفترة أكثر من مجموع ما استهلكناه خلال الفترات السابقة من النمو الثابت. وإذا استمرت محطات توليد الطاقة في استخدام الوقود الأحفوري بشكل رئيس، وبالتالي باستثناء بعض التحسينات في الكفاءة، فسوف نحرق من الفحم في زمن المضاعفة التالي كمية أكبر من الوقود، أو النفط، أو الغاز الطبيعي من تلك التي حرقناها في الفترات السابقة. وإن لم نطور الوسائل التي تحدّ من أثر التلوث ونحسّنها، فإنه يمكننا عندئذ أن نتوقع انبعاث مخلفات سامة إلى البيئة أكثر من ملايين الملايين من الأطنان التي أطلقناها خلال العصر الصناعي في الفترات السابقة. ويمكننا أن نتوقع أيضًا امتصاص المزيد من السعرات من قبل محيط الأرض نتيجة الأنشطة البشرية أكثر من مجموع ما امتصته سابقًا!

الشكل د.3

وضعت حبة قمح واحدة على المربع الأول للوحة الشطرنج، وتضاعف العدد في المربع الثاني الذي تضاعف في المربع الثالث، وهكذا، افترضنا في الـ 64 مربعًا جميعها. لاحظ أن كل مربع يحتوي على عدد من الحبوب أكثر من مجموع ما تحتويه المربعات جميعها التي سبقته. هل يوجد قمح كافٍ في العالم لتعبئة 64 مربعًا جميعها بهذه الطريقة

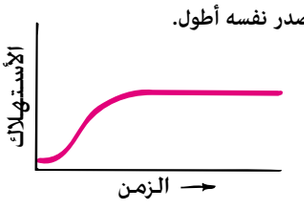
الجدول د.3 تعبئة المربعات على لوحة الشطرنج

رقم المربع	الحبوب على المربع	مجموع الحبوب
1	1	1
2	2	3
3	4	7
4	8	15
5	16	31
6	32	63
7	64	127
.	.	.
.	.	.
.	.	.
64	2^{63}	$2^{64}-1$



الشّكل د.4

(أ) إذا استمر معدل الاستهلاك الأسيّ لمصدر غير متجدد حتى يستنفد، فسوف يهبط الاستهلاك فجأة إلى الصفر. تمثل المساحة المظللة تحت المنحنى مجموع ما في المصدر. (ب) في الواقع، يتوقف معدل الاستهلاك أولًا، ثم يهبط إلى الصفر بشكل أقل فجائية. لاحظ أن المساحة المظللة في A تساوي المساحة المظللة في B. لماذا؟ (ج) عند معدل استهلاك أقل، يكون عمر المصدر نفسه أطول.



الشّكل د.5

يبين المنحنى معدل الاستهلاك لمصدر متجدد مثل الزراعة أو منتجات الغابة، حيث يمكن ثبات معدل الاستهلاك والإنتاج لفترة طويلة، ما دام الإنتاج لا يعتمد على استخدام مصدر غير متجدد، وهذا خطر على الاستدامة.

في معدل النمو السنوي 7 % السابق في إنتاج الطاقة. يمكن توقع حدوث هذه الأشياء جميعها في زمن مضاعفة واحد خلال عقد من الزمان. وإذا استمر معدل النمو في السنوات القادمة بنصف معدله الآن (3.5 %)، فإن هذه الأشياء جميعها ستحدث في زمن مضاعفة واحد خلال عقدين. من الواضح خطورة هذا!

لا يمكن أن يستمر النمو الأسّيّ لاستهلاك الموارد غير المتجددة لفترة غير محدودة، لأن المصدر محدود، وتزويده سوف يتلاشى في يوم ما. يبين الشكل د.4(أ) أكثر الطرق الكارثية لحدوث ذلك، حيث معدل الاستهلاك، مثل براميل النفط في السنة، مرسومة مقابل الزمن، ولنقل بالسنوات. تمثل المساحة تحت المنحنى في هذا الشكل مقدار الاحتياط في الموارد. وعند نفاد الاحتياط، ينتهي الاستهلاك تمامًا. ومن النادر حدوث هذا التغير فجأة؛ لأن معدل الاستخلاص من المورد يتناقص عندما يصبح أكثر ندرة. وهذا مشاهد في الشكل د.4(ب). لاحظ أن المساحة تحت المنحنى (ب) تساوي المساحة تحت المنحنى في (أ). لماذا؟ لأن مجموع الاحتياط هو نفسه في الحالتين. والفرق الرئيس هو الزمن اللازم لنضوب المورد. يبين التاريخ أن معدل الإنتاج لمصدر غير متجدد يزداد وينقص بطريقة متماثلة تقريبًا. كما هو الحال في (ج). يساوي الزمن اللازم لارتفاع معدلات الإنتاج تقريبًا الزمن اللازم لانخفاض هذه المعدلات إلى الصفر أو قريبة منه.

تتناقص معدلات الإنتاج للمصادر جميعها غير المتجددة عاجلًا أم آجلا. ومن الممكن استدامة معدلات الإنتاج لفترات طويلة للمصادر المتجددة فقط، مثل الزراعة، أو منتجات الغابة (الشكل د.5)، على ألّا يكون هذا الإنتاج معتمدا على مصادر متناقصة غير متجددة مثل البترول. تعتمد أغلب الزراعة اليوم على البترول، حتى يمكن القول إن الزراعة الحديثة هي ببساطة عملية يتم فيها استخدام الأرض لتحويل البترول إلى غذاء. إن معنى نقص البترول يذهب إلى أبعد من ترشيد الاستهلاك لجازولين السيارات أو زيت الوقود لتدفئة المنازل.

إن تبعات عدم تقدير النمو الأسّيّ خطيرة. ومن المهم أن تسأل: هل النمو جيد فعلاً؟ وللإجابة عن هذا السؤال، تذكر أن نمو الإنسان هو طور أولي في الحياة، ويستمر عادة حتى المراهقة، ويتوقف النمو الجسدي عند الوصول إلى النضج الجسدي. ماذا نقول عن النمو الذي يستمر في فترة النضج الجسدي؟ إنه سمنة، أو أسوأ من ذلك؛ إنه سرطان.

أسئلة للتأمل

1. وفق الأحجية الفرنسية، تبدأ زهرة الزنبق بورقة مفردة. يتضاعف عدد الأوراق كل يوم، حتى تكتسي الزهرة بالأوراق تمامًا في اليوم الثلاثين. في أي يوم تكون الزهرة نصف مغطاة، وربع مغطاة؟

2. في الاقتصاد الذي يوجد به معدل تضخم ثابت بمقدار 7% لكل سنة، ما عدد السنوات التي يفقد عندها الدولار نصف قيمته؟

النّموّ الأسّيّ وزمن المضاعفة د-5

3. عند معدل تضخم ثابت 7%، ما السعر كل 10 سنوات إلى الخمسين سنة القادمة لـ: أ- تذكرة مسرح ثمنها الآن 20 دولارًا؟ ب- معطف ثمنه 200 دولار؟ ج- سيارة ثمنها الآن 20,000 دولار؟ د- منزل ثمنه 200,000 دولار؟

4. إذا كانت محطة معالجة مياه الصرف الصحي تكفي السكان الحاليين فقط لمدينة ما، فكم محطة معالجة يلزم بعد 42 سنة إذا كان معدل النمو السنوي لهم 5%؟

5. إذا تضاعف عدد سكان العالم في 40 سنة، وتضاعف إنتاج الغذاء في 40 سنة كذلك، فما عدد السكان الجوعى في كل سنة مقارنة مع عددهم الحالي؟

6. افترض أن صاحب عمل بعيد النظر وافق على تشغيلك بأجر مقداره قرش في اليوم الأول، وقرشان في اليوم الثاني، ثم يضاعف الأجر كل يوم على هذا النمط حتى آخر الشهر. ما مجموع أجرك للشهر كله؟

7. في السّؤال السابق، كيف تقارن أجرك في اليوم الثلاثين مع مجموع أجرك في الأيام الـ 29 السابقة جميعها؟

8. إذا شغّلت محطة اندماج اليوم، فإن الطاقة الوفيرة الناتجة ربما تدوم، بحيث تشجعنا على الاستمرار في النموّ. وفي خلال عدة أزمنة تضاعف إنتاج جزء كبير من الطاقة الشمسية اللازمة للأرض. أعط دليلًا على أنّ التأخير الحالي في تشغيل المحطة يعود بالنفع على البشرية.

ملحق هـ

النسبية الخاصة

أنت تجلس داخل سيارتك عند الإشارة الضوئية. فجأة تبدأ السيارة التي بجانبك الحركة إلى الخلف. في لحظة تالية تدرك أنك أنت الذي تتحرك إلى الأمام – ارتفعت قدمك عن الكوابح وسيارتك على وشك الاصطدام بالسيارة التي أمامك! هل هذا معقول؟ نحن نعتمد على خلفية الأشجار والمعالم الأخرى على الأرض لنعرف ما إذا كنا نتحرك أم لا. يستحيل قياس حركتنا في غياب المرجعيات الخارجية. وبالمثل، تخيل أنك تجلس في سفينة فضاء في الفضاء الخارجي البعيد. تتخطاك سفينة فضاء أخرى بسرعة فائقة. أي السفينتين هي التي تتحرك؟ يمكن أن تجادلك رائدة الفضاء في السفينة الثانية أن سفينتها ساكنة، وأن السفينة الأولى هي التي تتحرك بسرعة عالية.

تمعن أينشتاين في هذه الأفكار، واستنتج عدم وجود تجربة يمكن إجراؤها للحكم على ما يتحرك وما لا يتحرك. لا يوجد شيء في سكون مطلق، ولكن الحركة كلّها نسبية. أدرك أينشتاين أنه لا يمكن للمراقبين اكتشاف حركتهم المنتظمة إلا بالنسبة إلى أجسام أخرى. ومن هذا الإدراك، افترض أينشتاين ما يلي:

تبقى قوانين الطبيعة جميعها كما هي في محاور الإسناد المنتظمة الحركة كلّها.

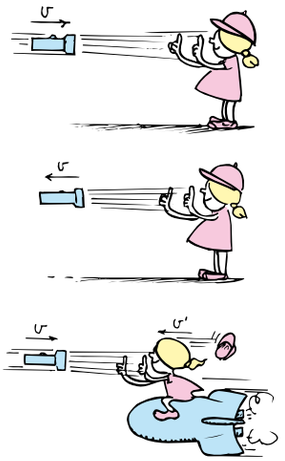
تعني "الحركة المنتظمة" عند أينشتاين أن السرعة ثابتة دون تسارع. مثلًا، القوانين الفيزيائية داخل سفينة الفضاء المتحركة بانتظام (سرعة ثابتة، وتسارع صفري) هي نفسها كما هي في المختبر الساكن. وهناك قانون فيزيائي مهم يشير إلى أن لسرعة الضوء قيمة ثابتة ومقدارها 299,972 كم/ث. وعليه، فإن قياس سرعة الضوء في أي من المكانين، سيظهر المقدار نفسه:

سرعة الضوء في الفراغ لها القيمة نفسها للمراقبين جميعهم، بغض النظر عن حركة المصدر أو حركة المراقب. سرعة الضوء ثابتة.

إذا تحركت بعيدًا عن كرة القاعدة المقذوفة لالتقاطها، فإنّ سرعتها ستكون بطيئة عندما تلتقطها، سرعتها ستكون بطيئة عند الإمساك بها. ولكن إذا فعلت الشيء نفسه للضوء، فستحصل على نتيجة مختلفة. تخيل أننا داخل صاروخ يتحرك بعيدًا عن مصدر ضوء بسرعة – عالية مقارنة بسرعة الضوء. نستدل من المنطق السليم السابق على أن الضوء يسبقنا، ويبتعد عنا أبطأ مما لو كنا غير متحركين – مثل كرة القاعدة تمامًا. ولكن وفقا لأينشتاين، تبقى سرعة الضوء ثابتة، مهما كانت حركتك (الشكل هـ.1). لقد تم إثبات ذلك بالعديد من التجارب.

إذا لم يتباطأ الضوء عندما تبتعد عن مصدر الضوء، فقد تم حدوث شيء ما. هذا الشيء هو استطالة الزمن. ينتقل الضوء مسافة أطول حينما تبتعد عن المصدر، حقًا، أي أنّ المسافة التي يقطعها الضوء تكبر حتى يصل إليك. وحتى تبقى سرعة الضوء ثابتة، فإن فترة وحدة الزمن تكبر أيضًا.

السرعة هي المسافة مقسومة على الزمن. على العموم، يمكننا مناقشة أن سرعة الضوء (يشار إليها بالرمز c) هي مقدار الفضاء الذي ينتقل فيه الضوء مقسومًا على الزمن الذي يستغرقه لينتقل في ذلك الفضاء.



الشكل هـ.1

سرعة الضوء هي نفسها في محاور الإسناد جميعها كما تم قياسها.

لمعلوماتك

■ كان عمر أينشتاين 26 عامًا في عام 1905م عندما نشر ثلاثة أبحاث رئيسة، والتي أصبحت برنامج عمل لكثير من الفيزياء الحديثة. أحد هذه الأبحاث عن نظرية الكم للضوء وظاهرة التأثير الكهروضوئي، وفسّر في الثاني الحركة البراونية، أمّا في البحث الثالث فتناول النسبية الخاصة. وقد منح جائزة نوبل على تفسيره الكمي لظاهرة التأثير الكهروضوئي وليس على النسبية.

لمعلوماتك

■ يحدث تغير ملحوظ في الزمن فقط عند سرعات قريبة من سرعة الضوء وهي 300,000 كم/ث. وعند انطلاق رواد الفضاء نحو القمر، فإنهم يسافرون بسرعة 11 كم/ث بالنسبة إلى الأرض، وهكذا، عند عودتهم، فإنهم يكونون شبابًا أكثر بمقدار جزء من الثانية، مما لو أنهم لم يسافروا إلى القمر.

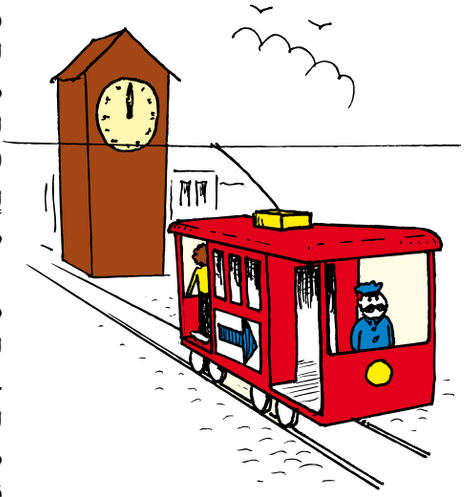
المسافة / الزمن = المسافة / الزمن = c

وهكذا، فحينما يزداد الفضاء، يزداد الزمن أيضًا. ولكن النسبة بينهما وهي سرعة الضوء تبقى كما هي.

ولكن فكر مليًّا فيمن يلاحظ التغير في الزمن؟ من وجهة نظرنا في سفينة الفضاء السريعة، فإن إحساسنا بالثانية الواحدة يبقى كما هو ثانية واحدة. أما من وجهة نظر أصدقائنا على الأرض، فإن إحساسهم بالثانية يبقى أيضًا كما هو ثانية واحدة. ولكن الاختلاف نلاحظه فقط حين تتم مقارنة هاتين الكميتين بالزمن. إنّ مدة رحلة سفينة الفضاء السريعة بالنسبة إلى الأصدقاء على الأرض هي أسبوع كامل. ولكن، عند عودتنا، نكون قد قضينا عدة أيام فقط. وهكذا يعتمد زمن أحدهم على محور إسناد الآخر. إنّ المدد الزمنية مختلفة لمحاور الإسناد المتنوعة التي تتحرك بسرعات متعددة !

■ تمدد الزمن

لفهم أعمق لهذه الفكرة، تخيل أنك أينشتاين في بداية القرن العشرين، تركب حافلة تسير بالكهرباء، والتي كانت أسرع وسيلة مواصلات في تلك الفترة. افترض أن الحافلة وقفت في محطة أسفل ساعة كبيرة مثبتة في مركز قرية، وأنت ترى الساعة تتقدم نحو المستقبل بمعدل 60 ثانية لكل دقيقة. وعند الساعة 12:00 ظهرًا بالضبط، انطلقت الحافلة بسرعة الضوء. إنك تنتقل الآن بمحاذاة الضوء الذي ينقل معلومات"12 ظهرًا" في مركز القرية. توقف الزمن في مركز القرية!



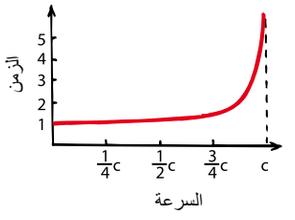
عندما كانت الحافلة واقفة، رأيت الساعة في مركز القرية تتقدم نحو المستقبل بمعدل 60 ثانية في الدقيقة، وعندما تحركت بسرعة الضوء رأيت الثواني على الساعة تستغرق زمنًا لانهائيًّا. هاتان هما السرعتان القصويان. ولكن ماذا عن السرعات بين هاتين السرعتين؟ ماذا يحدث للسرعات التي هي أقلّ من سرعة الضوء؟ قليل من التفكير يرشدنا إلى أن الساعة سوف تتقدم بين معدل 60 ثانية للدقيقة ومعدل 60 ثانية في زمن لانهائي. من محور الإسناد المتحرك بسرعة – عالية (ولكن أقل من c) ترى الأحداث جميعها من محور إسناد الساعة بطيئة وكذلك الساعة. هذا هو **تمدد الزمن**. لا يرتبط تمدد الزمن بنوع الساعة ولا دقتها، بل بطبيعة الزمن نفسه.

لا يوجد شيء غير عادي حول الساعة المسافرة نفسها، إنها ببساطة تدق بإيقاع زمن مختلف. فكلما كان سفر الساعة أسرع كانت أبطأ بالنسبة إلى ملاحظ غير مسافر مع الساعة. إذا كان بإمكان ملاحظ أن يراقب ساعة تتحرك بسرعة الضوء فإنّ الساعة لا تبدو وكأنّها تعمل على الإطلاق. وسيقيس هذا الملاحظ فترة زمنية لا نهائية بين الدقات. سيتوقف الزمن. وستكون الساعة أبدية (لا تتقدم)!

لقد تم التحقق من تمدد الزمن في المختبر بمسارعات جسيمات ذرية، حيث ازداد عمر الجسيمات المشعة للجسيمات السريعة بازدياد سرعتها، وكان مقدار الزيادة في العمر هو بالضبط ما تنبأت به معادلات أينشتاين.

الشّكل هـ.2

إذا أردت الابتعاد عن ساعة بسرعة الضوء فإن الزمن يبدو وكأنه توقف عليها.



الشّكل هـ.3

يبين الشكل كيف تتمدد ثانية واحدة على الساعة الساكنة، كما تم قياسها على ساعة متحركة. لاحظ أن التمدد يصبح كبيرًا فقط عند سرعات قريبة من سرعة الضوء.

3- النسبية الخاصة هـ

كما تم التحقق من تمدد الزمن للحركة التي لا تعدّ عالية؛ أي السرعة. ففي عام 1971م وبهدف فحص نظرية أينشتاين، تم وضع أربع ساعات من حزم السيزيوم الذرية مرتين على متن طائرات تجارية. وكان خط سيرها حول الأرض، مرة من الشرق إلى الغرب ومرة أخرى من الغرب إلى الشرق. وكانت النتيجة أن سجلت الساعات أزمنة مختلفة لرحلتي الذهاب والعودة. ووفق مقياس الزمن الذري لمركز المراقبة التابع للبحرية الأمريكية، فإن الفروق في الزمن هي جزء من بليون من الثانية، وهذا يتفق مع ما تتنبأ به النسبية.

■ **اختبر نفسك**

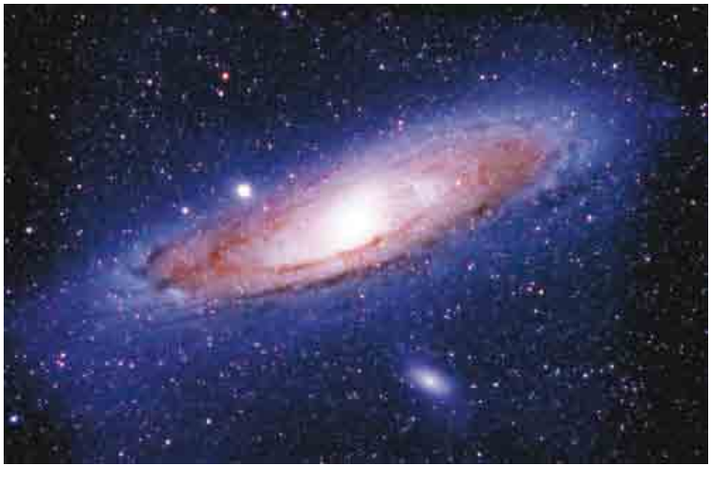
1. إذا كنت متحركًا في سفينة فضاء بسرعة عالية بالنسبة إلى الأرض، فهل تلاحظ فرقًا في معدل نبضاتك؟ وكذلك في معدل نبضات الناس على الأرض؟
2. هل يعني تمدد الزمن أن الزمن حقيقة يمر ببطء في الأنظمة المتحركة أم يبدو أنّه كذلك؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. لا توجد سرعة نسبية بيني وبين نبضي، والذي يشارك في محور الإسناد نفسه، وعليه فإنني لا ألاحظ فرقًا في نبضي. ولكن هناك أثرًا نسبيًّا بيني وبين الناس على الأرض. وسألاحظ أن معدل نبضي أبطأ من العادي (أو بالمثل، سيجدون أن معدل نبضك أبطأ من العادي). تعزى آثار النسبية إلى الشخص الآخر دائمًا.
2. إنّ بطء الزمن للأنظمة المتحركة ليس مجرد وهم ناجم عن الحركة. حقًّا يمضي الزمن ببطء في الأنظمة المتحركة بالمقارنة مع الأنظمة الساكنة. وهذا واضح بشكل مثير في "رحلة التوأم" في كتاب (Conceptual Physical Science, Practice Book).

الشّكل هـ.4

عندما نرى الصاروخ وهو ساكن، فإننا نراه ينتقل بأقصى معدل من الزمن؛ 24 ساعة في اليوم. إذا رأينا الصاروخ متحركًا بأقصى معدل خلال الفضاء (سرعة الضوء) فإننا نرى أن زمنه قد توقف.



الشّكل هـ.5

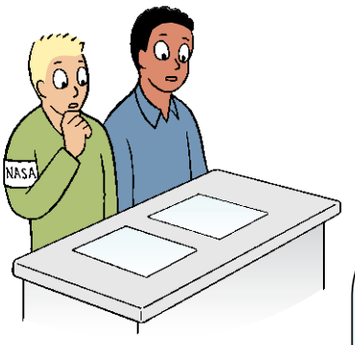
يستغرق الضوء 25,000 سنه للانتقال من مركز المجرة إلى نظامنا الشمسي، إذا قيس من محور إسناد الأرض. ولكن إذا قيس من محور إسناد الضوء نفسه فإنّ الرحلة لا تستغرق أي زمن. لا يوجد زمن في محور إسناد سرعة – الضوء.

■ رؤى مختلفة للزمكان

كيف لشخصين في نفس الكون أن يختبرا أزمنة مختلفة؟ ما يربك عقولنا هو حقيقة أننا مخلوقات في ثلاثة أبعاد ونعيش في بعد رابع هو الزمان. افترض ما يلي: يجلس رائدا فضاء خلال استراحتيهما على أريكة حول طاولة القهوة. لقد اتفقا حول شكل الطاولة، وأدركا أن الطاولة هي جسم في ثلاثة أبعاد.

الشّكل هـ.6

تكون الصور في بعدين محدودة في مقدرتها على الإحاطة بحقيقة جسم في ثلاثة أبعاد. لماذا تكون آلة التصوير السينمائي أكثر فاعلية؟



ثم قررا التقاط صور للطاولة من زوايا مختلفة. ومن ثمّ طبعَا الصور على سطح ورق في بعدين. ثم وضعا الصور على الطاولة للتمعن. أيّ هذه الصور تعبر عن الطاولة على نحوٍ أفضل؟ استنتجا بسرعة أن كل صورة تختلف عن الأخرى. إحدى الصور التي التقطت للطاولة من فوق. أظهرت الطاولة أقصر. أمّا الصورة الأخرى التي التقطت من الجانب فجعلتها تبدو طويلة. ولكن، لا توجد صورة واحدة في بعدين يمكنها إعطاء وصف دقيق لجسم في ثلاثة أبعاد.

وبالمثل، فالزمكان له أربعة أبعاد. وهو شيء يمكن لنا كمخلوقات في ثلاثة أبعاد رؤيته من زوايا مختلفة.

إذا انطلق رائدا فضاء في سفينتين مختلفتين تتحركان بسرعتين مختلفتين فسيُكَوّنان انطباعات مختلفة. وعندما يلتقيان معًا لتبادل خبراتهما، والتي هي "لقطات خاطفة" في ثلاثة أبعاد، سيكتشفان أنهما شاهدا الشيء نفسه من زوايا مختلفة. وقد يتقدّم أحدهم في العمر بمقدار سنة، في حين يتقدم الآخر سنتين. وهذا يحدث بينما يتمتعان – بالزمكان نفسه. وكما وصفت الطاولة بعدة طرق، يمكن اختبار الزمكان بعدة طرق كذلك.

كثيرًا ما نجد أنفسنا في فضاء مختلف – أنت تقرأ هذا الكتاب، في حين يقوم صديقك بالتّسوّق. والآن أنت تعلم أنه يمكن أن نكون في زمان مختلف. ولكننا دائمًا معًا في الكون نفسه، وهو الزمكان نفسه.

يمكن ربط النسبية الخاصة مع النسبية العامة. وقد نوقش هذا في البند 3.28، بطرح السؤال البسيط الآتي: ما الذي يجب عليك فعله لتغيير حركتك؟ راجع الفصل الأول، وتذكر أنه لتغيير حركتك، عليك أن تتسارع. ولكن عندما تتسارع في سفينة الفضاء، فستتأثر كما لو أنك في المجال الجاذبي (انظر الشكل 9.28). واستنادًا إلى النسبية العامة، فإن الجاذبية، أو شيء يحاكيها مثل التسارع، له أثر إبطاء الزمن نفسه. وهكذا، بالنسبة إلى المسافر في الفضاء، يحدث تغيير من محور إسناد زمن معين إلى محور إسناد زمن آخر، عندما يتسارع هو أو هي. أضف إلى ذلك، أنّ على المسافر أن يتباطأ عند عودته إلى المنزل. يتغير الزمن مرة ثانية إلى محور الإسناد الأصلي.

من المهم ملاحظة الطبيعة النسبية للزمن في كلّ من النسبية الخاصة والعامة. في كلتا النظريتين، لا توجد طريقة لتوسيع خبراتك. ويمكن للآخرين الذين يتحركون بسرعات مختلفة أو في مجالات جاذبية مختلفة أن يرجعوا طول العمر لك. ولكن طول عمرك يُرى من محور إسنادهم، ولا يمكن رؤيته من محور إسنادك. ويعزى التغير في الزمن والآثار النسبية دائمًا إلى "الشخص الآخر". وهذه هي النسبية.

الشّكل هـ.7

لقد كان أينشتاين أكثر من عالم كبير، لقد كان إنسانًا يتمتع بجرأة غير مسبوقة، مع اهتمام عميق بحياة البشر. إن اختيار مجلة *التايم* (Time) له كرجل القرن في نهاية 1900م كان موفقًا جدًّا، ولم يكن محل اختلاف.

رحلة فضائية

إنّ إحدى الحجج القديمة التي تعرض ضد إمكانية سفر البشر إلى مواقع بين نجمية، هي أن مدى حياة البشر قصير جدًّا. لقد ذكر، مثلًا، أن أقرب نجم (بَعْد الشمس) وهو ألفا قنطورس (Alpha Centauri)، على بعد أربع سنوات ضوئية، وأن رحلة الذهاب والإياب حتى ولو كانت بسرعة الضوء ستحتاج على الأقل إلى ثماني سنوات. وأنّ الرحلة إلى مركز مجرتنا، حتى ولو كانت بسرعة الضوء، والذي هو على بعد 25,000 سنة ضوئية، ستحتاج إلى 25,000 سنة. ولكن هذه النقاشات، لم تأخذ في الحسبان تمدد الزمن. إنّ الزمن بالنسبة إلى شخص على الأرض يختلف عن الزمن بالنسبة إلى شخص في سفينة صاروخية تسير بسرعة عالية.

إنّ قلب الشخص ينبض بإيقاع موقعه في الزمكان، وهذا يمكن أن يكون مختلفًا بالنسبة إلى مراقب يقف خارج محور إسناد هذا الشخص. مثلًا، افترض أنّ فريقًا من رواد الفضاء يسافر بسرعة تبلغ 99% من سرعة الضوء ($0.99c$) في رحلة ذهاب وإياب إلى نجم الشّعري الشامية (Procyon) (على بعد 10.4 سنة ضوئية). سيستغرق الضوء نفسه 20.8 سنة للقيام برحلة الذهاب والإياب هذه. ولكن بسبب تمدد الزمن، سيبدو لرواد الفضاء أنه قد مضى ثلاث سنوات فقط؛ لأن هذا ما تشير إليه ساعاتهم. فمن ناحية بيولوجية، لقد كبروا ثلاث سنوات فقط. ولكن بالنسبة إلى زملائهم على الأرض الذين سيستقبلونهم عند عودتهم فقد كبروا بمقدار 21 سنة!

5- هـ النسبية الخاصة

تكون النتائج أكثر إثارة عند السرعات العالية: فصاروخ يتحرك بسرعة 0.9999c يقطع مسافة 70 سنة ضوئية في سنة واحدة من أزمانهم. والانتقال بسرعة 0.99999c يوصل الصاروخ إلى بُعد 220 سنة ضوئية في سنة واحدة.

لا تسمح التقنية الحالية بالقيام بمثل هذه الرحلات؛ لأنّ سفن الفضاء التي تتحرك بالسرعات النسبية ستتعرض لوابل من الجسيمات بين النجمية الخطرة إذا تمكنا من حل هذه المشكلات بطريقة ما، فستبرز عندئذٍ مشكلة الطاقة والوقود. ستحتاج السفينة المتنقلة بسرعة نسبية إلى بلايين أضعاف كمية الوقود التي يحتاج إليها المكوك الفضائي ليبلغ المدار. إن القيام بمثل هذه الرحلات غير وارد من الناحية العملية. إذن، فالبديل أمامنا هو التوقف عن التفكير للانتقال خلال الفضاء بسرعات عالية جدًّا، والبدء في التفكير في طرق تمدد الفضاء من خلفنا وانكماشه من أمامنا. وعند دراستنا للطاقة المظلمة (الفصل 28)، قد نستطيع استيعاب آلية عملها واستخدامها في رحلات سفن الفضاء. ربما لصناعة مادة غريبة، أو لعمل تفريغ كبير خلف سفينة الفضاء (وعمل العكس من أمام السفينة) يسمح لنا بأن نكون ساكنين، في حين نتحرك بسرعات فائقة Superluminal ونسمي ذلك "القيادة الخفيةُ" حينها نتمكن من الذهاب إلى أماكن لم يسبقنا إليها أحد. هل أنت مهتم بهذه الرحلة؟ فلديك الأسس. نشجعك على الاستمرار في التعليم حول كوننا الفيزيائي: فنحن نعيش في مكان رائع، في زمن رائع.

لمعلوماتك

■ تشير النسبية الخاصة إلى أنّ الكتلة تزداد مع السرعة أيضًا. وهذه الزيادة تكون مهملة عند السرعات الاعتيادية، ولكنها ذات أهمية عند السرعات النسبية. من الواضح أنه لدفع جسم بسرعة أكثر و أكثر يصبح الأمر صعبًا ويزداد صعوبة. تصبح كتلة الجسم لانهائية عندما تصل سرعته إلى سرعة الضوء، وتحتاج إلى كمية وقود لا نهائية. ولهذا، فمن المستحيل أن تتحرك سفينة فضاء بسرعة الضوء. إنّ سرعة الضوء هي السرعة القصوى التي تنتقل بها أي مادة.

الشّكل هـ.8

إن أفضل خيال علمي هو الذي يُؤلف على أساس متين. والذي يؤدي إلى تخمين يُحتمل تحقيقه يومًا ما، يتضمن ذلك السلام والمتعة والرحمة والإحساس بالمخلوقات الأخرى، والاهتمام العميق بالبيئة لتدوم حياتنا.

قائمة المصطلحات

pH: مقياس لدرجة حموضة المحلول يساوي سالب لوغاريتم للأساس 10 لتركيز أيون الهيدرونيوم.

أثر دوبلر Doppler effect: تغير في تردد موجة متحركة نتيجة حركة المرسِل أو المستقبِل.

الاحتراق Combustion: تفاعل تأكسد – اختزال منتج للحرارة بين مادة غير فلزية والأكسجين الجزيئي.

الاحتكاك Friction: قوة ممانعة تعارض الحركة، أو تمنع محاولة حركة جسم فوق جسم آخر أو خلال مائع.

الاختزال Reduction: عملية يكتسب فيها المتفاعل واحدًا أو أكثر من إلكتروناته.

الإذابة Dissolving: عملية مزج المذاب في مذيب لإنتاج خليط متجانس.

الأزواج غير المرتبطة Nonbonding pairs: تزاوج اثنين من إلكترونات التكافؤ التي لا تميل إلى الاشتراك في رابطة كيميائية.

الاستقطاب Polarization: اصطفاف متجهات المجال الكهربائي العرضية التي تشكل الإشعاعات الكهرومغناطيسية. ويسمّى اصطفافُ هذه الاهتزازات لهذه الأمواج *استقطابًا*.

الإشعاع Radiation: انتقال الطاقة بواسطة الأمواج الكهرومغناطيسية.

الإشعاع الأرضي Earth radiation: الطاقة الإشعاعية التي تبثها الأرض.

أشعة جاما Gamma ray: إشعاعات كهرومغناطيسية عالية التردد تطلق من أنوية ذرات مشعة.

الآلة Machine: أداة مثل الرافعة أو البكرة تزيد القوة أو تنقصها؛ أي أنها تغير اتجاهها.

الألدهايد Aldehyde: جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الكربونيل، ترتبط ذرة الكربون فيه بذرتين؛ الأولى كربون والأخرى هيدروجين. أو أنّها ترتبط بذرتين من الهيدروجين.

الإلكترون Electron: جسيم صغير جدًّا، دون مجهري، مشحون بشحنة سالبة، موجود خارج نواة الذرة.

الألوان الأولية المضافة Additive primary colors: الألوان الثلاثة: الأحمر والأخضر والأزرق. وهي التي نستطيع إنتاج أي لون في الطيف عند إضافتها بنسب معينة.

الألوان الأولية المطروحة Subtractive primary colors: الألوان الثلاثة التي تمتصها الأصباغ: البنفسجي والأصفر والأزرق الداكن. وعند مزجها بنسب معينة يمكنها عكس أي لون في الطيف.

الألوان المتممة Complementary Colors: أي لونين ينتجان اللون الأبيض عند مزجهما.

الأمبير Ampere: وحدة التيار الكهربائي، معدل سريان شحنة كهربائية بمقدار 1 كولوم في ثانية.

الامتثال Conformation: واحد من التوجهات المكانية لجزيء ما.

الأمفوترية Amphoteric: وصف للمادة التي يمكن أن تسلك سلوك حمض أو سلوك قاعدة.

الأميد Amide: جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الكربونيل. يرتبط الكربون فيه بذرة نيتروجين.

الأمين Amine: جزيء عضوي يحتوي على ذرة نيتروجين مرتبطة بواحدة أو أكثر من ذرات الكربون المشبعة.

الإنتروبي Entropy: مقياس لمدى تشتت الطاقة في النظام. كلما تحولت الطاقة من شكل إلى آخر، فإن اتجاه التحول يكون نحو الحالة الأكثر فوضى، ومن ثم، نحو الحالة التي تزيد فيها الإنتروبي.

الاندماج النووي Nuclear fusion: اتحاد أنوية ذرات عناصر خفيفة لتشكيل أنوية ثقيلة، مصحوبة بتحرير طاقة هائلة.

الانشطار النووي Nuclear fission: انقسام نواة ذرة ثقيلة، مثل اليورانيوم 235-، إلى جزأين رئيسين، مصحوبًا بتحرير طاقة هائلة.

الانصهار Melting: عملية تحول الطور من الصلابة إلى السيولة؛ كتحوّل الجليد إلى ماء.

انعدام الوزن Weightlessness: أن تكون دون قوة داعمة، كما في السقوط الحر.

الانعكاس Reflection: عودة أشعة الضوء عن سطح عاكس بحيث تكون الزاوية التي يرجع بها شعاع معين مساوية للزاوية التي سقط بها على السطح (يسمى *انعكاس المرآة*).

الانعكاس Reflection: عودة موجة الصوت؛ الصدى.

الانعكاس المنتشر Diffuse reflection: انعكاس في اتجاهات غير منتظمة من سطح غير منتظم.

الانفجار الصوتي Sonic boom: علو الصوت الناتج عن موجة صادمة.

الانكسار Refraction: انحناء الموجة، إما خلال وسط غير منتظم، أو انتقالها من وسط إلى آخر، بسبب اختلاف سرعة الموجة.

الانكسار Refraction: انحناء شعاع الضوء المائل عندما يمر من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر. يحدث هذا بسبب الفرق في سرعة الضوء في الأوساط الشفافة، عندما يكون التغير في الوسط فجائيًّا (من الهواء إلى الماء مثلًا)، يكون الانحناء مفاجئًا، وعندما يكون التغير في الوسط تدريجيًّا (من الهواء الساخن إلى الهواء البارد مثلًا) يكون الانحناء تدريجيًّا. وإليه يعزى تكون السراب.

الأنود Anode: القطب الذي يحدث عليه التأكسد.
الاهتزاز Vibration: تذبذب مع الزمن.
الاهتزاز القسري Forced Vibration: بدء الاهتزازات في جسيم بواسطة قوة مهتزة.
إهليلج Ellipse: المسار البيضوي الذي يسلكه القمر الصناعي. مجموعُ البعدين من أي نقطة على المسار إلى النقطتين المسمّاتين البؤرتين مقدارٌ ثابت. عندما تنطبق البؤرتان في نقطة واحدة يصبح الإهليلج دائرة. ولكن عندما تتباعد البؤرتان، يصبح مركز الإهليلج أكثر *اختلالا*.
الإيثر Ether، جزيء عضوي يحتوي على ذرة أكسجين مرتبطة بذرتي كربون.
الإيستر Ester: جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الكربونيل، والتي ترتبط ذرة الكربون فيه بذرة كربون واحدة وذرة أكسجين واحدة مرتبطة بذرة كربون أخرى.
الأيونIon:جسيم مشحون كهربائيًّا يتكون عندما تفقد/ أو تكسب ذرة إلكترونًا أو أكثر من إلكتروناتها.
أيون الهيدروكسيل Hydroxide ion: جزيء الماء بعد فقدانه أيون الهيدروجين.
أيون الهيدرونيوم Hydronium ion: جزيء الماء بعد اكتسابه أيون الهيدروجين.
أيون متعدد الذرات polyatomic ion: جزيء أيونيّ مشحون.
البحث الأساسي Basic research: فرع من البحث العلمي يركز على الفهم الأعمق لكيفية عمل العالَم الطبيعي.
البحث التطبيقي Applied research: فرع من البحث العلمي يركز على تطوير التطبيقات المستندة إلى الاكتشافات الرئيسة من خلال البحث الأساسي.
البروتون Proton: جسيم دون مجهري له شحنة موجبة في نواة الذرة.
التأريخ بالكربون 14- Carbon-14 dating: عملية تقدير عمر مادة كانت حية فيما مضى من خلال قياس كمية نظير الكربون المشع المتبقي فيها.
التأكسد Oxidation: عملية يفقد فيها المتفاعل إلكترونًا أو أكثر من إلكتروناته.
التبخر Evaporation: تغيُّر الطور عند سطح السائل لدى مروره بالطور الغازي.
التجمد Freezing: عملية تحول في الطور من السيولة إلى الصلابة، كما هو الحال من الماء إلى الجليد.
تحوُّل Transmutation: تحوُّل نواة ذرة عنصر ما إلى نواة ذرة عنصر آخر بفقد أو اكتساب عدد من البروتونات.

التخلخل Rarefaction: منطقة تخلخل، أو منطقة ضغط خفيف للوسط الذي تنتقل من خلاله الموجة الطولية.
التداخل Interferance: خاصية لأنواع الموجات جميعها، والتي لها طول الموجة نفسه عادة. ينتج التداخل البناء من تعزيز القمة إلى القمة، وينتج التداخل الهدام من اختزال قمة – بطن.
ارتداد Reverberation: إعادة صدى الصوت.
التردد Frequency: لجسم أو وسط مهتز؛ هو عدد الاهتزازات في وحدة الزمن. وللموجة؛ هو عدد القمم التي تمر بنقطة معينة في وحدة الزمن.
التردد الأساس Fundamental frequency: أقل تردد للاهتزاز، أو التوافقي الأول. يصنع اهتزاز الوتر قطعة مفردة .
التردد الطبيعي Natural frequency: تردد يميل الجسم المرن للاهتزاز به طبيعيًّا، لذا نحتاج إلى الحد الأدنى من الطاقة لإنتاج اهتزاز قسري أو لاستمرار الاهتزاز بهذا التردد.
مترسِّب Precipitate: مذاب يخرج من المحلول.
تركيب الإلكترون النقطي Electron- dot structure: ترميز مختصر لنموذج القشرة للذرة، والذي يبين إلكترونات التكافؤ حول الرمز الذري.
التركيب الأيزوميري Structural isomers: جزيئات تتشابه في الصيغة الجزيئية، ولكنها تختلف في الهيئة.
التركيز Concentration: مقياس كمي لمقدار المذاب في المحلول.
التسارع Acceleration: معدل تغير السرعة المتجهة مع الزمن؛ التغير في السرعة المتجهة يمكن أن يكون في المقدار أو الاتجاه أو في كليهما، ويقاس عادة بوحدات م/ث^2.
التسامي Sublimation: تغير الطور من الصلب إلى الغاز مباشرة، متخطيًا طور السائل.
التشتت Dispersion: انفصال الضوء إلى الألوان مرتبة وفق التردد.
تصادم غير مرن Inelastic collision: تصادم بين أجسام تكون نتيجته إحداث تشوهات في الأجسام، أو إنتاج حرارة، أو التصاق الأجسام بعضها ببعض.
تصادم مرن Elastic collision: تصادم بين أجسام دون إحداث تشوهات أو إنتاج حرارة.
التضاغط Compression: منطقة كثيفة للوسط، تنتقل من خلالها الموجة الطولية.
التعادل Neutralization: تفاعل يتم باتحاد حمض وقاعدة لتكوين ملح.

3-G قائمة المصطلحات

المحلول المعلق Suspension: خليط متجانس لا تكون مكوناته المختلفة في الطور نفسه.

التغير الفيزيائي Physical change: تغير تستبدل فيه المادة واحدة أو أكثر من خصائصها الفيزيائية دون التحول إلى مادة جديدة.

التغير الكيميائي Chemical change: تغير يتم فيه إعادة ترتيب ذرات مادة أو أكثر لإنتاج مواد جديدة.

التفاعل Interaction: فعل متبادل بين أجسام يؤثر بعضها ببعض بقوى متساوية ومتعاكسة في الاتجاه.

التفاعل الكيميائي Chemical reaction: مرادف للتغير الكيميائي.

التفاعل المتسلسل Chain reaction: تفاعل مستدام ذاتيًّا والذي تحفز فيه نواتج حدوث تفاعل واحد حدوث تفاعلات أخرى.

اندماج نووي حراري Thermonuclear fusion: اندماج نووي ينتج عن الحرارة العالية.

التقطير Distillation: عملية تنقية حيث تكثف المادة بعد تبخيرها بتمريرها إلى درجات حرارة باردة في دورق، ومن ثمّ يجمع السائل المكثف النقي.

التكاثف Condensation: تغير الطور من الغاز إلى السائل، وهو عكس التبخير الذي يشير إلى تسخين السائل حتى الغليان بحيث تحدث حالة من التبخير السريع ضمن السائل وفي الهواء المحيط. وكما هو الحال في التبخير يحدث التبريد.

التناضح Osmosis: انتشار الماء أو بعض السوائل الأخرى عبر غشاء شبه نفاذ من محلول له تركيز مذاب منخفض إلى محلول له تركيز مذاب أعلى.

التناضح العكسي Reverse osmosis: آلية لتنقية الماء لإجباره على المرور عبر غشاء شبه نفاذ.

التوافقي Harmonic: النغم الجزيئي الذي هو مضاعف عدد للتردد الأساس. الاهتزاز الذي يبدأ بتردد الاهتزاز هو التوافق الأول، وضعف الأساس هو التوافق الثاني وهكذا دواليك.

التوصيل Conduction: انتقال الطاقة الحرارية بواسطة اصطدام الجزيئات والإلكترونات في المادة (وخصوصًا في الجامد).

التيار الكهربائي Electric current: سريان الشحنة الكهربائية التي تنقل الطاقة من موقع إلى آخر. وتقاس بوحدة الأمبير، حيث 1A عبارة عن سريان 6.25×10^{18} في الثانية أو 1 كولوم في ثانية.

التيار المتناوب(ac) Alternating current: التيار الكهربائي الذي يعيد تغيير اتجاهه، تهتز الشحنات الكهربائية حول نقاط ثابتة. معدل الاهتزاز في الولايات المتحدة هو 60 هرتز.

التيار المستمر(dc) Direct current: التيار الكهربائي الذي يسري في اتجاه واحد فقط.

الثناقطبي Dipole: انفصال في الشحنة يحدث في الرابطة الكيميائية بسبب الفرق في السالبية الكهربائية للذرات المرتبطة.

الثناقطبي المستحث Induced dipole: ثناقطبي استحدث مؤقتًا في جزيء غير قطبي أصلًا، مستحث من شحنة مجاورة.

الجدول الدوري Periodic table: رسم يضم العناصر الكيميائية المعروفة جميعها بترتيب وفق العدد الذري لكل منها.

الجزيء Molecule: جسيم دون مجهري يتكوّن من مجموعة ذرات.

الجزيء Molecule: مجموعة من الذرات تتماسك بشدة مع بعضها بالروابط التساهمية.

جسيم ألفا Alpha particle: نواة ذرة الهيليوم التي تتكون من بروتونين ونيوترونين، وتطلق من بعض العناصر المشعة.

جسيم بيتا Beta particle: إلكترون (أو بوزترون) يطلق خلال عملية انحلال إشعاعي من بعض النويات.

الجهد الكهربائي Electric potential: طاقة الوضع الكهربائية لكل كمية الشحنة، وتقاس بالفولت وتسمّى غالبًا الجهد.

الجودة Quality: نغمة مميزة للصوت الموسيقي، يحكم بعدد النغمات الأليفة الجزئية وشدتها النسبية.

الحمض Acid: مادة تعطي أيونات الهيدروجين.

حمض الكربوكسيليك Carboxylic acid: جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الكربونيل. ويحتوي الكربون فيه على مجموعة الهيدروكسيل.

الحت Corrosion: انحلال الفلز، في العادة بفعل أكسجين الغلاف الجوي.

الحث الكهرمغناطيسي Electromagnetic induction: الجهد المستحث عندما يتغير المجال المغناطيسي مع الزمن. إذا تغير المجال المغناطيسي ضمن حلقة مغلقة بأي طريقة، فإن جهدًا يستحث في هذه الحلقة.

الحجم Volume: مقدار الحيّز الذي يشغله الجسم.
الحرارة Heat: الطاقة الحرارية التي تنساب من مادة درجة حرارتها أعلى إلى مادة درجة حرارتها أقل، وتقاس عادة بالسعرات أو الجولات.
حرارة الانصهار Heat of fusion: كمية الطاقة اللازمة لتحويل أي مادة من الصلابة إلى السيولة (وبالعكس)، وهي للماء 334 جول/جم (أو 80 سعر/جم).
حرارة التبخير Heat of vaporization: كمية الطاقة اللازمة لتحويل أي مادة من السيولة إلى الغازية (وبالعكس)، وهي للماء 2256 جول/جم (أو 540 سعر /جم).
حفظ الطاقة للآلات Conservation of energy and machines: الشغل الناتج عن أي آلة لا يمكن أن يزيد على الشغل المدخل إليها. في الآلة المثالية، لا توجد أي طاقة متحولة إلى طاقة حرارية.

$$\text{الشغل}_{\text{المدخل}} = \text{الشغل}_{\text{الناتج}} = (\text{Fd})_{\text{مدخل}} = (\text{Fd})_{\text{ناتج}}$$

الحقيقة Fact: ظاهرة ما يبديها ملاحظ كفء من خلال عمل سلسلة من الملاحظات المتوافقة.
الحمل Convection: انتقال الطاقة الداخلية في الغاز أو السائل بواسطة التيارات في المائع المسخن، ينساب المائع حاملًا الطاقة معه.
الخاصية الفيزيائية Physical property: أي صفة فيزيائية للمادة مثل اللون أو الكثافة أو القساوة.
الخاصية الكيميائية Chemical property: الخاصية التي تصف قدرة المادة على التعرض للتغير والتحول إلى مادة جديدة.
الخليط Mixture: اتحاد بين مادتين أو أكثر تحتفظ فيه كل مادة بخصائصها.
خليط غير متجانس Heterogeneous mixture: خليط يمكن اعتبار مكوناته المختلفة مواد مفردة.
خليط متجانس Homogeneous mixture: خليط تكون مكوناته ممزوجة بدقة، بحيث يكون التركيب نفسه (متجانسًا) في أجزائه كلها.
دارة التوازي Parallel circuit: دارة كهربائية تتكون من جهازين أو أكثر، موصولين بطريقة يتساوى فيها فرق الجهد المؤثر في أي منهما، أو في أي جهاز يكمل الدارة باستقلالية.
دارة التوالي Series circuit: دارة كهربائية بأجهزة موصلة بطريقة يسري فيها التيار الكهربائي نفسه خلال كل جهاز.
درجة الحرارة Temperature: مقياس لسخونة المواد أو برودتها، تتعلق بمعدل الطاقة الحركية لكل جزيء في المادة. تقاس بالدرجات المئوية، أو الدرجات الفهرنهايتية، أو الصفر المطلق.
درجة الصفر المطلق Absolute Zero: درجة الحرارة النظرية التي لا تمتلك المادة عندها أي طاقة حرارية والتي تكون عندها الطاقة الحركية لجسيمات المادة في أدنى قيمة لها.
درجة النغم Pitch: البصمة الذاتية لتردد الصوت.
دفع القوة Impulse: حاصل ضرب القوة المؤثرة في جسم ما في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها القوة.
الدورة Period: الزمن اللازم لحصول اهتزاز واحد، أو الزمن اللازم لإكمال الموجة دورة كاملة، وتساوي 1/التردد. والسطر الأفقي في الجدول الدوري.
دون المجهري Submicroscopic: في حجم الذرات والجزيئات، وهي صغيرة جدًّا بحيث لا يمكن رؤيتها مباشرة بالمجاهر الضوئية.
الديناميكا الحرارية Thermodynamics : دراسة الحرارة وتحولاتها إلى أشكال طاقة أخرى.
الذرة المغايرة Heteroatom: أي ذرة غير الكربون والهيدروجين في الجزيء العضوي.
الذوبانية Solubility: مقدرة المُذاب على الذوبان في مُذيب معين.
الرابطة الأيونية Ionic bond: رابطة كيميائية، حيث تمسك قوة الجذب الكهربائي الأيونات ذات الشحنات المتعاكسة معًا.
الرابطة التساهمية Covalent bond: رابطة كيميائية تمسك الذرات معًا بالجذب المتبادل لإلكترونين أو أكثر من الإلكترونات التي تتشارك فيها.
الرابطة الفلزية Metallic bond: رابطة كيميائية، تكون فيها أيونات الفلز الموجبة الشحنة متماسكة معًا ضمن "المائع".
الرابطة الكيميائية Chemical bond: قوة التجاذب بين ذرتين تجعلهما متماسكتين معًا، وأصلها كهربائي، كما نوقش في الفصل 19.
الرابطة الهيدروجينية Hydrogen bond: تجاذب ثناقطبي – ثناقطبي قوي بين ذرة هيدروجين مشحونة قليلًا بشحنة موجبة لجزيء وزوج من الإلكترونات غير المرتبطة لجزيء آخر .
الراد Rad: كمية كبيرة من الطاقة الإشعاعية تساوي 0.01 جول من الطاقة الممتصة لكل كيلوجرام من النسيج الحي.

5-G قائمة المصطلحات

الرافعة Lever: آلة بسيطة تتكون من قضيب صلب يرتكز في نقطة ثابتة تسمى نقطة الارتكاز.
الرم Rem: وحدة قياس لقدرة الإشعاع على إلحاق الضرر بالأنسجة الحية.
الرمز الذري Atomic symbol: اختصار للعنصر أو الذرة.
الرنين Resonance: استجابة الجسم عند تساوي الترددين: القسري والطبيعي.
الزخم الخطي Momentum: حاصل ضرب كتلة جسم ما في سرعته.
زمن التحليق Hang time: الزمن الذي ترتفع خلاله قدما شخص ما فوق السطح خلال قفزة عمودية.
زوج قوى Force pair: قوى الفعل ورد الفعل التي تحصل خلال تفاعل ما.
السالبية الكهربائية Electronegativity: مقدرة الذرة على جذب الزوج المرتبط من الإلكترونات إلى نفسها عندما ترتبط بذرة أخرى.
السبيكة Alloy: خليط عنصرين فلزّيْن أو أكثر.
سرعة الإفلات Escape speed: السرعة التي يجب أن يصل إليها المقذوف أو مِجَس الفضاء، أو ببساطة أي جسم، ليفلت من أثر الجاذبية الأرضية، أو أي جسم سماوي آخر ينجذب إليه.
السرعة الحدية Terminal speed: السرعة التي يصل إليها جسم ساقط عندما تتساوى مقاومة الهواء مع وزنه.
السرعة القياسية Speed: المسافة المقطوعة في وحدة الزمن.
السرعة المتجهة الحدية Terminal velocity: السرعة الحدِّية التي يكون فيها الاتجاه محددًا.
سرعة الموجة Wave speed: السرعة التي تتخطى بها موجة نقطة معينة.
سرعة الموجة = التردد × طول الموجة.
السعة Amplitude: (الاتساع) للموجة أو الاهتزاز، أعظم إزاحة على أي جانب من موقع الاتزان (نقطة النصف)
السعة الحرارية النوعية Specific heat capacity: كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة كتلة من المادة مقدار درجة سيليزية واحدة.

السقوط الحر Free fall: سقوط تحت تأثير الجاذبية فقط.
الشغل Work: حاصل ضرب القوة في المسافة المقطوعة تحت تأثير القوة

$$Fd = W$$

(عمومًا، الشغل هو مركبة القوة في اتجاه الحركة مضروبة في المسافة المقطوعة.)
شفاف Transparent: مصطلح يطلق على المواد التي يمر الضوء من خلالها دون امتصاص، ويكون في خطوط مستقيمة عادة.
الصيغة العنصرية Elemental formula: ترميز يستخدم الرمز الذري (أحيانًا) رقمًا سفليًّا (دليليًّا) للإشارة إلى كيفية ارتباط ذرات العناصرمعًا.
صيغة الكتلة Mass formula: مجموع الكتل الذرية للذرات في المركب الكيميائي أو العنصر.
الصيغة الكيميائية Chemical formula: ترميز يستخدم للإشارة إلى مكونات المركب، يتكون من الرمز الذري للعناصر المكونة للمركب كأرقام سفلية (دليلية) تشير إلى النسبة التي تتحد بها الذرات.
الضربات Beats: سلسلة من التعزيزات والإلغاءات المتناوبة التي تنتج عن التداخل لموجتين تختلفان قليلًا في ترديهما، وتسمع على شكل خفقان في أمواج الصوت.
الضغط Pressure: النسبة بين القوة والمساحة التي تتوزع عليها القوة:

الضغط = القوة / المساحة

ضغط السائل = الكثافة الوزنية × العمق

الضغط الجوي Atmospheric pressure: الضغط المؤثر في الأجسام المغمورة في الغلاف الجوي والناتج عن وزن الهواء الموجود فوق هذه الأجسام. عند مستوى سطح البحر، الضغط الجوي يساوي 101 كيلو باسكال تقريبًا.
طاردة للحرارة Exothermic: مصطلح يصف التفاعل الكيميائي الذي تكون فيه طاقة محررة صافية.
الطاقة Energy: خاصية نظام قادر على بذل شغل.

6-G قائمة المصطلحات

طاقة التنشيط Activation energy: الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لحدوث التفاعل الكيميائي.
الطاقة الحرارية Thermal energy: مجموع الطاقة (حركية + وضع) للجسيمات التي تتكون منها المادة.
طاقة الحركة Kinetic energy: الطاقة التي يمتلكها جسم ما عند حركته. كميًّا، وتكتب وفق العلاقة:

$$\text{طاقة الحركة} = \frac{1}{2}mv^2$$

طاقة الرابطة Bond energy: مقدار الطاقة التي امتصت عند تحطيم الرابطة الكيميائية أو تحررت عند تشكلها.
طاقة الوضع Potential energy: الطاقة التي تمتلكها المادة بسبب موقعها.

$$\text{الجاذبية PE} = mgh$$

طاقة الوضع الكهربائية Electric potential energy: الطاقة التي تمتلكها الشحنة نتيجة موقعها في المجال الكهربائي.
الطريقه العلمية Scientific method: إجراءات ومبادئ منهجية لتحصيل المعرفه، تتضمن معرفة المسألة وصياغتها، وجمع البيانات عبر الملاحظة والتجربة وفحص الفرضيات.
طول الموجة Wavelength: المسافة بين قمتين، أو بطنين متتاليين، أو أي جزأين متماثلين متتابعين من الموجة.
الطيف الذري Atomic spectrum: نمط ترددات الإشعاعات الكهرومغناطيسية المنبعثة من ذرة العنصر، وتعدّ "بصمة" العنصر.
الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic spectrum: مدى من الموجات الكهرومغناطيسية تمتد في التردد من الأمواج الراديوية إلى إشعاعات جاما.
عدد أفوجادرو Avogadro's number: عدد الجسيمات – 6.02×10^{23} – المحتوى في مول واحد من أي شيء.
العدد الذري Atomic number: مجموع عدد البروتونات في نواة الذرة.
العدد الكمي الرئيس Principal quantum number: عدد يحدد مستوى الطاقة المكمى للمدار الذري.
ماء عسر Hard water: ماء يحتوي على كميات كبيرة من أيونات الكالسيوم والماغنسيوم.
العلم Science: مجموع ما اكتشفه البشر عن الطبيعة، وهو عملية جمع المعرفة عن الطبيعة وتنظيمها.
العلم الكاذب Pseudoscience: ما يبدو أنه علم حقيقي، وهو ليس كذلك.
عمر النصف Half-life: الزمن اللازم لانحلال نصف عدد ذرات عينة نظير مشعّ.
العنصر Element: أي مادة تتكون من نوع واحد فقط من الذرات.
غشاء شبه نفاذ Semipermeable membrane: غشاء يسمح فقط بمرور جزيئات صغيرة تلائم فتحات المسامات دون المجهرية.
غير قابل للذوبان Insoluble: عدم القدرة على الذوبان بأي كمية ملموسة في مذيب معين.
غير قطبي Non polar: خاصية للرابطة الكيميائية التي لا يوجد لها ثناقطبي.
غير نقي Impure: يدل هذا المصطلح في الكيمياء على أن المادة الخليط مكونة من أكثر من عنصر أو مركب.
الفرضية Hypothesis: تخمين بارع، وتفسير منطقي للملاحظة أو النتائج التجريبية التي لم تقبل كحقائق مرة تلو الأخرى بالتجربة.
فرضية الكم Quantum hypothesis: تشير إلى أن طاقة الضوء موجودة في رزم منفصلة تسمى كمات، الكم رزمة صغيرة محددة من طاقة الضوء.
فرق الكمون Potential difference: الفرق في الجهد بين نقطتين، يقاس بالفولت، وعادة ما يسمى فرق الجهد.
الفينول Phenol: جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بحلقة بنزين.
القاعدة Base: مادة تأخذ أيونات الهيدروجين.
قاعدة أرخميدس Archimedes' principle: عندما يغمر جسم في مائع فإنه يتأثر بقوة طفو للأعلى تساوي وزن المائع المزاح (لكل من الغازات والسوائل).
قاعدة الاتزان Equilibrium rule: المجموع المتجه للقوى المؤثرة في جسم غير متسارع ويساوي صفرًا.
قاعدة باسكال Pascal's principle: التغير في الضغط عند أي نقطة في مائع محصور وساكن ينتقل إلى أجزاء المائع جميعها.
قاعدة برنولي Bernoulli's principle: الضغط في مائع يتحرك بثبات ودون احتكاك أو تغير في طاقتة الداخلية، ويقل بزيادة سرعة المائع.
القانون Law: عادة، فرضية أو بيان حول العلاقة بين كميات طبيعية فُحصت مرارًا ولم تُنقض. ويسمى أيضًا مبدأ.
قانون الانعكاس Law of reflection: زاوية السقوط = زاوية الانعكاس. الأشعتان: الساقطة والمنعكسة تقعان في مستوى عمودي على السطح العاكس.
القانون الأول في الديناميكا الحرارية First law of thermodynamics-: إعادة صياغة لقانون حفظ الطاقة، يطبق عادة على الأنظمة التي تتغير درجة حرارتها. كلما انسابت الحرارة من النظام فإن كسب الطاقة الحرارية أو خسارتها يساوي كمية الحرارة المنتقلة.

قانون التربيع العكسي Inverse-square law: ينتشر الأثر من مصدر نقطي بانتظام خلال الفضاء المحيط ويتناقص مع مربع المسافة:

الكثافة = 1 / (المسافة)^2

تتبع الجاذبية قانون التربيع- العكسي، كما هو الحال أيضًا في كلّ من الكهرباء والضوء والصوت وظاهرة الإشعاع.

القانون الثالث في الديناميكا الحرارية Third law of thermodynamics: عدم وصول أيّ نظام إلى درجة الصفر المطلق.

القانون الثاني في الديناميكا الحرارية Second law of thermodynamics: لا يمكن أن تنتقل الحرارة آنيًّا من مادة باردة إلى مادة ساخنة. أيضًا، في العمليات الطبيعية، تميل الطاقة ذات الجودة العالية للتحول إلى طاقة ذات جودة منخفضة- النظام يميل إلى الفوضى.

قانون الجذب الكوني Law of universal gravitation: يجذب كل جسم في الكون أيَّ جسم آخر بقوة. وهو لجسمين، يتناسب مباشرة مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًّا مع مربع البعد بينهما:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

قانون أوم Ohm's law: يتغير التيار في الدارة الكهربائية بتناسب مباشر مع فرق الجهد وعكسيًّا مع المقاومة:

التيار = الجهد / المقاومة

ينتج تيار مقداره 1 أمبير عندما يؤثر فرق جهد بمقدار 1 فولت عبر مقاومة مقدارها 1 أوم.

قانون بويل Boyle's law: يكون حاصل ضرب الضغط في الحجم ثابتًا لكتلة ما من غاز محصور بغض النظر عن تغير الضغط أو الحجم بشكل منفرد ما دامت درجة الحرارة ثابتة:

$$P_2V_2 = P_1V_1$$

قانون حفظ الزخم Law of conservation of momentum: عند عدم وجود قوة خارجية على نظام ما فإن زخمه يبقى ثابتًا. وهكذا فإن الزخم قبل حدث ما، بما يتضمنه من قوى داخلية، يساوي الزخم بعد الحدث.

$$mv_{\text{قبل}} = mv_{\text{بعد}}$$

قانون حفظ الطاقة Law of conservation of energy: الطاقة لا يمكن أن تستحدث أو تفنى، بل تتغير من شكل إلى آخر، أما مجموع الطاقة فلا يتغير أبدًا.

قانون حفظ الكتلة Law of mass conservation: المادة لا تفنى ولا تُستحدث خلال التفاعل الكيميائي، بل يعاد ترتيب الذرات فقط، دون فقد أو اكتساب أي كتلة، لتكوين جزيئات جديدة.

قانون فارادي Faraday's law: قانون الحث الكهرومغناطيسي الذي يتناسب فيه جهد الحث في ملف مع عدد الحلقات مضروبًا في معدل تغير المجال المغناطيسي ضمن هذه الحلقات. (إن جهد الحث في الحقيقة هو نتاج الظاهرة الأكثر أساسية: حث المجال الكهربائي.)

قانون كولوم Coulomb's law: العلاقة بين القوة الكهربائية والشحنة والمسافة: إذا كانت الشحنات متشابهة في النوع فالقوة تنافر، أما إذا كانت الشحنات مختلفة، فتكون القوة تجاذبًا.

قانون ماكسويل مقابل قانون فارادي Maxwells' counter-part to Faradays' law: يتولد مجال حث مغناطيسي في أي منطقة من الفضاء حيث يتغير المجال الكهربائي مع الزمن. وبالمثل، يتولد مجال حث كهربائي في أي منطقة من الفضاء؛ حيث يتغير المجال المغناطيسي مع الزمن.

قانون نيوتن الأول في الحركة Newton's first law of motion: كل جسم يستمر في حالة سكونه أو حركته في خط مستقيم بسرعة ثابتة ما لم تؤثر فيه قوة محصلة.

قانون نيوتن الثالث Newton's third law of motion: عندما يؤثر جسم بقوة في جسم آخر فإن الجسم الآخر يؤثر بقوة مساوية ومعاكسة في الاتجاه للجسم الأول.

قانون نيوتن الثاني في الحركة Newton's second law of motion: التسارع الناتج عن قوة محصلة على جسم ما يتناسب طرديًّا مع محصلة القوى وفي اتجاهها نفسه، ويتناسب عكسيًّا مع كتلة الجسم.

قانون نيوتن للتبريد Newton's law of cooling: يتناسب معدل فقد الطاقة الداخلية من الجسم مع الفرق في درجة الحرارة بين الجسم ومحيطه. يناسب معدل التبريد مع .

القدرة Power: معدل الشغل المبذول

القدرة = الشغل / الزمن

عادة، القدرة هي معدل استهلاك الطاقة

القدرة الكهربائية Electric power: معدل انتقال الطاقة، أو معدل بذل الشغل، كمية الطاقة لوحدة الزمن، والتي يمكن قياسها بحاصل ضرب التيار في الجهد:

القدرة = التيار × الجهد

وتقاس بالواط (أو الكيلواط)، حيث 1 أمبير × 1 فولت = 1 واط.

المقذوف Projectile: أي جسم يتحرك خلال الهواء أو الفضاء تحت تأثير الجاذبية.
القشرة Shell: مجموعة من المدارات المتداخلة لها مستوى الطاقة نفسه. وبكلام آخر، منطقة في الفضاء تكون الإلكترونات المتماثلة في مستوى الطاقة في الذرة لها نسبة وجود 90%.
قشرة التكافؤ Valence shell: القشرة الخارجية الأخيرة المعبأة في الذرة.
القصور Inertia: خاصية مقاومة الأجسام للتغيرات في الحركة.
القطب Electrode: أي مادة توصل الإلكترونات من وسط حدوث التفاعل الكهروكيميائي أو إليه.
قطبي Polar: خاصية للرابطة الكيميائية التي لها ثناقطبي.
القطع الزائد Parabola: المسار المنحني الذي تتبعه القذيفة تحت تأثير الجاذبية الثابتة فقط.
القمر الصناعي Satellite: مقذوف أو جسم سماوي صغير يدور حول جسم سماوي أكبر.
القوة Force: بتعبير بسيط، دفع أو سحب.
قوة الدعم Support force: قوة تدعم جسمًا ضد الجاذبية، وغالبًا ما تسمى القوة العمودية.
القوة الصافية Net force: دمج القوى جميعها التي تؤثر في جسم ما.
قوة الطفو Buoyant force: محصلة القوة للأعلى التي يؤثر بها السائل في جسم مغمور فيه.
القوة المغناطيسية Magnetic force: (1) بين المغانط. تجاذب بين الأقطاب المختلفة وتنافر بين الأقطاب المتشابهة.(2) بين المجال المغناطيسي والشحنة المتحركة، هي قوة حارفة بسبب حركة الشحنة: تكون القوة الحارفة عمودية على سرعة الشحنة وعمودية على خطوط المجال المغناطيسي. وتكون هذه القوة أعظم ما يمكن عندما تتحرك الشحنة عموديًّا على خطوط المجال وأقل ما يمكن (صفر) عندما تتحرك موازية لخطوط المجال.
القوة النووية القوية Strong nuclear force: قوة التفاعل بين النويات جميعها، وهي ذات فاعلية على المسافات القصيرة جدًّا فقط.
الكاثود Cathode: القطب الذي يحصل عليه الاختزال.

إلكترون التكافؤ Valence electron: الإلكترون الموجود في المدار الأخير من القشرة في الذرة، والذي يشترك في الرابطة الكيميائية.
الكتلة Mass: كمية المادة في الجسم. وأكثر تحديدًا، هي مقياس القصور أو الركود الذي يسلكه الجسم استجابة لأي مؤثر يعمل على تحريكه أو إيقافه، أو أي تغيير في حالة حركته.
الكتلة الحرجة Critical mass: الحد الأدنى من كتلة المادة الانشطارية في المفاعل أو القنبلة النووية، والذي يبقى على التفاعل المتسلسل مستمرًّا.
الكتلة الذرية Atomic mass: كتلة ذرات العنصر الموجودة في قائمة الجدول الدوري كقيمة وسطية على أساس التوافر النسبي لنظائر العنصر.
الكتلة المولرية Molar mass: كتلة مول واحد من المادة.
الكثافة Density: كمية المادة في وحدة الحجم.

الكثافة = الكتلة / الحجم

كثافة وزنية هي الوزن في وحدة الحجم.

الكحول Alcohol: جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بذرة كربون مشبعة.
الكفاءة Efficiency: نسبة الشغل الناتج إلى الشغل المدخل. (عادة الطاقة الناتجة مقسومة على الطاقة المدخلة.)

الكفاءة = الطاقة الناتجة / مجموع الطاقة المدخلة

الكمية المتجهة Vector quantity: كمية يلزم لوصفها كل من مقدارها واتجاهها.
الكهرلة Electrolysis: استخدام الطاقة الكهربائية لإحداث تغير كيميائي.
كولوم Coulomb: الوحدة العالمية (SI) للشحنة الكهربائية. قيمة الكولوم الواحد (الرمز C) تساوي مجموع شحنات 6.25×10^{18} إلكترون.
كيتون Ketone: جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الكربونيل، الكربون فيها مرتبط بذرتي كربون.
الكيلوجرام Kilogram: وحدة كتلة. الكيلوجرام الواحد (رمزه كجم) هو لتر واحد من الماء عند درجة حرارة 4°س.
الكيمياء العضوية Organic chemistry: دراسة المركبات التي تحتوي على الكربون.
الكيمياء الكهربائية Electrochemistry: فرع من الكيمياء يهتم بالعلاقة بين الطاقة الكهربائية والتغير الكيميائي.

ماص للحرارة Endothermic: مصطلح يصف التفاعل الكيميائي الذي يكون فيه صافي امتصاص للطاقة.
مبدأ العوم Principle of flotation: الجسم العائم على سطح مائع يزيح من المائع مقدارَ وزنه.
المبلمر Polymer: جزيء عضوي طويل مصنوع من العديد من الوحدات المتكررة.
مبلمر التكثيف Condensation polymer: المبلمر المكون من وصل وحدات المونومر المصحوب بفقدان جزيئات صغيرة، مثل الماء.
المبلمر المضاف Addition polymer: المبلمر المكون من وصل وحدات المونومر، بحيث لا تفقد ذرات عند تشكيل المبلمر.
المتجه Vector: إشارة سهم يمثل مقدار كمية ما واتجاهها.
المتفاعلات Reactants: المواد المتفاعلة في التفاعل الكيميائي.
المجال الكهربائي Electric field: قوة وحدة الشحنة، ويمكن اعتباره هالة نشطة محيطة بالأجسام المشحونة. يتناقص المجال مع المسافة حول نقطة مشحونة وفق قانون التربيع العكسي، مثل المجال الجذبي. يكون المجال الكهربائي منتظمًا بين الصفائح المتوازية المشحونة بشحنتين متعاكستين.
المجال المغناطيسي Magnetic field: منطقة تأثير المغناطيس حول القطب المغناطيسي أو الجسيم المتحرك المشحون.
مجموعة Group: صف عمودي في الجدول الدوري، ويعرف أيضًا عناصر العائلة.
مجموعة الكربونيل Carbonyl group: ذرة كربون مرتبطة ثنائيًّا بذرة أكسجين، موجودة في الكيتونات، والألدهايدات، والأميدات، وحوامض الكربوكسيليك، والإيسترات.
المجموعة الوظيفية Functional group: اتحاد معين من الذرات التي تتصرف كوحدة في الجزيء العضوي.
المحفّز Catalyst: أي مادة تزيد من سرعة التفاعل الكيميائي دون أن تُستهلك فيه.
المحلول Solution: خليط متجانس حيث يكون لمكوناته جميعها الطور نفسه.
المحلول الحمضي Acidic solution: محلول يكون فيه تركيز أيونات الهيدرونيوم أكثر من تركيز أيونات الهيدروكسيل.
المحلول القاعدي Basic solution: محلول يكون فيه تركيز أيون الهيدروكسيل أكثر من تركيز أيون الهيدرونيوم.
المحلول المتعادل Neutral solution: محلول يكون فيه تركيز أيونات الهيدرونيوم مساويًا لتركيز أيونات الهيدروكسيل.
محلول غير مشبع Unsaturated solution: محلول يستطيع إذابة كمية إضافية من المذاب.
محلول مشبع Saturated solution: محلول يحتوي على الكمية العظمى من المذاب الذي يمكن إذابته في المذيب.
المحوّل Transformer: جهاز لتحويل القدرة الكهربائية من ملف سلك إلى ملف سلك آخر بطريقة الحث الكهرمغناطيسي.
المذيب Solvent: مكوِّن المحلول ذو الكمية الكبرى.
المركب Compound: مادة تنتج عن ارتباط ذرات عناصر مختلفة بعضها عن بعض.
المركب الأيوني Ionic Compound: أي مركب كيميائي يحتوي على أيونات.
المركب التساهمي Covalent Compound: عنصر أو مركب كيميائي تتماسك الذرات فيه بالروابط التساهمية.
المركب العطري Aromatic compound: أي جزيء عضوي يحتوي على حلقة بنزين.
مستقطب كهربائيًّا Electrically polarized: يطلق على الذرة أو الجزيء الذي تترتب الشحنات فيه بحيث يكون أحد الجوانب مشحونًا بشحنة فائضة موجبة، في حين يكون الجانب الآخر له شحنة إضافية سالبة.
المطياف Spectroscope: جهاز يستخدم المنشور أو المحزز لفصل الضوء إلى مكوناته.
المعادلة الكيميائية Chemical equation: تمثيل للتفاعل الكيميائي؛ حيث تسجل المواد المتفاعلة قبل السهم الذي يشير إلى النواتج.
معتم Opaque: خاصية امتصاص الضوء دون إعادة انبعاثه (عكس شفاف).
معدل التفاعل Reaction rate: مقياس لسرعة تزايد تركيز المواد المتفاعلة في التفاعل الكيميائي أو تناقص تركيز المتفاعلات.
مغناطيس كهربائي Electromagnet: المغناطيس الذي ينتج مجاله بالتيار الكهربائي. ويكون عادة على شكل ملف سلك حول قطعة حديد.
المقاومة الكهربائية Electrical resistance: صفة للمادة التي تقاوم سريان التيار الكهربائي من خلالها. تقاس بالأوم (Ω).
مقاومة الهواء Air resistance: قوة الاحتكاك المؤثرة في جسم ما نتيجة حركته في الهواء.
مقياس الضغط الجوي Barometer: أي أداة تُستخدم لقياس الضغط الجوي.
الملح Salt: مركب أيوني يتشكل من تفاعل حمض وقاعدة.

المناطق المغناطيسية Magnetic domains: مناطق تجمع ذرات مصطفة. عندما تصطف هذه المناطق بعضها مع بعض، تصبح المواد التي تحتوي على هذه المناطق مغناطيسًا.
الموجة Wave: تذبذب في المكان والزمان معًا.
الموجة الصادمة Shock wave: الموجة المتكوّنة على شكل مخروط من جسم متحرك بسرعة صوتية فائقة خلال مائع.
الموجة الطولية Longitudinal wave: الموجة التي يكون اتجاه الوسط المهتز موازيًا (طوليًا) مع اتجاه انتقال الموجة؛ أمواج الصوت طولية.
الموجة العرضية Transverse wave: الموجة التي يكون اتجاه الوسط المهتز متعامدًا (عرضيًا) على الاتجاه الذي تنتقل فيه الموجة؛ أمواج الضوء عرضية.
الموجة المنحنية Bow wave: الموجة المتكونة على شكل حرف V من جسم متحرك عبر سطح سائل بسرعة أكبر من سرعة الموجة.
الموجة الواقفة Standing wave: يتشكّل نمط موجة مستقرة في الوسط عندما تمر مجموعتان من الأمواج المتماثلة خلال وسط في اتجاهين متعاكسين.
الموجة الكهرومغناطيسية Electromagnetic wave: موجة حاملة للطاقة، تنبعث من اهتزازات الشحنات الكهربائية، (غالبًا إلكترونات) وتتكون من مجالين؛ كهربائي ومغناطيسي متذبذبين، يولد أحدهما الآخر.
الموصل Conductor: أي مادة لها جسيمات حرة مشحونة تنساب من خلالها بسهولة عندما تؤثر فيها قوة كهربائية.
الموصل الفائق Superconductor: أي مادة تنعدم فيها المقاومة الكهربائية، حيث تسري الإلكترونات فيها دون فقدان طاقة ودون توليد حرارة أيضًا.
المول Mole: أي كمية من المادة النقية التي تحتوي على عدد من الذرات، أو الجزيئات، أو الأيونات، أو أي وحدات أساسية تساوي عدد الذرات في 12 جم من الكربون -12. وهذا العدد يساوي 6.02×10^{23} جسيم.
المولارتي Molarity: وحدة قياس التركيز، وتساوي عدد المولات المذابة في المحلول.
المولد Generator: جهاز حث كهرمغناطيسي ينتج تيارًا كهربائيًّا بدوران ملف ضمن مجال مغناطيسي ثابت.
المونومرات Monomers: وحدات جزيئية صغيرة، تتكون المبلمرات منها.
النشاط الإشعاعي Radioactivity: عملية تنشطر فيها نواة ذرة غير مستقرة وتطلق إشعاعًا.
نصف تفاعل Half reaction: جزء واحد من تفاعل التأكسد – الاختزال، يُمثَّل بمعادلة حيث تظهر الإلكترونات كمتفاعلات أو نواتج.
النظائر Isotopes: أي عضو في مجموعة الذرات للعنصر نفسه، والتي تحتوي أنويتها على عدد البروتونات نفسه ولكن باختلاف في عدد النيوترونات.
النظرية Theory: عدد هائل من المعلومات المفحوصة جيدًا والمؤكدة حول أوجه معينة من العالم الطبيعي.
نظرية الشغل والطاقة Work – energy theorem: الشغل المبذول على جسم ما يساوي التغير في طاقة حركته.

$$\text{الشغل} = \Delta(KE)$$

الشغل يمكن أن ينقل للنظام شكلًا آخر من أشكال الطاقة.
النغمة الأليفة الجزئية Partial tone: أحد الترددات الموجودة في نغم مركب. عندما يكون النغم الجزئي مضاعف عدد صحيح لأقل تردد فإنه يكون توافقيًّا.
نقي Pure: مكون من تركيب منتظم، أو دون شوائب. يدل هذا المصطلح في الكيمياء على مادة مكونة من عنصر واحد أو مركب واحد.
نموذج مفاهيمي Conceptual model: تمثيل للجسم وفق مقياس مناسب.
نواة الذرة Atomic nucleus: مركز كثيف موجب الشحنة لكل ذرة.
النواتج Products: المواد الجديدة المتكونة في التفاعل الكيميائي.
النوية Nucleon: أي جسيم دون مجهري يوجد في نواة الذرة. وهي اسم آخر لكل من البروتون والنيوترون.
نيوترون Neutron : جسيم دون مجهري متعادل كهربائيًّا في نواة الذرة.
النيوتن Newton: الوحدة العلمية للقوة.
الهيدروكربون Hydrocarbon: مركب كيميائي يحتوي على الكربون والهيدروجين فقط.
الهيدروكربون المشبع Saturated hydrocarbon: الهيدروكربون الذي لا يتضمن روابط تساهمية متعددة، وتكون ذرة الكربون مرتبطة بأربع ذرات أخرى.
الهيدروكربون غير المشبع Unsaturated hydrocarbon: الهيدروكربون الذي يتضمن رابطة تساهمية متعددة واحدة على الأقل.
هرتز Hertz: الوحدة العملية للتردد؛ الهرتز الواحد يساوي ترددًا واحدًا لكل ثانية.
الهيئات Configurations: مصطلح يستخدم لوصف كيفية اتصال الذرات ضمن الجزيء، مثلًا، التركيب الأيزوميري يتكون من عدد الذرات نفسه ونوع الذرات نفسه، ولكن لهما هيئات مختلفة.
الوزن Weight: بتعبير بسيط، القوة الناتجة عن الجاذبية على أي جسم. وأكثر تحديدًا، قوة الجاذبية التي يضغط بها جسم ضد السطح الذي يحمله.

PHOTO CREDITS

حقوق التصوير

1: NASA/Johnson Space Center
13: Paul G. Hewitt III
15: John Dalton/Photo Researchers, Inc.
16: Corbis Los Angeles
17: Sustermans, Justus (1597–1681)
The Bridgeman Art Library International
Galleria degli Uffizi, Florence, Italy/The Bridgeman Art Library
22: Paul G. Hewitt
25: Rick Lucas/Rick Lucas, collection of Paul Hewitt
25: Alan Schein Photography/Corbis Digital Stock Royalty Free Los Angeles
31: NBAE/Getty Images/Getty Images, Inc.
37: Jump Run Productions/ Getty Images Inc. —Image Bank
39: Erich Lessing/Art Resource, N.Y.
45: Fundamental Photographs, NYC
51: Henry R. Fox/Animals Animals/Earth Scenes
51: Paul G. Hewitt
53: Giraudon/Art Resource. Artist: Godfrey Kneller
56: Paul G. Hewitt
59: Gavriel Jecan/Getty Images Inc. —Stone Allstock
61: Palm Press, Inc./ (c) Harold & Esther Edgerton Foundation, 2003, Courtesy of Palm Press, Inc.
63: Paul G. Hewitt
64: Paul G. Hewitt
64: Paul G. Hewitt
67: Paul G. Hewitt
69: Assan Ammar/AFP Photo/Getty Images — BC
70: Paul G. Hewitt
72: Paul G. Hewitt
72: (left) Michael Vollmer/Paul G. Hewitt
72: (right) Michael Vollmer/Paul G. Hewitt
74: (left) Jack Hancock/Paul G. Hewitt
74: (right) Jack Hancock/Paul G. Hewitt
75: NASA/Goddard Space Flight Center
84: Paul G. Hewitt
87: NASA
93: NASA
96: Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
100: NBAE/Getty Images/Getty Images, Inc.
104: Paul G. Hewitt
107: NASA/Goddard Space Flight Center
108: NASA Earth Observing System
115: Alamy Images
118: (top) Paul G. Hewitt
118: (bottom) Tsing Bardin/Paul G. Hewitt
123: (A&B) Milo Patterson/Paul G. Hewitt
125: The Granger Collection
128: Paul G. Hewitt
130: Construction Photography.com
132: Paul G. Hewitt
136: Margaret Ellenstein/Paul G. Hewitt
141: G. Brad Lewis/Omjalla Images
142: Paul G. Hewitt
146: Paul G. Hewitt
147: Paul G. Hewitt
150: AP Wide World Photos
151: (left) LU Engineers/Lu Engineers, Penfield, NY
151: (right) Hu Meidor
152: Nuridsany et Perennou/Photo Researchers, Inc/Photo Researchers, Inc.
156: Lillian Lee Hewitt/Paul G. Hewitt
156: Paul G. Hewitt
159: Tracy Suchocki/Paul G. Hewitt
160: Paul G. Hewitt
161: (top) Don Hynek
161: (bottom) Nancy Rogers/Paul G. Hewitt
162: (top) Paul G. Hewitt
162: (bottom) Paul G. Hewitt
166: (left and right) Paul G. Hewitt
169: Paul G. Hewitt
169: (left) Paul G. Hewitt
169: (right) Lillian Lee Hewitt
170: Paul G. Hewitt
171: Dennis Wong
173: Nicole Minor/Exploratorium/Copyright The Exploratorium, www.exploratorium.edu./ Photograph by Nicole Minor
174: Lillian Lee Hewitt
175: Paul G. Hewitt
181: Steven Hunt/Getty Images Inc. —Image Bank
188: Princeton University, Palmer Physical Laboratory
188: (bottom) Evan Jones/Collection of Paul Hewitt
190: Paul G. Hewitt
191: Zig Leszczynski/Animals Animals/Earth Scenes
192: Addison Wesley Longman, Inc./San Francisco
195: John Lightfoot/Paul G. Hewitt
196: Paul G. Hewitt
197: Addison Wesley Longman, Inc./San Francisco
198: Addison Wesley Longman, Inc./San Francisco
199: Howard Lukefahr/Collection of Paul Hewitt
200: Paul G. Hewitt
201: (top) Addison Wesley Longman, Inc./San Francisco
201: Paul G. Hewitt
209: T. S. Florian/Grant Heilman Photography, Inc.
211: Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
211: (a, b) Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
212: Fred Myers, Photographer
213: Paul G. Hewitt
214: (a, b, c) Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
215: AP Wide World Photos
215: John Suchocki
217: (a, b) Addison Wesley Longman, Inc./San Francisco
220: John A. Suchocki
220: Lillian Lee Hewitt/Paul G. Hewitt
222: Paul G. Hewitt
222: (bottom) Lillian Lee Hewit
223: Lillian Lee Hewitt
224: Tunneling microscopy courtesy of noorderlicht.vpro.nl
225: Paul G. Hewitt
227: Lillian Lee Hewitt
231: Chris Chiaverina and Tom Rossing/Andrew Morrison
233: Dave Eddy
236: Paul G. Hewitt
237: Lebrecht Music and Arts Photo Library/Alamy Images
238: Leslie A. Hewitt
238: Laura Pike & Steve Eggen
240: Paul G. Hewitt
240: (a) AP Wide World Photos
240: (b) Corbis Los Angeles
240: (c) AP Wide World Photos
241: Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
241: (bottom) Udo Von Mulert
242: Norman Synnestvedt/Paul G. Hewitt
245: U.S. Navy News Photo
247: Paul G. Hewitt
248: Hu Meidor
251: Paul G. Hewitt
255: Paul G. Hewitt
258: Paul G. Hewitt
259: Paul G. Hewitt
261: Paul G. Hewitt
262: (top) David Nunuk/Photo Researchers, Inc.
262: Institute of Paper Science & Technology
264: (left) Ted Mathieu/Paul G. Hewitt
264: Robert Greenler/Paul G. Hewitt
266: Hu Meidor
268: Dave Vasquez/Paul G. Hewitt
268: (bottom) Paul G. Hewitt
269: Paul G. Hewitt
269: (a–f) Paul G. Hewitt
270: Hu Meidor
271: Getty Images/Retrofile
271: (bottom) Don King/Getty Images Inc. — Image Bank
273: Paul G. Hewitt
276: Diane Schiumo/Fundamental Photographs, NYC
277: Paul G. Hewitt
278: Paul G. Hewitt
279: Suzanne Lyons/Paul G. Hewitt
279: Barbara Thomas
283: John Suchocki
285: IBM Corporate Archives/ Courtesy of IBM Archives. Unauthorized use not permitted.
286: IBM Corporate Archives Courtesy of IBM Archives. Unauthorized use not permitted.
287: John Suchocki
289: (a) Rachel Epstein/SKA/ Stuart Kenter Associates
289: (b) Rachel Epstein/PhotoEdit Inc.
289: Tony Freeman/PhotoEdit Inc.
292: (a) Getty Images, Inc. — PhotoDisc
292: (b) Getty Images, Inc. — PhotoDisc
292: (c) Peter Arnold, Inc.
292: (d) Getty Images, Inc. — PhotoDisc
292: (e) Fundamental Photographs, NYC

292: (f) Photo Researchers, Inc.
292: (g) Getty Images, Inc. — PhotoDisc
292: (h) Fundamental Photographs
293: Mark Martin/Photo Researchers, Inc.
294: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
297: (a) National Institute of Standards and Technology/ National Institute of Standards and Technology (NIST)
297: (b) IBM Corporate Archives/Courtesy of IBM Archives. Unauthorized use not permitted.
297: (c) IBM Corporate Archives/Courtesy of IBM Archives. Unauthorized use not permitted.
298: (a) Geoff Brightling/Dorling Kindersley Media Library/Peter Minister — modelmaker (c) Dorling Kindersley
298: (b) Rachel Epstein/Stuart Kenter Associates
299: (a) Ace Photo Agency/Phototake NYC
299: (b) John Suchocki
299: (bottom, a, b) John Suchocki
300: (a) Tom Bochsler/Pearson Education/PH College
300: (a2) Phil Degginger/Color-Pic, Inc.
300: (b) Tom Pantages
300: (b2) Color-Pic, Inc.
300: (c) Corbis/Bettmann
300: (c2) Phil Degginger/Color-Pic, Inc.
300: (d) Richard Megna Fundamental Photographs, NYC
300: (d2) Phil Degginger/ Color-Pic, Inc.
302: (a) John Suchocki
302: (b) David Scharf/Peter Arnold, Inc.
303: (a, b, c) John Suchocki
305: Linus Pauling/ Bettmann Corbis Los Angeles
307: Paul G. Hewitt
308: John Suchocki
311: Joe Sohm/Chromosohm/The Stock Connection
313: International Atomic Energy Agency
314: Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
315: (top) Stevie Grand/Photo Researchers, Inc.
315: Jerry Nulk and Sra Joshua Baker
316: Chris Priest/Photo Researchers, Inc.
319: (a, b) Saint-Gobain Crystals & Detectors
321: Lawrence Berkeley National Laboratory
326: Joe Sohm/Chromosohm/The Stock Connection
332: Published with permission of ITER
337: John Suchocki
338: NASA/Goddard Institute for Space Studies
339: Getty Images, Inc. — Photodisc
340: (a) John Beatty/Getty Images Inc. —Stone Allstock/ Getty Images, Inc.
340: (b) Pearson Education/ Benjamin Cummings Publishing Company
341: (a) Fundamental Photographs, NYC
341: (b) Paul G. Hewitt
341: (c) Pearson Education/ Benjamin Cummings Publishing Company
342: (a) Getty Images, Inc. — Photodisc
342: (b) Tom Pantages
342: (a, bottom) Steve Allen/Brand X Picture/Jupiter Images — PictureArts Corporation/ Brand X Pictures Royalty Free
342: (b, bottom) Phil Degginger Color-Pic, Inc.
342: (c, bottom) Blickwinkel/ Alamy Images
343: John Suchocki
344: (top) Stephen R. Swinburne/Stock Boston
344: (center) Paul G. Hewitt
344: (bottom) Sharon Hopwood/Paul G. Hewitt/Sharon Hopwood
345: Sharon Hopwood/Paul G. Hewitt/Sharon Hopwood
346: (a) Stuart Kenter Associates
346: (b) Stuart Kenter Associates
346: (c) Stuart Kenter Associates
346: (d) Stuart Kenter Associates
353: Charles M. Falco/Photo Researchers, Inc.
355: Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.
359 (a) Rachel Epstein/Stuart Kenter Associates
359: (b) F. Hache/Photo Researchers, Inc.
360: Herve Berthoule/Jacana Scientific Control/Photo Researchers, Inc.
360: (a) Chip Clark/Chip Clark
360: (b) Arnold Fisher/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.
361: Dee Breger/Photo Researchers, Inc.
362: Jeff Daly/Stock Boston
362: Francois Gohier/Photo Researchers, Inc.
363: Stuart Kenter Associates
364: (a) Pearson Education/ Benjamin Cummings Publishing Company
364: (b) Pearson Education/ Benjamin Cummings Publishing Company
365: Vaughan Fleming/Photo Researchers, Inc.
369: David Taylor/Photo Researchers, Inc.
371: AP Wide World Photos
374: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
375: (a) Andrew Lambert Photography/Photo Researchers, Inc.
375: Photo Researchers, Inc.
375: (bottom) Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
376: Reuters/Corbis Los Angeles
381: Dr. T. S. Schrichte/Photo Resource Hawaii Stock Photography
382: (top) Getty Images Inc. — Stone Allstock/Getty Images, Inc.
382: (a, b) John Suchocki
383: Don Geddis
384: (a) Carey B. Van Loon/Carey B. Van Loon
384: (b) Voz Noticias/Corbis Los Angeles
384: (bottom) George Gerster/Photo Researchers, Inc.
385: (a1) Colin Keates/Dorling Kindersley Media Library/ (c) Dorling Kindersley, Courtesy of the Natural History Museum, London
385: (a2) Ken Karp/Omni-Photo Communications, Inc.
385: (a3) Getty Images, Inc.— Photodisc
385: (b1) Greg Vaughn/Pacific Stock.com
385: (b2) Getty Images, Inc.— Photodisc
385: (b3) John Suchocki
386: Brian Yarvin/Photo Researchers, Inc.
387: (a) Fred Ward/Black Star
387: (b) Rachel Epstein/Stuart Kenter Associates
387: (c) Topham/The Image Works
392: (top) Leonard Lessin/Peter Arnold, Inc.
392: John Suchocki
396: Sheila Terry/Photo Researchers, Inc.
398: NEPCCO Environmental Systems
400: Saline Water Conversion Corporation
400: (bottom) SolAqua
402: (top) Ray Pfortner/Peter Arnold, Inc.
402: (bottom) Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
403: Honolulu/City and County of Honolulu
408: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
409: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
411: Getty Images — Digital Vision
416: (a, b, c) Stuart Kenter Associates
423: Corbis Los Angeles
424: Rachel Epstein/Stuart Kenter Associates/Corbis/Bettmann
425: (top) Photo Researchers, Inc.
425: (a) E. R. Degginger/Photo Researchers, Inc.
425: (b) Jon Lemker/Animals Animals/Earth Scenes
428: NASA/Stuart Kenter Associates
430: John Suchocki
437: John-Peter Lahall/Photo Researchers, Inc.
438: (a) M. P. Gadomski/Photo Researchers, Inc.
438: (b, c, d) Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
438: (bottom, a) S. Grant/ PhotoEdit Inc.
438: (bottom, b) INSADCO Photography/Alamy Images Royalty Free
438: (bottom, c) David Buffington/Getty Images, Inc. — Photodisc.
438: (bottom, d) Larry Stepanowicz/Fundamental Photographs, NYC
441: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
444: (a, b, c) Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
447: (a) Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
447: (b) Andrew McClenaghan/Photo Researchers, Inc.
449: (a1) M. Bleier/Peter Arnold, Inc.
449: (a2) Will McIntyre/Photo Researchers, Inc.
449: (b) M. Bleier/Peter Arnold, Inc.
450: Charles D. Winters/Photo Researchers, Inc.
452: Tom Pantages/Tom Pantages
456: Lennard Lesson/Peter Arnold, Inc.
457: Toyota Motor Corporation Services
458: Ballard Power Systems
459: Michael C. Liu/Michael C. Liu, et al. "Single-Walled Carbon Nanotubes at Room Temperature," Science, Nov. 5, 1999: 1127–1129
459: John Suchocki
461: (top) John Suchocki
461: (bottom) Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
462: Chevron Texaco Corp.
466: John Suchocki
471: John Suchocki
476: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
478: Ed Degginger/Color-Pic, Inc.
488: (a) Bob Gibbons/Photo Researchers, Inc.
488: (b) Peter Arnold, Inc.
493: John Suchocki
494: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company

494: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
497: AP Wide World Photos/FUJITSU, Associated Press
501: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
503: Leslie Hewitt Abrams
505: Michael T. Stewart/Lava Images
509: Arnold Fisher/Photo Researchers, Inc.
510: (a) Breck P. Kent/Animals Animals/Earth Scenes
510: (b) Charles D. Winters/Photo Researchers, Inc.
510: (c) Lee Bottin/Paul G. Hewitt
510: (d) Mark A. Schneider/ Visuals Unlimited
510: (e) Harry Taylor/Dorling Kindersley Media Library/Harry Taylor
(c) Dorling Kindersley, Courtesy of the Natural History Museum, London
510: (f) National Institute for Occupational Safety & Health
511: (a) Paul Silverman/ Fundamental Photographs, NYC
511: (b) Chip Clark
512: Bob Abrams
512: (a) M. Claye/Jacana Photo Researchers, Inc.
512: (b) E. R. Degginger/ Photo Researchers, Inc.
516: Color-Pic, Inc.
518: (a) Harry Taylor/Dorling Kindersley Media Library
518: (b) Charles D. Winters/Photo Researchers, Inc.
518: (c) Colin Keates (c) Dorling Kindersley, Courtesy of the Natural History Museum, London
518: (d) Marli Miller/Visuals Unlimited
519: (a) Beth Davidson/Visuals Unlimited
519: (b) Color-Pic, Inc.
519: (c) A. J. Copley/Visuals Unlimited
519: (d, e, f) California Academy of Sciences — Geology/Susan Middleton, 1986
521: (a) Paul Dix/PNI/Cascades Volcano Observatory, U.S. Geological Survey
521: (b) Cascades Volcano Observatory, U.S. Geological Survey
521: (c) W. H. Hodge/Peter Arnold, Inc.
523: (a) Breck P. Kent/Animals Animals/Earth Scenes
523: (b) Wally Eberhart/Visuals Unlimited
523: (c) Photo Researchers, Inc.
524: Dr. Rob Stepney/SPL/Photo Researchers, Inc.
524: (bottom) Sinclair Stammers/SPL/Photo Researchers, Inc.
525: (a, b) Dr. Jeremy Burgess/ Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.
525: Grant Heilman Photography, Inc.
526: (a) Runk/Schoenberger/Grant Heilman Photography, Inc.
526: (b) Paul Silverman/Fundamental Photographs, NYC
526: (c) Barry L. Runk/Grant Heilman Photography, Inc.
527: Dirk Wiersma/Photo Researchers, Inc.
527: (bottom) Albert Copley/ Visuals Unlimited
528: (a) A. J. Cunningham/Visuals Unlimited
528: (b) Alex Kertish/Visuals Unlimited
528: (c) Paul Silverman/Fundamental Photographs, NYC
528: (d) Cabisco—Visuals Unlimited
530: NASA Photo Research/Grant Heilman Photography, Inc.
531: (a) Phototake NYC
531: (b) Gerald & Buff Corsi/Visuals Unlimited
531: (c) A. J. Copley/Visuals Unlimited
532: (a) Jeffrey A. Scovil Photography
532: (b) Joyce Photo/Photo Researchers, Inc.
539: George H. H. Huey/Corbis Los Angeles
540: Tom Bean/Tom & Susan Bean, Inc.
548: Dirk Wiersma/Photo Researchers, Inc.
550: Alex Kertisch/Visuals Unlimited
550: (bottom) Tom McHugh/Photo Researchers, Inc.
551: Lynette Cook/SPL/Photo Researchers, Inc.
552: American Museum of Natural History/Courtesy Dept. of Library Services, American Museum of Natural History.
555: D. van Ravenswaay/Photo Researchers, Inc.
565: NASA/Goddard Space Flight Center/Courtesy of MODIS Science Team, Goddard Space Flight Center, NASA and NOAA
572: The Granger Collection
574: Princeton University, Geosciences Department/Courtesy Princeton University Geology Department
575: Simon/Fraser/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.
582: Leo & Mandy Dickinson/Nature Picture Library
583: U.S. Geological Survey, Denver
584: (b) Bernhard Edmaier/Photo Researchers, Inc.
591: (b) Corbis — NY
599: Visuals Unlimited
608: (top) Joseph Burke/Rainbow
608: U.S. Geological Survey, Denver
609: Farell Grehan/Photo Researchers, Inc.
609: (bottom) Paul G. Hewitt
610: (top) Visuals Unlimited
613: John Lemker/Animals Animals/Earth Scenes
614: Color-Pic, Inc.
615: E. R. Degginger/Color-Pic, Inc.
615: (a) EROS Data Center, U.S. Geological Survey
615: (b) Glacial flows, Color-Pic, Inc.
618: (top) NASA/Color-Pic, Inc.
618: Leslie A. Hewitt
619: John Van Hasselt/Corbis Los Angeles
621: (top) W. H. Hodge/Peter Arnold, Inc.
621: (a, b) Color-Pic, Inc.
622: Leslie A. Hewitt
624: Steve Linstau/Rainbow
629: Photo Researchers, Inc.
635: National Geophysical Data Center
635: (b) Cliff Riedinger/Alaska Stock.com
635: (c) EROS Data Center, U.S. Geological Survey
635: (d) B. & C. Alexander/Photo Researchers, Inc.
635: (e) Getty Images Inc. — Stone Allstock/Getty Images, Inc.
636: Douglas Peebles/Corbis Los Angeles
642: (a, b) Courtesy of Tides Photography, photographic artist Dick Killam; website address: www.tidesinhallsharbour.com
644: Color-Pic, Inc.
657: O. Brown, R. Evans, and M. Carle/Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science; Miami, Florida
663: Tony Craddock/Photo Researchers, Inc.
666: Mike J. Howell/Stock Boston
672: (a, b) Mark A. Schneider/Visuals Unlimited
672: (c) McCutcheon/Visuals Unlimited
672: (d) E. Webber/Visuals Unlimited
675: Getty Images/Retrofile
680: (top) A & J Verkaik/CORBIS/Corbis Los Angeles
680: William Bickel
681: E. R. Degginger/Color-Pic, Inc.
682: MODIS Rapid Response Team, NASA Goddard Space Flight Center
687: Paul G. Hewitt
689: NASA/Photo Researchers, Inc.
692: Anglo-Australian Observatory/photograph by David Malin
694: Mark Martin/NASA/ Photo Researchers, Inc.
694: (bottom) Jerry Lodriguss/Photo Researchers, Inc.
695: Fred Espenak/Photo Researchers, Inc.
695: U.S. Geological Survey/SPL/Photo Researchers, Inc.
696: NASA Headquarters
698: NASA Earth Observing System
698: (a) NASA's Mars Rover/NASA Earth Observing System
698: (b) NASA Earth Observing System
699: NASA Earth Observing System
700: David A. Hardy, Futures: 50 Years In Space/Photo Researchers, Inc.
700: (bottom) NASA Headquarters
701: NASA Earth Observing System
701: (a) NASA
701: (b) NASA Headquarters
701: (c) ESA/University of Arizona/NASA/Jet Propulsion Laboratory
702: Photo Researchers, Inc.
702: (bottom) John Suchocki
704: (top) NASA Earth Observing System
704: (bottom) NASA/Goddard Institute for Space Studies
705: Lick Observatory Publications Office
707: (top) Detliev van Ravenswaay/Photo Researchers, Inc.
707: Paul G. Hewitt
708: Dennis DiCicco/Paul G. Hewitt
710: (top) NASA/Goddard Institute for Space Studies
710: (center) Dennis Milon/SPL/Photo Researchers, Inc.
710: (bottom) John Sanford/SPL/Photo Researchers, Inc.
711: (top) NOAO/AURA/NSF/ Photo researchers, inc.
711: (bottom) The Australian National University
711: (inset) NASA
712: (a) NASA/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.
712: (b) NASA Headquarters
715: Paul G. Hewitt
719: NASA
721: Roger Ressmeyer/Corbis Los Angeles
723: NASA/Jet Propulsion Laboratory
727: NASA
729: P. Harrington/Space Telescope Science Institute
729: (bottom) Mark Garlick/ Photo Researchers, Inc.
731: (top) European Southern Observatory
731: (center) Space Telescope Science Institute

731: (a, b) Lick Observatory Publications Office
732: Julian Baum/New Scientist/ JPL/Photo Researchers, Inc.
736: Jerry Lodriguss/Astropix LLC
736: (bottom) Gordon Garradd/Jeffrey Bennett
737: Anglo-Australian Observatory/David Malin
737: (left) Anglo-Australian Observatory/David Malin
737: (right) NASA/Jet Propulsion Laboratory
738: NASA/Jet Propulsion Laboratory
738: Anglo-Australian Observatory/David Malin
738: (a) National Optical Astronomy Observatories
738: (b) Royal Observatory, Edimburg/SPL/Photo researchers, Inc.
739: (top, bottom) NASA
740: (top, bottom) NASA
749: NASA/Jet Propulsion Laboratory
751: Emilio Segre,Visual Archive/American Institute of Physics/Photo Researchers, Inc.
753: Roger Ressmeyer/ Corbis/bettmann
753: (bottom) NASA Headquarters
755: (a) David Parker/Photo Researchers, Inc.
755: (b) Andrei Linde
A-2: Paul G. Hewitt
E-8: Paramount Pictures Corporation, Inc.

الفهرس

Ablation استئصال
Absolute zero, 143 الصفر المطلق
Absorption of radiant energy, 164 – 165 امتصاص طاقة الإشعاع
Acceleration, 27-31, 41- 44 تسارع
Accumulation, 619 تراكم
Acid rain, 448- 452 مطر حمضي
Acidic solution, 445- 448 محلول حمضي
Acidity, 447- 448 حمضية
Acids, 438- 442 أحماض
Strengths, 442- 445 قوى
Action فعل
Identification, 46- 48 تعرُّف ، مطابقة
Active galaxies, 738- 740 المجموعات الشمسية النشطة
Additive primary colors, 268 ألوان أساسية مضافة
Adiabatic processes, atmospheric, 667- 669 عمليات كظمية (ثبوت الحرارة)، جوية
Advances in science, history of, 2 التقدم في العلم، تاريخ
Air masses, 674- 679 كتل هوائية
Air motion, 648 – 651 حركة الهواء
Forces قوى
Air resistance, 24 مقاومة الهواء
Alcohols, 480 – 484 الكحول
Aldehyde, 486 الديهاد
Alkaloids, 484 – 485 قلويات
Alloy, 362 سبيكة
Alpha particle, 312- 314 جسيم ألفا
Alternating current 193221-220- تيار متردد (متناوب)
Amid, 487 الأميد
Amines, 484 – 485 الأمينات
Ampere, 192 أمبير
Amplitude, 232 سعة
Anode, 456 مصعد
Archimedes' principle, 120- 122 مبدأ أرخميدس
Aristotle, 16 أرسطو
Aromatic compound, 477 المركبات العطرية
Art, Science and, 7- 8 فن، علوم
Artificial atomic transmutation, 321 التحولات الذرية الصناعية
Air motion, 648 – 651 حركة الهواء
Temperature pressure relationship, 648 – 650 علاقة درجة الحرارة بالضغط
Composition of, 643 تركيب
Evolution of, 630 – 632 تطور
Deep – water currents, 657 – 659 تيارات ماء عميقة
Surface currents, 654 – 657 تيارات سطحية
Atmospheric stability, 669- 670 اتزان جوي
Humidity, 664 رطوبة
Relative humidity, 664 رطوبة نسبية
Saturated vapor pressure, 664 – 665 ضغط بخار مشبع
Temperature changes, 666 تغيرات درجة الحرارة
Atmospheric pressure, 125- 128 ضغط جوي
Atomic half –life, transmutation, 318 – 321 عمر النصف ذري، التحويلات
Artificial transmutation, 321 التحويلات الصناعية
Natural transmutation, 319 – 320 التحويلات الطبيعية
Atomic mass, 290 – 291 كتلة ذرية
Atomic nucleus, 316 – 318 نواة ذرية
Strong nuclear force, 316 قوة نووية شديدة
Atomic number, 288 عدد ذري
Atomic symbol, 288 رمز ذري
Bonding, 353 – 380 ربط
Covalent bonds, 362 - 365 روابط تساهمية (تشاركية)
Dipoles, 372 – 373 ثناقطبيات
Electron – dot structures, 354 -355 تراكيب الإلكترون النقطي
Induced dipoles, 373 – 376 الثناقطبيات المستحثة
Molecules, 358 جزيئات
Ionic bonds, 359 – 361 روابط أيونية
Ions, 372 – 373 أيونات
Formation of, 356 – 358 تكوين
Metallic bonds, 361 – 362 روابط فلزية
Molecular attractions, 371 – 376 تجاذبات جزيئية
Molecular polarity, 368 – 371 القطبية الجزيئية
Polar covalent bonds, 365 – 368 الروابط التساهمية القطبية
Conceptual model, 396 – 398 نموذج مفاهيمي
Electron waves, 302 – 304 موجات إلكترونية
Electrons, 286 إلكترونات
Elements, 287 – 288 عناصر
Molecules, counting by mass. 414 – 418 الجزيئات ، العد بالكتلة
Avogadro's number, 416 عدد أفوجادرو
Formula mass, 415 صيغة الكتلة
Molar mass, 417 الكتلة المولية
Neutrons, 288 – 291 نيوترونات

Nucleons, 289 أنوية
Periodic table, 288, 292 الجدول الدوري
Groups, 293 – 296 مجموعات
Periods, 293- 296 الدورات
Physical model, 296 – 298 نموذج فيزيائي
Protons, 288- 291 بروتونات
Quantum hypothesis, 300 – 302 فرضيات كمية
Principal quantum number n, 301 عدد كمي رئيس
Quantum, 300 كمّة
Quantum hypothesis, 300 فرضية الكم
Shell model, 304 – 305 نموذج القشرة
Atomic spectrum, 299 الطيف الذري
Subatomic particles, 289 جزيئات دون ذرية
Valence electrons, 305 إلكترونات التكافؤ
Attitude, scientific, 3- 5 اتجاهات، علمي
Fact, 3 حقيقة
Law, 3 قانون
Theory, 4 نظرية
Average speed, 26 متوسط السرعة
Barometers, 127 0 128 البارومترات
Bases, 438 – 445 القواعد
Strengths, 442- 445 قوى
Basic solutions, 445 – 452 محاليل قاعدية
Batteries, 445 – 457 بطاريات
Cathode, 456 مهبط
Electrode, 455 قطب
Beats, 242 – 243 ضربات
Bernoulli’s principle, 131 – 134 مبدأ برنولي
Applications of, 132 – 134 تطبيقات على
Beta particle, 312 – 314 جسيم بيتا
Black holes, 732 – 735 ثقوب سوداء
Geometry, 733 – 735 هندسة
Body, effect of electric currents on, 195 الجسم، أثر التيارات الكهربائية في
Body wave, 566 موجات الجسم
Boiling, 171 – 173 تبخر
Bonding, atoms, 353 – 380 الربط، الذرات
Covalent bonds, 362 – 365 روابط تساهمية
Bottled water, 402 – 403 الماء المعلب
Bow waves, 245 – 247 الأمواج القوسية
Boyle’s law, 124 – 125 قانون بويل
Breeder reactor, 326 – 327 المفاعل الولود
Buoyancy in gas, 130 – 131 الطفو في الغاز
Buoyancy in liquid, 119 – 120 الطفو في السائل
Buoyant force, 119 قوة الطفو
Carbon – 14 dating, 332 التأريخ بالكربون 14-
Carbonyl group, 485 مجموعة الكربونيل
Carboxylic acid, 487 حمض الكربوكسيليك
Catalysts, 423 – 425 المحفّزات
Chain reaction, 324 تفاعل متسلسل
Change of phase, 168 – 171 تغير الطور
Energy, 174 – 175 طاقة
Heat transfer, 168 – 171 انتقال الحرارة
Chemical bond, 342 رابطة كيميائية
Chemical changes, 342 – 345 تغيرات كيميائية
Chemical classification, matter, 383 – 386 تصنيف كيميائي، مادة
Heterogeneous mixtures, 385 محاليل غير متجانسة
Homogeneous mixtures, 385 محاليل متجانسة
Impure, 384 غير نقي
Pure, 384 نقي
Solution, 385 محلول
Suspension, 386 عالق
Chemical equations, 412 – 414 معادلات كيميائية
Law of mass conservation, 412 قانون حفظ الكتلة
Products, 412 نواتج
Chemical formulas, 346 صيغ كيميائية
Chemical properties, 341 خصائص كيميائية
Chemical reactions, 343, 411- 435, 437 – 469 تفاعلات كيميائية
Acid – base reaction, 441 – 442 تفاعل قاعدة – حمض
pH scale, 447 – 448 مقياس الحموضة
Acids, 438 – 442 أحماض
Strengths, 442 – 445 شدة
Atoms, molecules, counting by mass, 414 – 418 ذرات، جزيئات، عد بالكتلة
Basic solutions, 445 – 452 محاليل قاعدية
Reactants, 412 المتفاعلات
Combustion, 461 – 463 احتراق
Corrosion, 461 – 463 الحت
Electrolysis, 459 – 461 الكهرلة
Electrons إلكترونات
Energy, 454 – 459 طاقة
Batteries, 455 – 457 البطاريات
Anode, 456 المهبط
Cathode, 456 المصعد
Electrode, 455 القطب
Electrochemistry, 454 الكيمياء الكهربائية
Fuel cells, 457- 459 خلايا الوقود
Gaining, 452 – 453 اكتساب
Half reaction, 452 تفاعل نصفي
Oxidation, 452 الأكسدة
Reduction, 452 الاختزال
Bond energies, 426 طاقات الربط
Endothermic reaction, 428 – 429

التفاعل الماص للحرارة
Exothermic reaction, 426 – 428
التفاعل الطارد للحرارة
Entropy, 429 – 430
الإنتروبيّ
Hydronium ion, 439 أيون الهيدروجين
Hydroxicde ion, 440 أيون الهيدروكسيل
Neutral solution, 445 – 448 محلول متعادل
Neutralization, 441 تعادل
Protons, 438 – 442 بروتونات
Activation energy, 442 طاقة التنشيط
Chemistry, 9- 10, 283- 502 كيمياء
Applied research, 339 بحث تطبيقي
Basic research, 338 بحث أساسي
Compounds, 346 مركبات
Compounds, naming, 347 – 348 تسمية المركبات
Submicroscopic world, 340 – 341 العالم دون المجهري
Molecules, 340 جزيئات
Submicroscopic, 340 دون مجهري
Circular orbits, 103 – 104 مدارات دائرية
Atmosphere, 651- 659 جو
Clouds, 271 غيوم
Cloud groups, 671 مجموعات غيمية
Development, 670 – 674 تطوير
High clouds, 672 – 673 غيوم عالية
Low clouds, 672 – 673 غيوم منخفضة
Middle clouds, 672 غيوم متوسطة
Collisions, 66- 67 تصادمات
Elastic, 66 مرن
Inelastic, 66 غير مرن
Color, 265- 271, 512 لون
Of stars, 722- 724 نجوم
Complementary, 268 – 269 متمم
Primary, 268 أولي
Combustion, 235 احتراق
Complementary colors, 268 – 269 ألوان متممة
Compounds, 345 – 347 مركبات
Compression, 235 انضغاط
Concentration, 388 تركيز
Conceptual model, atom, 296 – 298 نموذج مفاهيمي، ذرة
Condensation, 170 – 171 تكثيف
Conduction, 160 توصل
Conductor, 190 موصل
Configuration, 473 هيئة
Conformations, 474 تماثل
Conservation laws, 67 قوانين الحفظ
Conservation of charge, 183 – 184 حفظ الشحنة
Conservation of energy, 74 – 75 حفظ الطاقة
Machines, 76 آلات
Conservation of momentum, 65 – 68 حفظ الزخم
Law of, 65 قانون
Convection, 161 – 162, 569 – 570 الحمل
Core, قلب (لُب)
Earth, 568 – 569-697 الأرض
Cosmology, 749 كوني
Coulomb, 185 كولوم
Coulomb’s law, 184 – 186 قانون كولوم
Covalent bonds, 362 – 365 روابط تساهمية
Polar, 365 – 368 قطبي
Covalent compound, 363 مركب تساهمي
Critical mass, 324 كتلة حرجة
Crystallization, minerals, 514 تبلور، معادن
In water- solutions, 516 – 517 في المحاليل المائية
Current electricity, 181 – 208 كهرباء التيار
Dark energy, 763 – 764 الطاقة المعتمة
Dark matter, 761 – 763 المادة المعتمة
Deep – water currents, 657 – 659 تيارات ماء عميقة
Density, 116 – 117 كثافة
Desalination, 339 – 402 إزالة الملوحة
Detergents, 394 – 396 منظفات
Diffuse reflection, 262 انعكاس منتشر
Induced, 373 – 376 مستحث
Direct current, 193 تيار مستمر
Dispersion, 272 – 274 التشتت
Dissolving, 388 الذوبان
Distance, gravity, inverse square law, 90 – 91 البعد، الجاذبية، قانون التربيع العكسي
Distillation, 383 تقطير
Dolphins, 238 الدلافين
Doppler effect, 244- 245 أثر دوبلر
Internal layers, 567 – 571 طبقات داخلية
Earth science, 9- 10, 123, 503- 686 علم الأرض
Earthquakes, 566, 587 – 592 هزات أرضية
Measurement, 588 قياس
Eclipse, 707 – 709 كسوف أو خسوف
Ecliptic, 690 إهليلجي
Efficiency, 77- 78 فاعلية
Sources of energy, 78- 79 مصادر الطاقة
Elastic collision, 66 تصادم مرن
Electric charge, 182 – 184 شحنة كهربائية
Electric circuits, 197 – 200 دارات كهربائية
Electric current, 191 – 193, 213- 215 تيار كهربائي
Electric field, 186 – 188 مجال كهربائي
Electric meters, 216 – 217 مقاييس كهربائية
Electric motors, 217 – 218 محركات كهربائية

Electric potential, 189- 190 جهد (كُمون) كهربائي
Electric power, 200- 202 قدرة كهربائية
Electric resistance, 193 – 194 مقاومة كهربائية
Electric shock, 195 – 197 صدمة كهربائية
Electrically polarized, 186 مستقطب كهربائيًا
Electricity, 181 – 208 كهرباء

Ampere, 192 الأمبير
Body, effect of electric currents on, 195 الجسم، أثر التيارات الكهربائية في
Conductor, 190 موصل
Conservation of charge, 183 – 184 حفظ الشحنة
Ionized bracelets, 185 أساور مؤينة
Lightening, 680 برق
Magnetic fields, 213 – 215 مجالات مغناطيسية
Microwave oven, 187 فرن موجات ميكروووية
Ohm’s law, 194 – 197 قانون أوم
Overloading, 199 – 200 حمل زائد
Parallel circuits, 198 – 200 دارات توازٍ
Sparks, 184 شرر
Superconductors, 194 فائقة الموصلية
Voltage sources, 190 – 191 مصادر الجهد
Volts, 193 الفولت

Electrode, 455 قطب
Electrolysis, 459 – 461 الكهرلة

Electromagnetic induction, 218 – 220 الحث الكهرومغناطيسي
Electromagnetic spectrum, 256 – 257 الطيف الكهرومغناطيسي
Electromagnetic waves, 256 الموجات الكهرومغناطيسية
Electromagnets, 214 – 215 مغانط كهربائية
Electron waves, 302 – 304 موجات إلكترونية
Electronegativity, 336 السالبية
Electronics technology, 184 تقنية إلكترونية

Losing, 452 – 453 فقدان
Oxidation, 452 تأكسد
Reduction, 452 اختزال
Elemental formula, 345 صيغة العناصر
Elements, 287- 288, 345- 347 عناصر
Ellipse, 104 إهليلج
Elliptical galaxies, 737 – 738 مجرات إهليلجية
Emission of radiant energy, 163 – 164 انبعاث الطاقة المشعة

Energy, 59- 86, 174 – 175, 425- 429 طاقة
Bond energies, 426 طاقات الربط
Change of phase, 174- 175 تغير الطور
Conservation of energy, 74- 75 حفظ الطاقة

Kinetic energy, 70 طاقة حركية
Momentum, 73- 74 زخم
Law of conservation of energy, 74 قانون حفظ الطاقة
Potential energy, 69- 70 طاقة الوضع
Sources of, 78- 79 مصادر
Work- energy theorem, 71- 74 نظرية الشغل والطاقة
Entropy, 146- 147, 429- 430 الإنتروبي
Equilibrium, dynamic, 23- 24 الاتزان الديناميكي
Equilibrium rule, قاعدة الاتزان
Erosion, 525, 613 – 614 تآكل ، حت ، تعرية

Escape speed, 106- 108 سرعة الإفلات
Esters, 489 الإيسترات
Evaporation, 169 تبخر
Expansion, thermal, 150 – 151 تمدد، حراري
Expansion of water, 151 – 153 تمدد الماء
Eye, 265 عين
Fact, 3 حقيقة
Faraday’s law, 219 – 200 قانون فارادي
Maxwell’s counterpart to, 223 صيغة ماكسويل
Field induction, 223 مجال الحث
First law of thermodynamics, 145 قانون الديناميكا الحرارية الأول
Fluid mechanics, 115- 140 ميكانيكا الموائع

Atmospheric pressure, 125- 128 الضغط الجوي

Applications of, 132- 134 تطبيقات
Boyles law, 124- 125 قانون بويل
Buoyancy in liquid, 119- 120 الطفو في السائل
Buoyancy in gas, 130- 131 الطفو في الغاز
Density, 116- 117 كثافة
Flotation, 112 طفو
Pascal’s principle, 129- 130 قاعدة باسكال
Pressure, 117- 119 الضغط
In gas, 124- 125 في الغاز
In liquid, 118- 119 في السائل
Force, 17 قوة
Force of friction, 24- 25 قوة الاحتكاك
Air resistance, 24 مقاومة الهواء
Friction, 24 احتكاك
Force pair, 45 زوج قوة
Forces, 45- 46 قوى
Fourier analysis, 249 تحليل فورييه

Free fall, 29, 41 سقوط حر
Acceleration, 41- 44 تسارع
Free fall velocity, 29 سرعة السقوط الحر
Freezing, 173- 174 تجمد
Frequency, 232 تردد
Friction, 24 احتكاك
Front, 676 – 678 جبهة
Fuel cells, 457- 459 خلايا الوقود
Fundamental frequency, 248 تردد رئيس
Fusion, heat of, 174 الانصهار، حرارة
Formation, 763 تكوين
Irregular, 737- 738 غير منتظم
Galilei, Galileo, see Galileo جاليليو جاليلي
Galileo, 17 جاليليو
concept of inertia, 17- 18 فكرة القصور
Gamma rays, 312- 314 أشعة جاما
Gas غاز
Buoyancy in, 130- 131 الطفو في
Pressure in, 12- 125 الضغط في
Gases, 393 – 394 الغازات
General theory of relativity, 757 – 761 نظرية النسبية الخاصة
Generators, 220- 221 مولّدات
Global warming, 167 – 168, 646 – 648 الاحتباس الحراري
Grams, moles, converting between, 416- 418 الجرامات، المولات، التحويلات بينهما
Gravitation, universal, 93- 94 الجذب، الكوني
Gravity, 87- 114 الجاذبية
Law of universal gravitation, 88 قانون الجذب الكوني
Universal gravitational constant, 89- 90 ثابت الجذب الكوني
Universal law of, 88- 90 القانون الكوني لِـ
Greenhouse effect, 167 – 168, 646- 648 أثر الدفيئة
Groundwater, 601- 607 مياه جوفية
Movement, 606- 607 حركة
Half reaction, electrons, 452 تفاعل نصفي، إلكترونات
Hard water, softening, 396 الماء العسر، إزالة العسر
Harmonics, 248 توافقيات
Heat, 144 حرارة
Of fusion, 174 انصهار
Quantity of, 145 كمية من
Specific, 174 السعة النوعية
water, 148 الماء
Thermal energy, 144 الطاقة الحرارية
vaporization, 174 التبخر
Heat capacity, specific, 147- 150 السعة الحرارية، النوعية
Heat transfer, 159- 179 انتقال الحرارة
Absorption of radiant energy, 164- 165 امتصاص طاقة الإشعاع
Boiling, 171- 173 غليان
Change of phase, 168- 171, 174 – 175 تغير الطور
Condensation, 170- 171 تكثيف
Conduction, 160 توصيل
Convection, 161- 162 حمل
Melting, 173- 174 الانصهار
Newton’s law of cooling, 166- 167 قانون نيوتن في التبريد
Radiation, 163- 166 إشعاع
Reflection of radiant energy, 165- 166 انعكاس الطاقة المشعة
Sublimation,, 169 تسامي
Helium, 754 الهيليوم
Hertz, 232 الهرتز
Heteroatom, 478 الذرة المغايرة
High clouds, 671- 672 غيوم عالية
Hydrocarbon, 472- 476 الهيدروكربونات
Saturated, 447 المشبعة
Unsaturated, 476- 478 غير المشبعة
Hydrogen, 754 الهيدروجين
Hydrogen bond, 372 الرابطة الهيدروجينية
Hydronium ion, 439 أيون الهيدروجين
Hydroxide ion, 440 أيون الهيدروكسيل
Hypothesis, 3 فرضية
Imaging تصوير
Acoustical, dolphins and, 238 الصوتي الدلافين
Magnetic resonance, 218 رنين مغناطيسي
Impulse, 60- 62 دفع القوة
Impure matter, chemical classification, 358 مادة غير نقية، تصنيف كيميائي
Induced dipoles, 373- 376 الثناقطبي المستحث
Molecules, 358 جزيئات
Induction حث
Inertia, 17- 18, 38 قصور
Mass- measure, 18- 20 قياس الكتلة
Mass, 18 كتلة
Volume, 19 حجم
Weight, 18 وزن
Inner planets, 690, 695- 699 كواكب داخلية
Mars, 698- 699 المريخ
Mercury, 695- 696 عطارد
Venus, 696- 697 الزهرة
Instantaneous speed, 25- 26 سرعة لحظية
Interaction, 45 تفاعل
Interactions, 45- 46 تفاعلات
Ionic compounds, 359 مركبات أيونية
Ions, 358, 372- 373 أيونات
Formation of, 356- 358 تتكون من
Polyatomic, 358 متعدد الذرات
Irregular galaxies, 737 – 738 مجرات غير منتظمة
Isotopes, 290- 291 نظائر
Jupiter, 699- 700 المشتري

Kilogram, 20 الكيلوجرام

Momentum, compared, 73- 74 زخم، مقارنة
Law of acceleration, 52 قانون التسارع
Law of action – reaction, 52 قانون الفعل- رد الفعل
Law of conservation of energy, 74 قانون حفظ الطاقة
Law of conservation of momentum, 65 قانون حفظ الزخم
Law of cooling, 166- 167 قانون التبريد
Law of gravity, 88- 90 قانون الجاذبية
Law of inertia, 52 قانون القصور
Law of mass conservation, 412 قانون حفظ الكتلة
Law of reflection, 260- 262 قانون الانعكاس
Law of thermodynamics, 145- 146 قوانين الديناميكا الحرارية
Law of universal gravitation, 88 قانون الجذب الكوني
Laws of thermodynamics, 145- 146 قانون الديناميكا الحرارية
First law of, 145 القانون الأول في
Second law of, 146 القانون الثاني في
Third law of, 146 القانون الثالث في
Layers, Earth, 600- 601 طبقات، الأرض
Internal, 567- 571 داخلي
Light, 255- 282 الضوء
Color, 265- 271 اللون
Dispersion, 272- 274 تشتت
Electromagnetic spectrum, 256- 257 الطيف الكهرومغناطيسي
Opaque materials, 257- 260 المواد المعتمة
Polarization, 269- 271 استقطاب
Colored lights, mixing, 267- 277 الأضواء الملونة، المزج

Colored pigments, mixing, 269 الأصباغ الملونة، المزج
Complementary colors, 268- 269 ألوان متممة
Law of reflection, 260- 262 قانون الانعكاس
Rainbows, 272- 274 قوس المطر
Selective reflection, 266 الانعكاس الانتقائي
Selective transmission, 266- 267 البث الانتقائي
Reflection, 260- 262 انعكاس
Refraction, 262- 265 انكسار
Transparent, 257- 260 شفاف
Liquid سائل
Buoyancy in, 119- 120 الطفو في
Pressure in, 118- 119 الضغط في
Longitudinal waves, 234- 235 أمواج طولية
Loudspeakers, 236 سماعات
Machine, 76 آلة
Machines, 76- 77 آلات
Conservation of energy, 76 حفظ الطاقة
Magnetic domains, 212- 213 المناطق المغناطيسية
Magnetic fields, 211- 215 مجالات مغناطيسية
Magnetic force, 210 قوة مغناطيسية
On current carrying wires, 216 على أسلاك تحمل تيارًا
On moving charges, 215- 218 على شحنة متحركة
Magnetic poles, 210- 211 أقطاب مغناطيسية
Magnetic resonance imaging, 218 تصوير رنين مغناطيسي
Magnetic therapy, 202-224 علاج مغناطيسي
Magnetism, 209- 230 مغناطيسية

Electric currents, 213- 215 تيارات كهربائية
Farday's law, 219- 200 قانون فارادي
Maxwell's counterpart to, 223 معًا في ماكسويل
Field induction, 223 حث المجال
Generators, 220- 221 مولدات

Magnetic fields, 211- 215 مجالات مغناطيسية
Magnetic force, 210 قوة مغناطيسية
On current carrying wires, 216 على سلك يحمل تيارًا
On moving charges, 215- 218 على شحنة متحركة
Magnetic poles, 210- 211 أقطاب مغناطيسية
Magnetic resonance imaging, 218 تصوير رنين مغناطيسي
Superconducting electromagnets, 215 مغانط كهربائية فائقة الموصلية
Transformer, 222 محوِّل
Voltage, 222- 223 فولتية
Mass, 18 كتلة
Mass- energy equivalence, 327- 329 معادلة تكافؤ الكتلة والطاقة
Masses, reaction on, 48- 50 كتل؛ تفاعل على
Mathematics, 2- 3 رياضيات
Melting, 173- 174 انصهار
Mercury, 695 – 696 عطارد
Metallic bonds, 361- 362 روابط فلزية
Classifying, 531- 532 تصنيف
Types of, 530- 531 أنواع من
Methods, scientific, 3 طرق، علمية
Microwaves, 187 أمواج ميكروية
Middle clouds, 672 غيوم متوسطة
Minerals, 503- 538 المعادن
Chemical sediments, 516 رواسب كيميائية
Classification, 513- 514 تصنيف
Color, 512 لون
Crystal form, 509 – 510 شكل البلورة
Crystallization, 514 تبلور
In water solutions, 516- 516 في المحاليل المائية

Density, 512- 513
كثافة
Formation, 514- 517 تكوين
Fracture, 511- 512 تكسُّر
Hardness, 510- 511 قساوة
Properties, 509- 513 خصائص
Rock- forming, 513- 514 تكوين الصخور
Solubility, 517 الذوبانية
Mixing colored lights, 267- 268
مزج الأضواء
Mixing colored pigments, 269
مزج الأصباغ الملون
Mixture, 381- 410 مزيج
Chemical classification, matter, 383- 386 التصنيف الكيميائي، المادة

Impure, 384 غير نقي
Pure, 384 نقي
Solution, 386 محلول
Hard water, softening, 396- 397
ماء عسر، تيسير
Physical separation, 383- 384 فصل فيزيائي
Solubility, 391- 394 ذائبة
Gases, 393- 394 غازات
Insoluble, 392 غير قابل للذوبان
Soluble, 391 قابل للذوبان
Temperatures changes, 392- 394
تغيرات درجات الحرارة
Solutions, 386- 390 محاليل
Concentration, 388 تركيز
Dissolving, 388 إذابة
Molarity, 389 المولارتي
Mole, 389 مول
Saturated solution, 388 محلول مشبع
Solutes, 387 المذاب
Solvent, 387 المذيب
Unsaturated solution, 388 محلول غير مشبع
Wastewater treatment, 403- 405
معالجة المياه العادمة
Water purification, 397- 403 تنقية المياه

Adiabatic processes, 667- 668
تفاعلات كظمية (ثبوت الحرارة)
Atmospheric stability, 669- 670
اتزان جوي
Saturated vapor pressure, 664 ضغط جوي مشبع
Temperature, 665 درجة الحرارة
Temperature changes, 666 تغيرات في درجة الحرارة
Temperature inversion, 669 انقلاب في درجة الحرارة
Molar mass. 417 الكتلة المولية
Molarity, 389 المولاراتي
Mole, 389 مول
Molecular attractions, 371- 376
تجاذبات جزيئية
Molecular polarity, 368 – 371
قطبية جزيئية
Moles, grams, converting between, 416- 418 مولات، جرامات، تحويل بين
Momentum, 59- 86 زخم
Collisions, 66- 67 تصادمات
Conservation laws, 67 قوانين الحفظ
Conservation of, 65- 86 حفظ في
Decreasing over long time, 61- 62
تناقص على فترات طويلة
Decreasing over short time, 62- 64
تناقص على فترات قصيرة
Elastic collision, 66 تصادم مرن
Impulse, 60- 62 دفع القوة
Increasing, 61 تزايد
Inelastic collision, 66 تصادم غير مرن
Kinetic energy, compared, 73- 74
طاقة حركية، مقارنة
Law of conservation of momentum, 65 قانون حفظ الزخم
Monomers, 489 الزخم
Moon, 703- 709 القمر
Phases of, 704- 705 أطوار لـ
Motion, 15- 36 حركة
Acceleration, 27- 31 تسارع
Aristotle, 16 أرسطو
Dynamic equilibrium, 23- 24 اتزان ديناميكي

Equilibrium rule, 22 قاعدة الاتزان
Force of friction, 24- 25 قوة الاحتكاك
Air resistance, 24
مقاومة الهواء
Friction, 24 احتكاك
Free fall, 29 سقوط حر
Galileo جاليليو
Force, 17 قوة
Inertia, 17- 18 قصور
Inertia, mass-measure, 18- 20
قصور، مقياس الكتلة
Mass, 18 الكتلة
Volume, 19 الحجم
Weight, 18 الوزن

Motion, Relative nature of, 27
الحركة، طبيعة نسبية
Net force, 20- 21 القوة المحصلة
Vector, 20 متجه
Vector quantity, 20 كمية متجهة
Relative nature of, 27 طبيعة نسبية
Speed, 25- 27 سرعة قياسية
Average speed, 26 متوسط السرعة القياسية
Instantaneous speed, 25- 26 سرعة قياسية لحظية
In units, 26 بوحدات
Support force, 23 قوة دعم
Velocity, 27 سرعة متجهة
Free fall, 29 سقوط حر
MRI, see magnetic resonance imaging انظر، تصوير الرنين المغناطيسي
Naming compounds, 347- 348
تسمية المركبات
Nanotechnology, 224 تقنية النانو (المنمنمات)
Natural atomic transmutation, 319- 320 التحولات الذرية الطبيعية
Natural frequency, 239 تردد طبيعي
Nature of science, 1- 11 طبيعة العلوم
Neptune, 702 نبتون
Net force, 20- 21 القوة المحصلة

Vector, 20 متجه
Neutral solution, 445- 448 محلول متعادل
Neutralization, 441 تعادل
Neutron star, 731 نجم نيوتروني
Newton, Issac إسحق نيوتن
Law of acceleration, 52 قانون التسارع
Law of action – reaction, 52 قانون الفعل – رد الفعل
Law of cooling, 166- 167 قانون التبريد
Law of inertia, 52 قانون القصور
Laws of motion, 37- 58 قوانين الحركة
Summary of laws, 52 ملخص القوانين
Non –free fall acceleration, 43- 44 تسارع السقوط غير الحر
Nonbonding pairs, 355 أزواج غير مترابطة
Nonpolar, 366 غير قطبي
Nonpolar substances, boiling , مواد غير قطبية، الغليان
Nuclear fission, 323- 327 الانشطار النووي
Chain reaction, 324 تفاعل متسلسل
Critical mass, 324 كتلة حرجة
Nuclear fusion, 330- 332 الاندماج النووي
Controlling fusion, 331- 332 ضبط الاندماج
Thermonuclear fusion, 330 اندماج نووي حراري
Nucleons, 289 نويات
Oceans, 629- 659 محيطات
Components of, 632- 635 مركبات
Wave refraction, 636- 638 انكسار موجي
Waves, 635- 642 موجات
Refraction, 636- 638 انكسار
Ohm’s law, 194- 197 قانون أوم
Orbits مدارات
Circular, 103- 104 دائرية
Elliptical, 104- 105 إهليلجية
Ordinary matter, 761 مادة عادية
Organic chemistry, 472 كيمياء عضوية
Organic compounds, 471- 502 مركبات عضوية
Amines, 484- 485 الأمينات
Carbonyl compounds, 485- 489 مركبات الكربونيل
Ethers, 480- 484 الإيثرات
Functional qroups, 478- 480 مجموعات وظيفية
Phenols, 480- 484 الفينولات
Polymers, 489- 497 البوليمرات
Addition polymers, 492- 494 البوليمرات المضافة
Condensation polymers, 494- 497 البوليمرات المكثفة
Unsaturated hydrocarbons, 476 – 478 الهيدروكربونات غير المشبعة
Organic molecules, func-tional groups, 479 جزيئات عضوية، مجموعات وظيفية
Osmosis, 401 الأسموزي
Neptune, 702 نبتون
Uranus, 702 أورانوس
Overloading, 199- 200 حمولة زائدة
Oxidation, 452 تأكسد
Ozone, 549- 631 أوزون
Parallel circuits, 198- 200 دارات توازٍ
Pascal’s principle, 129- 130 مبدأ باسكال
Periodic table, 288- 292 الجدول الدوري
Groups, 293- 296 مجموعات
pH scale, 447- 448 مقياس الحموضة
Phases of Moon, 704- 705 أوجه القمر
Phenols, 480- 484 الفينولات
Physical model, 297 نموذج فيزيائي
Atom, 296 – 298 ذرة
Physical separation, mixtures, 383- 384 فصل فيزيائي، مخاليط
Physics, 9- 10 فيزياء
Historical perspective, 122 نظرة تاريخية
Colored, mixing, 269 مزج ألوان
Mixing, 269 مزج
Earth, 297 الأرض
Jupiter, 699- 700 المشتري
Mercury, 695- 696 عطارد
Neptune, 702 نبتون
Saturn, 700- 701 زحل
Uranus, 702 أورانوس
Venus, 696- 697 الزهرة
Earthquakes, 587- 592 هزات أرضية
Layers, Earth, 600- 601 طبقات الأرض
Polar, 366 قطبي
polar covalent bonds, 365- 368 رابطة تساهمية قطبية
Polarization, 269- 271, 274- 277 استقطاب
Colored pigments, mixing, 269 أصباغ ملونة، مزج
Complementary colors, 268- 269 ألوان متممة
Diffuse reflection, 262 الانعكاس المنتشر
Law of reflection, 260- 262 قانون الانعكاس
Rainbows, 272- 274 قوس المطر
Selective transmission, 266- 267 البث الانتقائي
Poles, magnetic, 210- 211 أقطاب مغناطيسية
Polyatomic ions, 358 أيونات متعددة الذرات
polymers, 489- 497 البوليمرات
Addition polymers, 492- 494 البوليمرات المضافة
Condensation polymers, 494- 497 البوليمرات المكثفة
Potential energy, 69- 70 طاقة وضع
Power, 75 قدرة

Lever, 76 رافعة
Machines, 76- 77 آلة
Conservation of energy, 76 حفظ الطاقة
Production of, 221- 222 ناتج عن
Precipitate, 393 راسب (مادة راسبة)
Pressure, 117- 119 ضغط
Atmospheric, 125- 128, 642 جوي
In gas, 124- 125 في الغاز
In liquid, 118- 119 في السائل
Saturation vapor, 664- 665 بخار مشبع
Temperature, relationship, 648- 650 درجة الحرارة، علاقة
Primary waves, 566 موجات أساسية

Principal quantum number, 301 عدد كمي رئيس
Principle of equivalence, 758 مبدأ التكافؤ
Principle of flotation, 112 مبدأ الطفو
Projectiles, 94 مقذوفات
Fast- moving, 101 حركة سريعة
Launched at angle, 96- 98 يقذف بزاوية
Launched horizontally, 95- 96 يقذف أفقيًا
Motion of, 94- 101 حركة
Protons, 288- 291, 438- 442 بروتونات
Pure matter, chemical classification, 384 مادة نقية، تصنيف كيميائي
Purification of water, 397- 403 تنقية الماء
Bottled water, 402- 403 الماء المعلب
Desalination, 399- 402 إزالة الملوحة
Osmosis, 401 الأسموزي
Reverse osmosis, 401 الأسموزي العكسي
Semi permeable membrane, 400 غشاء شبه نفاذ

Quality, 248 نوعية
Quantity of heat, 145 كمية الحرارة
Quantum hypothesis, 300- 302 فرضية كمية
Rad, 314 راد
Radiant energy طاقة الإشعاع
Absorption of, 164- 165 امتصاص من
Emission of, 163- 164 إشعاع من
Reflection of, 165- 166 انعكاس
Radiation, 163- 166 أشعة
Cosmic background, 753- 754 خلفية الأشعة الكونية
Dosage, 314- 315 جرعة
Terrestrial, 164 صناعي
Radiation curves, stars, 723- 724 منحنيات الإشعاع، نجوم
Radioactivity, 312- 314 نشاط إشعاعي
Alpha particle, 312- 314 جسيم ألفا
Beta particle, 312- 314 جسيم بيتا
Gamma rays, 312- 314 أشعة جاما
Rad, 314 راد
Radiation dosage, 314- 315 جرعة إشعاعية
Radioactive tracers, 316 مقتفيات النشاط الإشعاعي (المقتفيات المشعة)
Rem, 314 رم
Carbon-14 dating, 322 التأريخ بالكربون -14
Isotopes, 545 نظائر
Rain, acid, 448- 452 مطر، حمض
Rainbows, 272- 274 قوس المطر
Rarefaction, 235 انكسار
Reaction تفاعل
On masses, 48- 50 على الكتل
Reaction rates, 418- 423 نسب التفاعل
Activation energy, 422 طاقة التنشيط
Reduction, 452 اختزال

Reflection, 237- 239, 262- 265 انعكاس
Selective, 266 انتقائي (اختياري)
Reflection of radiant energy, 165- 166 انعكاس طاقة الإشعاع
Refraction, 237- 239, 262- 265 انكسار
Waves, 636- 638 موجات
Superposition, 541 التراكب
Relativity, 750 النسبية
General theory of, 757- 761 النظرية العامة
Tests of, 760- 761 اختبارات
Religion, science and, 7- 8 دين، علوم و
Rem, 314 رم
Resistance, electrical, 193 مقاومة كهربائية
Resonance, 239- 240 توافق، رنين
Rock, 503- 538 صخرة
Erosion, 525 تعرية
Formation, 514- 517 تكوين
Volcanic, 521 بركاني

Generation of, 518- 520 توليد
Classifying, 531- 532 يصنف
Types of, 530- 531 أنواع من
Recrystallization, 528 إعادة التبلور
Rock cycle, 532- 533 دورة الصخر
Sedimentary, 518, 523- 528 رسوبي
Chemical, 527- 528 كيميائي
Classifying, 526- 527 تصنيف
Formation, 524- 526 تكوين
Types, 517- 518 أنواع
Weathering, 524 مناخي
Rock cycle, 532- 533 دورة الصخرة
Safety fuses, 200 فتيلة الأمان
Salinity, 635 ملوحة
Salt, acid-base reaction, 441- 442 الملح، تفاعل حمض- قاعدة
Satellites, 101- 102 أقمار صناعية
Circular orbits, 103- 104 مدارات دائرية
Saturated solution, 388 محلول مشبع

Saturation vapor pressure, 664- 665 ضغط بخار مشبع
Saturn, 700- 701 زحل
Science, 1, 7- 8 علوم
Astronomy, 9- 10 علم الفضاء
Chemistry, 9- 10 كيمياء
Conceptual physical, 2- 3 أساسيات فيزيائية
Earth science, 9- 10 علم الأرض
History of advances in, 2 تاريخ التقدم في
Hypothesis, 3 فرضية
Limitations of, 6 محددات
Mathematics, 2- 3 رياضيات
Nature of, 1- 11 طبيعة
Physics, 9- 10 فيزياء
Pseudoscience, 6, 185 العلم الكاذب
Technology and, 8- 9 التقنية و
Scientific attitude, 3- 5 السلوك العلمي
Fact, 3 حقيقة
Law, 3 قانون
Theory, 4 نظرية
Scientific methods, 3 طرق علمية
Sea salts, elements of, 634 أملاح البحر، عناصر
Seawater, 634- 635 ماء بحر
Second law of thermodynamics, 146 قانون الديناميكا الحرارية الثاني
Secondary waves, 566 أمواج ثانوية
Sediment transport, 613- 614 انتقال الرسوبيات
Sedimentary rock, 518, 523- 528 صخور رسوبية
chemical, 527- 528 كيميائي
Classifying, 526- 527 تصنيف
Formation of, 524- 526 مكون من
Sedimentation, 525 ترسيب
Body waves, 566 أمواج الجسم
Earthquake, 566 هزة أرضية
Primary waves, 566 أمواج أساسية
Secondary waves, 566 أمواج ثانوية
Surface waves, 566 أمواج سطحية
Series circuits, 197- 198 دارات التوالي
Shell model, atom, 304- 305 نموذج قشري
greenhouse effect, 646- 648 أثر الدفيئة
Seasons, 645- 646 فصول
Solar system, 689- 718 نظام شمسي
Astronomical unit, 690 وحدة فلكية
Inner planets, 690, 695- 699 كواكب داخلية
Mercury, 695- 696 عطارد
Venus, 696- 697 الزهرة
Moon, 703- 709 القمر
Full moon, 704 قمر كامل
Phases o f, 704- 705 أطوار
Outer planets, 690, 699- 702 كواكب خارجية
Jupiter, 699- 700 المشتري
Neptune, 702 نبتون
Saturn, 700- 701 زحل
Uranus, 702 أورانوس
Planets, 690 كواكب
Sun, 693- 695 الشمس
Gases, 393- 394 غازات
Insoluble, 392 غير قابل للذوبان
Minerals, 517 معدني
Soluble, 391 قابل للذوبان
Temperatures changes, 392- 294 تغيرات درجة الحرارة
Soluble, 391 قابل للذوبان
Concentration, 388 تركيز
Solutions, 385- 390 محاليل
Mole, 389 مول
Saturated solution, 388 محلول مشبع
Unsaturated solution, 388 محلول غير مشبع
Solvent, 387 مذيب
Sonic boom, 245- 247 الانفجار الصوتي
Sound صوت
Acoustical imaging, dolphins and, 238 التصوير الصوتي، الدلافين
Bow waves, 245- 247 الأمواج القوسية
Doppler effect, 244- 245 أثر دوبلر
Forced vibrations, 239- 240 الاهتزازات القسرية
Interference, 240- 244 تداخل
Standing waves, 243 موجات واقفة
Musical sound, 247- 248 صوت موسيقي
Fundamental frequency, 248 تردد رئيس
Partial tones, 248 أنغام جزئية
Quality, 248 نوعية
Natural frequency, 239 تردد طبيعي
Reflection, 237- 239 انعكاس
Refraction, 237- 239 انكسار
Resonance, 239- 240 رنين
Shock wave, 246 موجة صادمة
Sonic boom, 245- 247 انفجار صوتي
Speed of, 236 سرعة
Sound waves, 235- 237 موجات صوتية
Loudspeakers, 236 مضخمات الصوت (سمّاعات)
Pitch, 235 درجة التضخم
Speed of sound, 236 سرعة الصوت
Sources of energy, 78- 79 مصدر الطاقة
Cosmology,. 749 كوني
Dark energy, 763- 764 طاقة معتمة
Dark matter, 761- 763 مادة معتمة
General theory of relativity, 757- 761 نظرية النسبية العامة
Helium, 754 هيليوم
Hydrogen, 754 هيدروجين
Ordinary matter, 761 مادة عادية
Principle of equivalence, 758 مبدأ التكافؤ
Relativity, 750 النسبية
Special theory of relativity, 761 نظرية النسبية الخاصة
Tests of general relativity, 760- 761 اختبارات النسبية العامة

Specific heat capacity, 147- 150 السعة الحرارية النوعية
Of water, 148 للماء
Spectroscope identification, atom, 298- 300 تطابق طيفي، الذرة
Atomic spectrum, 299 الطيف الذري
Speed, 25- 27 السرعة القياسية
Average speed, 26 متوسط السرعة
Instantaneous speed, 25- 26 السرعة اللحظية
Terminal, 43 حدّي
units, 26 وحدات
Speed of sound, 236 سرعة الصوت
Spring, 604- 605 زنبركات
Standing waves, 243 موجات واقفة
Stars, 719- 748 نجوم
Color of, 722- 724 لون
Neutron star, 731 نجم نيوتروني
Radiation curves, 723- 724 منحنيات الإشعاع
Static electricity, 181- 208 كهرباء ساكنة
Discharge, 610 تفريغ
Strong nuclear force, 316 قوة نووية شديدة
Structure of space, time, 749- 770 تركيب الفضاء ، الزمن
Subatomic particles, 289 جسيمات دون ذرية
Sublimation, 169- 620 التسامي
Molecules, 340 جزيئات
Sun, 693- 695 الشمس
Sunspots, 694 بقع شمسية

Superconductors, 194 فائقة الموصلية
Support force, 23 قوة داعمة

Surface water, 609- 617 ماء سطحي
Surface waves, 566 أمواج سطحية
Technology, science and, 8- 9 تقني، علمي و
Temperature, 142- 143, 666 درجة الحرارة
Temperature inversion, 669 انقلاب في درجات الحرارة
Atmospheric, 666 غلاف جوي
Temperature pressure relationship, atmosphere, 648- 650 علاقة درجة الحرارة بالضغط، الغلاف الجوي
Terminal speed, 43 السرعة الحدية
Terminal velocity, 43 السرعة الحدية المتجهة
Theory, 4 نظرية
Thermal energy, 141- 158 طاقة حرارية
Absolute zero, 143 الصفر المطلق
Heat, 144 الحرارة
Quantity of heat, 145 كمية الحرارة
Temperature, 142- 143 درجة الحرارة
Thermal expansion, 150- 151 التمدد الحراري
Laws of, 145- 146 قانون
First law of, 145 القانون الأول
Second law of, 146 القانون الثاني
Third law of, 146 القانون الثالث
Thermonuclear fusion, 330 اندماج نووي حراري
Thermosphere, 644 كرة حرارية
Third law of thermodynamics, 146 قانون الديناميكا الحرارية الثالث
Dark energy, 763- 764 طاقة معتمة
Dark matter, 761- 763 مادة معتمة
General theory of relativity, 757- 761 نظرية النسبية العامة
Helium, 754 هيليوم
Hydrogen, 754 هيدروجين
Ordinary matter, 761 مادة عادية
Principle of equivalence, 758 مبدأ التكافؤ
Relativity, 750 النسبية
Transfer of heat, 159- 179 انتقال الحرارة
Absorption of radiant energy, 164- 165 امتصاص طاقة الإشعاع
Boiling, 171- 173 غليان
Change of phase, 168- 171, 174- 175 تغير الطور
Condensation, 170- 171 تكثيف
Conduction, 160 توصيل
Convection , 161-162 الحمل الحراري
Emission of radiant energy, 163- 164 انبعاث طاقة الإشعاع
Evaporation, 169 تبخر
Freezing, 173- 174 تجمد
Greenhouse effect, 167- 168 أثر الدفيئة
Heat of fusion, 174 حرارة الاندماج
Heat of vaporization, 174 حرارة التبخر
Melting, 173- 174 انصهار
Newton’s law of cooling, 166- 167 قانون نيوتن في التبريد
Radiation, 163- 166 الإشعاع
Sublimation, 169 تسامٍ
Transformer boosting, 222- 223 محول رافع
Transmission, selective, 266- 267 النفاذ، الانتقاء
Transparency, 257- 260 الشفافية
Transparent materials, 257- 260 مواد منفذة
Transverse waves, 234- 235 أمواج عرضية
Types of rock, 517- 518 أنواع الصخور
Universal gravitation, 93- 94 الجذب الكوني
Universal gravitational constant, 89- 90 ثابت الجذب الكوني
Universal law of gravity, 88- 90 قانون الجاذبية الكوني
Unsaturated solution, 388 محلول غير مشبع
Valence electrons, 305 إلكترونات التكافؤ
Valence shell, 354 قشرة التكافؤ
Vaporization, heat of, 174 حرارة التبخر
Vector, 20 متجه
Vector quantity, 20 كمية متجهة
Free fall, 29 سقوط حر
Terminal, 43 حدّي

Vibrations, 232- 233 اهتزازات
Volcanic rock, 521 صخور بركانية
Voltage sources, 190- 191 مصادر الجهد
Volts, 193 الفولتات
Volume, 19 الحجم
Wastewater treatment, 403- 405 معالجة المياه العادمة
Bottled, 402- 403 معلب
Hard, softening, 396- 397 عسر، إزالة العسر (تيسير)
Wastewater treatment, 403- 405 معالجة المياه العادمة
Water purification, 397- 403 تنقية المياه
Bottled water, 402- 403 الماء المعلب
Desalination, 399- 402 إزالة الملوحة
Osmosis, 401 الأسموزي
Reverse osmosis, 401 الأسموزي العكسي
Semipermeable membrane, 400 غشاء شبه نفاذ
Wavelength, 232 طول موجة
Waves, 231- 254, 635- 642 موجات
Amplitude, 232 سعة
Compression, 235 انضغاط
Frequency, 232 تردد
Hertz, 232 هرتز
Longitudinal waves, 234- 235 أمواج طولية
Motion, 233 حركة
Rarefaction, 235 تخلخل
Refraction, 636- 638 انكسار
Sound waves, 235- 237 أمواج صوتية
Acoustical imaging, dolphins and, 238 التصوير الصوتي، الدلافين
Vow waves, 245- 247 الأمواج الصادمة
Doppler effect, 244- 245 أثر دوبلر
Forced vibrations, 239- 240 الاهتزازات القسرية
interference, 240- 244 تداخل
Standing wavers, 243 موجات واقفة
Loudspeakers, 236 السماعات
Musical sounds, 247- 248 أصوات موسيقية
Fundamental frequency, 248 تردد رئيس
Partial tones, 248 أنغام جزئية
Quality, 248 نوعية
Natural frequency, 239 تردد طبيعي
Pitch, 235 نغمة
Reflection, 237- 239 انعكاس
Refraction, 237- 239 انكسار
Resonance, 239- 240 رنين
Shock wave, 246 الموجة الصادمة
Speed of sound, 236 سرعة الصوت
Speed, 233- 234 السرعة
Vibrations, 232- 233 اهتزازات
Wavelength, 232 طول موجة
Atmospheric stability, 669- 670 ثبات الغلاف الجوي
(Weather (continued طقس
Temperature, 665 درجة الحرارة
Temperature changes, 666 تغيرات درجة الحرارة
Temperature inversion, 669 انقلاب درجة الحرارة
Cloud groups, 671 مجموعات غيوم
High clouds, 671- 672 غيوم عالية
Middle clouds, 672 غيوم متوسطة
Maps, 683` خرائط
Weather variables, 667- 670 متغيرات الطقس
Weight, 18, 92- 93 وزن
Weightlessness, 92- 93 انعدام الوزن
White dwarfs, 726 الأقزام البيضاء
Work, energy and, 68- 71 الشغل، الطاقة و
Work – energy theorem, 71- 74 نظرية الشغل والطاقة
Zero, absolute, 143 الصفر المطلق
Accumulation, 619 تراكم
Acid rain, 448- 452 مطر حمضي
Active galactic nucleus, 739 المركز المجري النشط
Active galaxies, 738- 740 مجرات نشطة
Air, in hydrologic cycle, 624 – 625 هواء في دورة الماء
Air masses, 674 – 679 كتلة الهواء
Atmospheric lifting, 675 الرفع بالغلاف الجوي
Convectional lifting, 675 الرفع بتيارات الحمل
Frontal lifting, 676- 678 رفع المقدمة
Midlatitude cyclones, 678 - 679 أعاصير العروض الوسطى
Orographic lifting, 675 رفع الجبال
Air motion, 648- 651 حركة الهواء
Forces, 648 – 651 القوة
Large scale air movement, 656 حركة الرياح الواسعة
Temperature pressure relationship, 648 – 650 العلاقة بين الحرارة والضغط
Air resistance, 24 مقاومة الرياح
Alpha particle, 312 – 314 دقائق ألفا
Anticlines, 585 محدب
Aquifers, 604 – 605 خزانات جوفية
Artesian system, 605 نظام ارتوازي
Asteroid belt, 709 – 710 حزام الكويكبات
Asthenosphere, 569 استنواسفير
Astrology, 726 علم التنجيم
Astronomical unit, 690 وحدة فلكية
Astronomy, 9- 10, 687 – 770 فلك
Atmosphere, 630- 632, 642- 644 غلاف جوي
Air motion, 648 – 651 حركة الرياح
Large scale air movement, 650 حركة الرياح على نطاق واسع
Temperature pressure relationship, 648 – 650 علاقة الحرارة بالضغط

Deep water currents, 657 – 659 تيارات الماء العميقة
Oceanic circulation, 653 – 654 دوران المحيط
Surface currents, 654 – 657 تيارات سطحية
Upper atmospheric circulation, 653 دوران الغلاف الجوي العلوي
Atmospheric moisture, 664 – 668 رطوبة الجو
Atmospheric stability, 669 – 670 ثبات الجو
Humidity, 664 الرطوبة
Relative humidity, 664 رطوبة نسبية
Saturation vapor pressure, 664 – 665 ضغط البخار المشبع
Temperature change, 666 تغير الحرارة
Temperature inversion, 669 انقلاب الحرارة
Atmospheric pressure, 125- 128 الضغط الجوي
AU. See Astronomical unit وحدة فلكية
Big Bang, 736, 750 – 754 الانفجار الأعظم
Black holes, 732 – 735 الثقب الأسود
Black holes, singularity, 734 غرابة الثقوب السوداء
Body waves, 566 أمواج جسمية
Cambrian period, 549 – 550 دور الكامبري
Carbon 14 dating, 322 التأريخ بالكربون 14
Carbonate dissolution, 608 – 609 ذوبان الكربونات
Carboniferous period, 551 الدور الكربوني
Caverns, 608 – 609 يقطن الكهف
Caves, 608 – 609 كهوف
Cenozoic era, 556 – 559 حقب الحياة الوسيطة
Cenozoic life, 558 – 559 الحياة الوسيطة
Chain reaction, 324 التفاعل المتسلسل
Change of phase, 168 – 171, 174 – 175 تغير الطور
Acid rain, 448 – 452 المطر الحمضي
Chemical sediments, 516 رسوبيات كيميائية
Chemical sedimentary rock, 527 – 528 صخور رسوبية كيميائية
Circulation patterns atmosphere, 651 – 659 نظام دورة الغلاف الجوي
Deep water currents, 657 – 659 تيارات الماء العميقة
Oceanic circulation, 653 – 654 دورة المحيط
Surface currents, 654 – 657 تيارات سطحية
Upper atmospheric circulation, 653 الدورة العليا للغلاف الجوي
Clusters, 740 – 744 العناقيد
Collisions, 66 -67 التصادم
Elastic, 66 مرن
Inelastic, 66 غير مرن
Comets, 710 – 713 مذنبات
Continental drift, 571 – 576 انجراف قاري
Convection, 161 – 162, 569 – 570 الحمل
Convectional lifting, 675 الرفع بتيارات الحمل
Convergent plate boundaries, 579 – 582 حواف الصفائح التصادمية
Core, اللب
Earth, 568 – 569 أرض
Coriolis force, 651 قوة كوريولوس
Cosmic background radiation, 753 – 757 الخلفية الإشعاعية للكون
Cosmic inflation, 755 – 757 انتفاخ كوني
Cosmologoca; reddshif 75 انحراف أحمر كوني
Cosmology, 749 علم الكون
Cretaceous extinction, 555 – 556 انقراض الكريتاسي
Cross cutting relationships, rick daring, 541 علاقة التقاطع، التأريخ الصخري
Crystallization, minerals, 514 التبلور، المعادن
In magma, 515 – 516 في الماجما
In water solutions, 516 – 517 في محلول ماء
Dark energy, 763 – 764 طاقة معتمة
Dark matter, 761 – 763 مادة معتمة
Dating of rock, 540 – 544 تأريخ الصخور
Cross cutting relationships, 541 علاقة التقاطع
Faunal succession, 542 تعاقب حيواني
Inclusions, 541 مكتنفات
Lateral continuity, 541 استمرارية جانبية
Original horizontality, 541 الترسيب الأفقي (مبدأ الأفقية الأصلية)
Superposition, 541 تعاقب
Deep water currents, 657 – 659 تيارات ماء عميقة
Deltas, 617- 618 دلتا
Density, 116 – 117 كثافة
Depositional environments, 614 بيئة ترسيب
Depositional landforms, 622 – 624 تضاريس ترسيبية
Devonian period, 551 الدور الديفوني
Divergent plate boundaries, 557 – 579 حدود صفائح متباعدة
Drainage basins, 612 – 613 أحواض التصريف
Networks, 612- 613 شبكة
Drainage systems, 609 – 613 أنظمة الصرف
Drift, 622 انجراف
Dwarf planets, 710 – 711 كواكب قزمة
Earth, 697 الأرض

Asthenosphere, 569 أستينوسفير
Core, 568 – 569 اللب
Crustal surface, 570 – 571 سطح القشرة
Folds, 585 طيات
Internal layers, 567 – 571 طبقات داخلية
Internal mantle, 569 – 570 ستار داخلي
Isostasy, 570 توازن
Lithosphere, 569 غلاف صخري
Mantle, 569 – 570 ستار
Mohorovicic discontinuity, 567 انقطاع موهو
Movement of, 39 حركية الصفائح
Plate tectonics, 567 – 571 حركية الصفائح
Earth science, 9- 10, 123, 503 – 686 علم الأرض
Earthquakes, 566, 587- 592 زلازل
Measurement, 588 قياسها
Mercalli scale, 588 مقياس ميركالي
Richter scale,588 مقياس رختر
Tsunami, 590 تسونامي
Eclipses, 707 – 709 كسوف وخسوف
Efficiency, 77 – 78 فاعلية
Sources of energy, 78 – 79 مصادر الطاقة
Elastic collision, 66 تصادم مرن
Erosion, 525 – 613 – 614 حت
Elliptical galaxies, 737 – 738 مجرات إهليلجية
Erosional environments, 614 بيئات حيتية
Erosional landforms, 621 – 622 تضاريس حيتية
Faults, 585 – 587 صدوع
Faunal succession, rock dating, 542 تعاقب حيواني، تأريخ صخري
Floodplains, 614 – 617 سهول فيضان
Floor of ocean, 632 - 634 قاع المحيط
Atmospheric pressure, 125 – 128 ضغط جوي
Foliated metamorphic rock, 531 – 532 صخور متحولة متورقة
Fossils, 528 مستحاثات
Full moon, 704 بدر
Galaxies, 719 – 748, 763 مجرات
Active, 738 – 740 نشطة
Active galactic nucleus, 739 أنوية مجرية نشطة
Elliptical, 737 – 738 إهليلجي
Formation, 763 تكون
Irregular, 737 – 738 غير منتظم
Spiral, 737 – 738 حلزوني
Starburst, 738 نجوم متفجرة
Gaps in rock record, 543 انقطاع في السجل الصخري
Angular unconformity, 543 عدم توافق زاوي
Unconformities, 543 عدم توافق
Geologic time, 546 زمن جيولوجي
Giant stars, 725 نجوم عملاقة
Glacial erosion, 621 – 622 حت جليدي
Glacial sedimentation, 622 – 624 ترسيب جليدي
Glaciations, 618 – 620 جليديات
Glacier mass balance, 619 – 620 توازن الكتل الجليدية
Glaciers, 618 – 624 جليديات
Formation, 618 – 619 تكون
Movement, 618 – 619 حركة
Global circulation patterns, 651 – 659 أنظمة الدوران الكروية
Deep water currents, 657 – 659 تيارات الماء العميقة
Oceanic circulation, 653 – 654 دوران المحيط
Surface currents, 654 – 657 تيارات سطحية
Upper atmospheric circulation, 653 دوران الغلاف الجوي الأعلى
Global warming, 167 – 168 الدفيئة
Greenhouse effect, 167 – 168, 646 – 648 أثر الدفيئة
Ground water, 601 – 607 مياه جوفية
Aquifers, 604 - 605 خزان جوفي
Movement, 606 – 607 حركة
Springs, 604 – 605 ينابيع
Water table, 603 – 604 سطح المياه الجوفية
Greenhouse effect, 167 – 168 أثر الدفيئة
Hertzsprung Russell diagram, 724-726 مخطط هيرتزبيرج – رسل
Humidity, 644 رطوبة
Hurricanes, 681 – 682 إعصار
Hydrocarbon, unsaturated, 477 هيدروكربونات غير مشبعة
Hydrocarbons, 472 – 476 هيدروكربونات
Saturated, 447 مشبع
Unsaturated, 476 – 478 غير مشبع
Moon, 703- 709 القمر
Eclipse, 707 – 709 كسوف وخسوف
Full moon, 704 بدر
Lunar eclipse, 708 خسوف القمر
New moon, 704 محاق
Phases of, 704 – 705 أطوار
Solar eclipse, 707 كسوف الشمس
Neap tides, 641 جزر محاقي
Nebula, planetary, 729 سديم، كوكبي
Nebular theory, 692 النظرية السديمية
Neptune, 702 نبتون
New Moon, 704 محاق
Nonfoliated metamorphic rock 532 صخور متحولة غير متورقة
Nonsilicate minerals, 513 معادن غير سليكاتية
Oceanic circulation, 653-654 دورة المحيط
Oceans 629-659 محيطات
Along coast 638-640 على طول الساحل
As basic solutions 448-452 حل رئيس
Components of 632-635 مكونات

Evolution of 630-632 تطور
Ocean floor 632-634 قاع المحيط
Seawater 634-635 مياه المحيط
Shorelines 635-642 شواطئ
Tides 635-642 مد وجزر
Wave refraction 636-638 انكسار الموج
Waves 635-642 أمواج
Along coast 638-640 على طول الساحل
Refraction 636-638 انكسار
Tides 640-642 مد وجزر
Oort cloud 711-713 غيمة أورت
Orbits مدار
Circular 103-104 مستدير
Elliptical 104-105 إهليلج
Ordovician period 550 دور الأوردوفيشي
Unsaturated hydrocarbons 476-478 هيدروكربونات غير مشبعة
Origingal horizontality rock 541 الترسيب الأفقي/ تأريخ الصخور
Orographic lifting 675 رفع الجبال
Outer planets, 690,699-702 الكواكب الخارجية
Jupiter 699-700 المشتري
Neptune 702 نبتون
Saturn 700-701 زحل
Uranus 702 أورانوس
Paleomagnetism 573 المغناطيسية القديمة
Paleozoic era, 549-553 حقب الحياة القديمة
Pangaea, 551 بانجيا
Partial melting, 520 ذوبان تفاضلي (جزئي)
Permian period, 552 – 553 دور البرميان
Phases of Moon, 704 – 705 أطوار القمر
Planetary data, 691 معطيات كوكبية
Planetary nebula 729 سديمية الكواكب
Planets,690, 695-702 كواكب
Earth 697 الأرض
Jupiter 699-700 المشتري
Mars 698-699 المريخ
Mercury 695-696 عطارد
Neptune 702 نبتون
Saturn 700-701 زحل
Uranus 702 أورانوس
Venus 696-697 الزهرة
Plate tectonics, 565-598 حركة الصفائح
Continental drift 571-576 الانجراف القاري
Convergent plate boundaries 579-582 حدود الصفائح المتقاربة
Divergent plate boundaries 577-579 حدود الصفائح المتباعدة
Earthquakes 587-592 زلازل
Faults 585-587 صدوع
Folds 585 طيات
Layers, Earth 600-601 طبقات الأرض
Seismic waves 566-567 أمواج زلزالية
Transform plate boundaries 583-584 حدود الصفائح التحويلية
Plutonic rock 523 صخور جوفية
Porosity 602 مسامية
Precambrian time, 546-549 زمن ما قبل الكامبري
Primary waves, 566 أمواج أولية
Pulsars 731 النابضة
Quasar,740 أشباه النجوم
Cosmic background,753 خلفية الكون
Radiation curves, stars منحنيات الإشعاع، النجوم
Carbon-14 dating, 322 تأريخ الكربون 14
Rain, acid 448-452 أمطار حمضية
Rainbows 272-274 قوس المطر
Refraction 237-239-262-265 انكسار
Waves 636-638 أمواج
Relative dating, rock dating 541 تأريخ نسبي، تأريخ الصخور
Relative humidity 664 رطوبة نسبية
Relative rock dating, 541 تأريخ نسبي للصخور
Cross-cutting relationships 541 علاقة التقاطع
Faunal Succession 542 تعاقب مستحاثي
Inclusions,541 مكتنفات
Iateral continuity, 541 الاستمرارية الجانبية
Original horizontality, 541 الترسيب الأفقي (مبدأ الأفقية الأصلية)
superposition, 541 التعاقب
Rock, 503-538 صخور
Deposition, 525 توضّع
Erosion, 525 حت
Formation 514-517 تكوّن
Igneous 517-523 نارية
Lava 521 لابة
Plutonic rock 523 صخور باطنية
Volcanic 521 براكين
Magma, 520-521 ماجما
Generation of 518-520 تكوّن
Metamorphic 518,528-532 متحول
Classifying 531-532 تصنيف
Foliated 531-532 متورق
Metamorphism 528 تحول
Types of 530-531 أنواع
Nonfoliated 532 غير متورق
Recrystallization 528 إعادة تبلور
Parrial melting 520 ذوبان تفاضلي
Plutonic rock 523 صخور باطنية
Relative dating 540-544 تأريخ نسبي
Rock cycle 532-533 دورة الصخور
Rock-forming minerals 513-514 معادن مكونة للصخور
Rock record 539-564 سجل صخري
Sedimentary 518-523-528 رسوبية
Chemical 527-528 كيميائية
Classifying 531-532 تصنيف
Formation of 531-532 تكون
Sedimentation 525 ترسيب
Types 517-518 أنواع
Weathering, 524 تجوية
Rock cycle 532-533 دورة الصخور

Rock-forming minerals 513-514 معادن مكونة للصخور
Sand dunes, 624 كثبان رملية
Satellites, 101-102 توابع
Circular orbits 103-104 دورات دائرية
Saturated hydrocarbons 477 هيدروكربونات مشبعة
Saturated solution 388 محلول مشبع
Saturn 700-701 زحل
Astronomy 9-10 علم الفلك
Earth science 9-10 علم الأرض
Sea salts, elements of 634 أملاح البحر، عناصر
Seafloor spreading 554,575 انتشار قاع المحيط
Seasons 645-646 فصول
Seawater 634-635 ماء البحر
Secondary waves, 566 أمواج ثانوية
Sediment transport 613-614 نقل الرسوبيات
Sedimentary rock 518-523-528 صخور رسوبية
Chemical 527-528 كيميائية
Classifying 526-527 تصنيف
Formation of 524-526 تكوّن
Sedimentation 525 ترسيب
Seismic waves 566-567 أمواج زلزالية
Body waves 566 أمواج جسمية
Earthquake 566 زلزال
Primary waves 566 أمواج أولية
Secondary waves 566 أمواج ثانوية
Surface waves, 566 أمواج سطحية
Shock wave246 أمواج صدمية
Shorelines 625-642 شواطئ
Silicates 513 سليكات
Silurian period 550-551 دور السيلوريان

Sinkholes 609 بالوعات
Solar eclipse 707 كسوف الشمس
Solar energy 645-648 الطاقة الشمسية
Global warming 646-648 الاحترار العالمي
Greenhouse effect 646-648 أثر الدفيئة
Seasons 645-646 فصول
Terrestrial radiation 646 الإشعاع الأرضي
Solar system 689-718 النظام الشمسي
Asteroid belt 709-710 حزام كويكبي
Astronomical unit 690 وحدة فلكية
Comets 710-713 مذنبات
Dwarf planets 710-711 كواكب قزمة
Ecliptic 690 دائرة البروج
Failed planet formation 709-713 الإخفاق في تكوين كوكب
Inner planets 690,695-699 كواكب داخلية
Earth 697 أرض
Mars 698-699 مريخ
Mercury 695-696 عطارد
Venus 696-697 زهرة
Kuiper belt 710-711 حزام كويبر
Meteor shower data 713 معطيات زخات الشهب
Meteorite 710 نيازك
Meteoroids 710 قطع كويكبات
Meteors 709-710 شهب
Moon 703-709 قمر
Eclipses 707-709 كسوف وخسوف
Full Moon 704 بدر
Iunar eclipse 708 خسوف القمر
New Moon 704 محاق
Phases of 704-705 أطوار
Solar eclipse 707 كسوف الشمس
Nebular theory 692 النظريّة السّديميّة
Oort cloud 711-713 غيمة أورت
Outer planets 690, 699-702 كواكب خارجية
Jupiter 699-700 المشتري
Neptune 702 نبتون
Saturn 700-701 زحل
Uranus 702 أورانوس
Planetary data 691 معطيات الكواكب
Planets 690 كواكب
Sun 693-695 شمس
Sunspots 694 بقع شمسية
Space/time structure 649-770 بنية الزمكان
Big Bang 750-754 انفجار عظيم
Cosmic background radiation 753-754 الخلفية الإشعاعية للكون
Cosmic inflation 755-757 انتفاخ الكون
Cosmological redshift 751 انحراف الأحمر الكوني
Cosmology 749 علم الكون

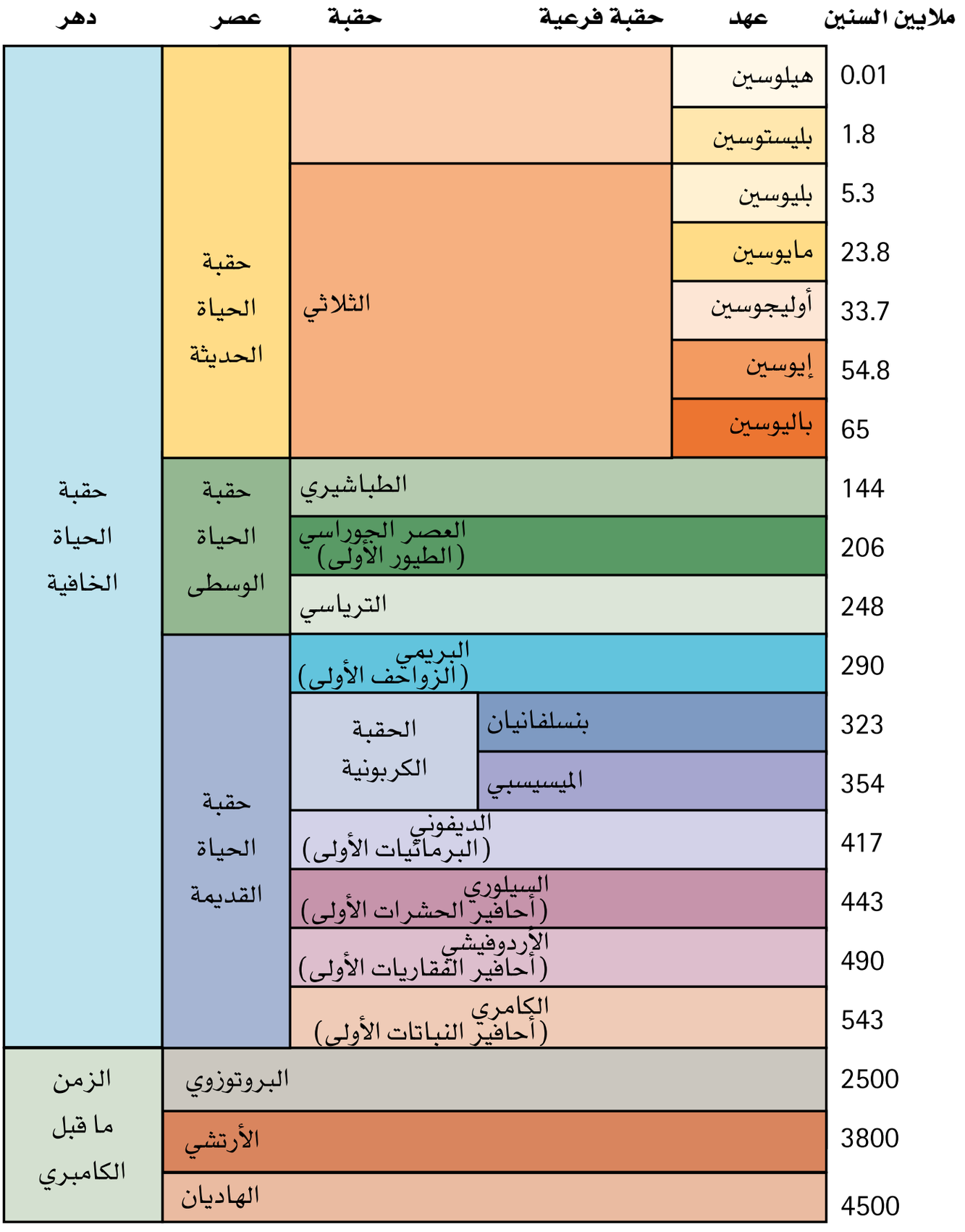
Dark energy 763-764 طاقة معتمة
Dark malter 761-763 مادة معتمة
Fate of universe 764-766 مصير الكون
Galaxy formation 763 تكون المجرة
General theory of relativity 757-761 النظرية العامة للنسبية
Spiral galaxies 737-738 مجرات حلزونية
Springs 604-605 ينابيع
Starburst galaxies 738 مجرات منفجرة
Starburst galaxy 738 مجرة منفجرة
Stars 719-748 نجوم
Brightness 722-724 لمعان
Color of 722-724 لون
Hertzsprung-Russell diagram 725 مخطط H-R
Life cycles of 727-731 دورة الحياة
Neutron star 731 نجم نيوتروني
Radiation curves 723-724 مخططات إشعاعية
Starburst galaxy 738 مجرات منفجرة
Startosphere 644 طبقة متطبقة "استراتوسفير"
Stream valleys 614-617 جداول
Cut bank 615 ضفاف مقطوعة
Point bars 615 حاجز نقطي
Subduction 579-582 غوص
Sun 693-695 شمس
Sunsets color 270-271 غروب الشمس، لون

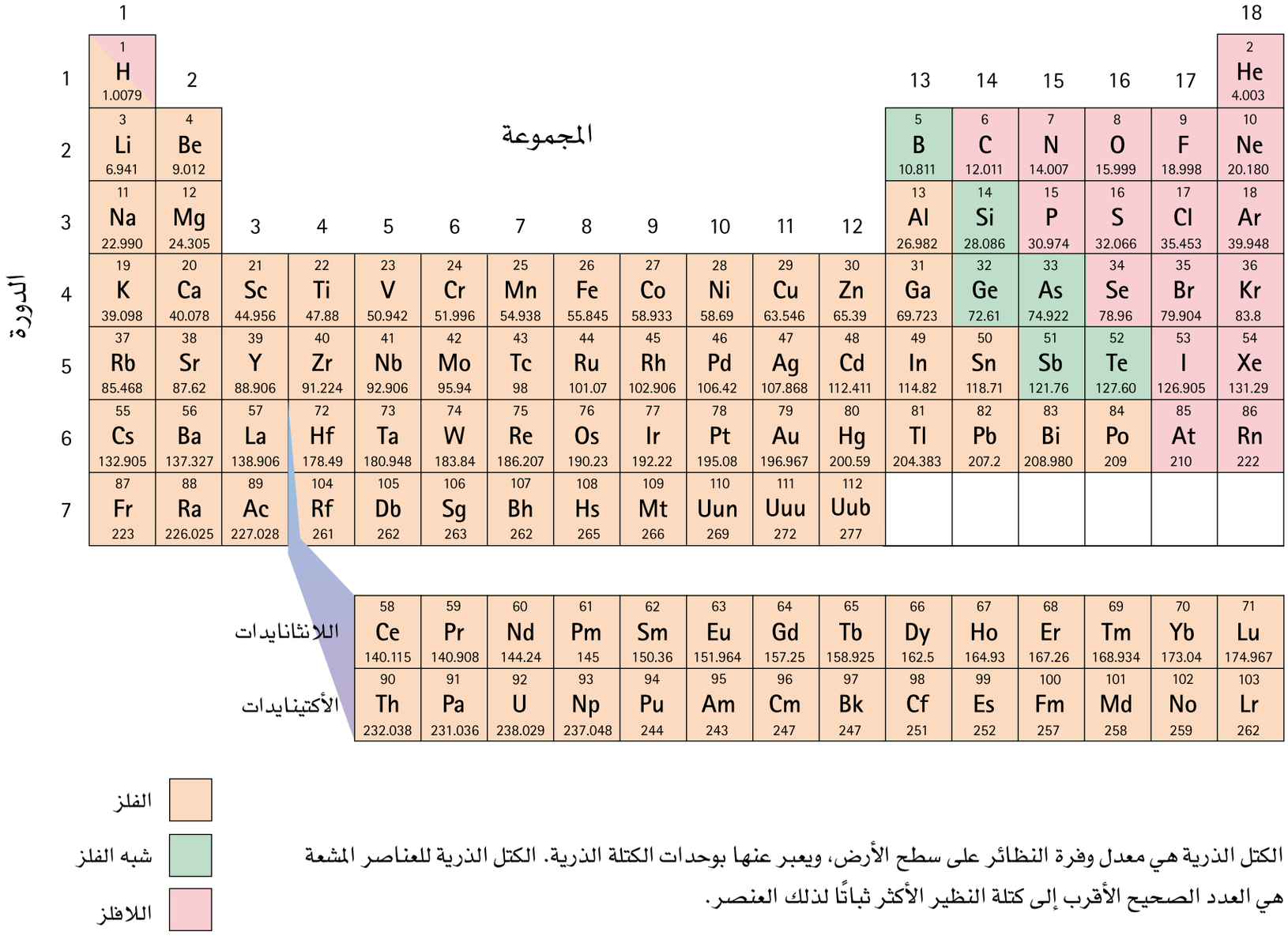
Sunspots 694 بقع الشمس
Superclusters 740-744 فوق عنقودية
Superposition, rock dating 541 تعاقب، تأريخ صخري
Surface currents 654-657 تيارات سطحية
Surface water 609-617 مياه سطحية
Laminar 610 مترقق
Turbulent 610 مضطرب
Surface waves 566 أمواج سطحية
Synclines 386 مقعرات
Tectonics. See Plate tectonics 142-143,666 حركية الصفائح
Terrestrial radiation 164,646 إشعاع أرضي
Thermosphere 644 الطبقة الحرارية
Tides 635-642 مد وجزر
Big Bang 750-754 انفجار عظيم
Cosmic background radiation 753-754 الخلفية الإشعاعية الكونية
Cosmic inflation 755-757 انتفاخ كوني
Cosmological redshift 751 انحراف أحمر كوني
Cosmology 749 علم الكون
Dark energy 763-764 طاقة معتمة
Dark matter 761-763 مادة معتمة
Fate of universe 764-766 مصير الكون
Galaxy formation 763 تكون المجرة
General theory of relativity 757-761 النظرية العامة للنسبية

Tornadoes 681 إعصار تورنيدو
Convection 161-162 حمل حراري
Emission of radiant energy 163-164 إصدار الطاقة الإشعاعية
Global warming 167-168 احترار أرضي
Greenhouse effect 167-168 أثر الدفيئة
Terrestrial radiation 164 إشعاع أرضي
Transform plate boundaries 583-584 حدود الصفائح التحويلية
Transverse waves 324-235 أمواج عكسية
Troposhere 643 طبقة التروبوسفير
Turbulent flow 610 جريان مضطرب
Types of rock 517-518 أنواع الصخور
Unsaturated hydrocarbons 476-478 هيدركربونات غير مشبعة
Upper atmospheric circulation 653 دوران في الغلاف الجوي الأعلى
Uranus 702 أورانوس
Venus 696-697 الزهرة
Volcanic rock 521 صخور بركانية
Volcanoes 521-523 البراكين
Wastewater treatment 403-405 معالجة المياه العادمة
Water table 603 سطح المياه الجوفية
Hurricanes 681-682 إعصار هوريكان
Tornadoes 681 إعصار تورنيدو
White dwarfs 726 قزم أبيض

Eon دهر
Era حقبة
Period دور
Subperiod تحت دور
Epoch حين
Ma مليون سنة
Cenozoic الحياة الحديثة
Quaternary الرباعي
Tertiary الثلاثي
Holocene هولوسين
Pleistocene بلايستوسين
Miocene ميوسين
Oligocene أوليجوسين
Eocene أيوسين
Paleocene باليوسين
Phanerozoic ظاهر الحياة
Mesozoic الحياة المتوسطة
Cretaceous الكرتياسي (الطباشيري)
Jurassic (first bird) الجوراسي (ظهور الطيور)
Triassic الترياسي
Permian (first reptiles) البيرمي (ظهور الزواحف)
Carboniferous الكربوني (الفحمي)
Pennsylvanian البنسلفاني
Mississippian المسيسبي
Devonian (first amphibians) الديفوني (ظهور البرمائيات)

Silurian (first insect fossils) السيلوري (ظهور الحشرات)
Ordovician (first vertebrate fossils) الأوردوفيشي (ظهور النباتات)
Cambrian (first plant fossils) الكامبري (ظهور النباتات)
Precambian Time خفي الحياة
Proterozoic بروتوزوييك
Archean أركيان
Hadean هاديان


ملايين السنين
عهد
حقبة فرعية
حقبة
عصر
دهر
0.01
هيلوسين
1.8
بليستوسين
5.3
بليوسين
23.8
مايوسين
33.7
أوليجوسين
54.8
إيوسين
65
باليوسين
الثلاثي
حقبة الحياة الحديثة
144
الطباشيري
206
العصر الجوراسي (الطيور الأولى)
248
الترياسي
حقبة الحياة الوسطى
290
البريمي (الزواحف الأولى)
323
بنسلفانيان
354
الميسيسبي
الحقبة الكربونية
417
الديفوني (البرمائيات الأولى)
443
السيلوري (أحافير الحشرات الأولى)
490
الأردوفيشي (أحافير الفقاريات الأولى)
543
الكامري (أحافير النباتات الأولى)
حقبة الحياة القديمة
حقبة الحياة الخافية
2500
البروتوزوي
3800
الأرتشي
4500
الهاديان
الزمن ما قبل الكامبري



الكتل الذرية هي معدل وفرة النظائر على سطح الأرض، ويعبر عنها بوحدات الكتلة الذرية. الكتل الذرية للعناصر المشعة هي العدد الصحيح الأقرب إلى كتلة النظير الأكثر ثباتًا لذلك العنصر.

الثوابت الفيزيائية

الاسم	الرمز	القيمة
سرعة الضوء	c	$2.997\ 924\ 58 \times 10^{8}$ m/s (exact)
ثابت بلانك	h	$6.626\ 075\ 5 \times 10^{-34}$ J · s
		$4.135\ 669\ 2 \times 10^{-15}$ eV · s
ثابت الجاذبية	G	$6.672\ 59 \times 10^{-11}$ N · m² / kg²
شحنة الإلكترون	e	$1.602\ 177\ 33 \times 10^{-19}$ C
كتلة الإلكترون	m_e	$9.109\ 389\ 7 \times 10^{-31}$ kg
		0.510 999 06 MeV
كتلة البروتون	m_p	$1.672\ 623\ 1 \times 10^{-27}$ kg
		938.272 31 MeV
كتلة النيوترون	m_n	$1.674\ 928\ 6 \times 10^{-27}$ mol^{-1}
		939.565 63 MeV
عدد أفوجادرو	N_A	$6.022\ 136\ 7 \times 10^{23}$ mol^{-1}
		1 mole = 6.022×10^{23} particles
وحدة الكتلة الذرية الموحدة	u	$1.660\ 540\ 2 \times 10^{-27}$ kg
		931.494 32 MeV

الخصائص الفيزيائية

الاسم	القيمة
تسارع الجاذبية عند السطح	9.81 m/s²
كتلة الشمس	1.99×10^{30} kg
نصف قطر الشمس	6.96×10^{8} m
كتلة الأرض	5.98×10^{24} kg
نصف قطر الأرض	6.37×10^{6} m
نصف قطر مدار الأرض	1.50×10^{11} m = 1 AU
كتلة القمر	7.36×10^{22} kg
نصف قطر القمر	1.74×10^{6} m
نصف قطر مدار القمر	3.84×10^{8} m

عوامل التحويل

الضغط

1باسكال = 1 N/m²

1ضغط جوي = $1.013\ 25 \times 10^{5}$ Pa

1باوند/انش² = 6895 Pa

الطاقة والقدرة

1كالوري = 4.187 J

1كيلو واط = 3.60×10^{6} J

1الكترون فولت = 1.602×10^{-19} J

1أولتا = 931.494 32 MeV

1قوة حصان = 746 W

السرعة

1م/ث = 3.60 km/h = 2.24 mi/h

1كلم/ث = 0.621 mi/h

القوة

1باوند = 4.448 N

الحجم، المساحة، الطول

1 انش (بوصة) = 2.54 cm (exact)

1 قدم = 30.48 cm (exact)

1متر = 39.37 in

1ميل = 1.609 344 0 km

1لتر = 10^{-3} m³ = 10^{3} cm³

الزمن

1سنة = 3.1558×10^{7} s = $365\frac{1}{4}$ يوم

1يوم = 86,400 s

1ساعة = 3600 s

الكتلة

1كلجم = 1000 g

1كلجم يساوي 2.205 باوند تقريبًا

الأعداد بالترميز العلمي

1 000 000	= 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10	$= 10^6$
100 000	= 10 x 10 x 10 x 10 x 10	$= 10^5$
10 000	= 10 x 10 x 10 x 10	$= 10^4$
1000	= 10 x 10 x 10	$= 10^3$
100	= 10 x 10	$= 10^2$
10	= 10	$= 10^1$
1	= 1	$= 10^0$
0.1	= 1/10	$= 10^{-1}$
0.01	= 1/100 = $1/10^2$	$= 10^{-2}$
0.001	= 1/1000 = $1/10^3$	$= 10^{-3}$
0.0001	= 1/10 000 = $1/10^4$	$= 10^{-4}$
0.000 01	= 1/100 000 = $1/10^5$	$= 10^{-5}$
0.000 001	= 1/1 000 000 = $1/10^6$	$= 10^{-6}$

بيانات الفيزياء

2.9979×10^8 m/s	= سرعة الضوء في الفراغ
343 m/s	= سرعة الصوت عند (20°C، ضغط جوي)
1.01×10^5 Pa	= الضغط الجوي القياسي
9.461×10^{12} km	= سنة ضوئية (وحدة القياس الفلكية)
1.50×10^{11} m	= معدل المسافة بين الأرض والشمس
3.84×10^8 m	= معدل المسافة بين الأرض والقمر
6.96×10^8 m	= نصف قطر الشمس عند الوسط
7.14×10^7 m	= نصف قطر المشتري عند الوسط
6.37×10^6 m	= نصف قطر الأرض عند خط الإستواء
1.74×10^6 m	= نصف قطر القمر عند خط الإستواء
5×10^{-11} m	= معدل نصف قطر ذرة الهيدروجين
1.99×10^{30} kg	= كتلة الشمس
1.90×10^{27} kg	= كتلة المشتري
5.98×10^{24} kg	= كتلة الأرض
7.36×10^{22} kg	= كتلة القمر
1.6726×10^{-27} kg	= كتلة البروتون
1.6749×10^{-27} kg	= كتلة النيوترون
9.1×10^{-31} kg	= كتلة الإلكترون
1.602×10^{-19} C	= شحنة الإلكترون

الاختصارات القياسية

A	أمبير	g	جرام	M	مولارتي		
amu	وحدة الكتلة الذرية	h	ساعة	min	دقيقة		
atm	الضغط الجوي	hp	قوة حصان	mph	ميل/ساعة		
Btu	وحدة الحرارة البريطانية	Hz	هيرتز	N	نيوتن		
C	كولومب	in.	بوصة	Pa	باسكال		
°C	درجة سليوسية	J	جول	psi	باوند/انش مربع		
cal	كالوري	K	كلفن	s	ثانية		
eV	إلكترون فولت	kg	كلجم	V	فولت		
°F	درجة فهرنهايتية	lb	باوند	W	واط		
ft	قدم	m	متر	Ω	أوم		

تولي وزارة التعليم العالي في المملكة العربية السعودية اهتماماً بالغاً بتنمية المجتمع؛ حيث تسعى جاهدة إلى توفير بيئة محفزة على الابتكار، قادرة على الإسهام في التحول إلى مجتمع المعرفة، وتعزيز التنمية المستدامة.

ويأتي مشروع وزارة التعليم العالي لترجمة الكتب المتخصصة في مرحلته الثانية ضمن سلسلة من مختلف التخصصات العلمية، يتم فيها ترجمة نخبة من المقررات الجامعية العالمية، من قِبل فرق أكاديمية متخصصة؛ إسهاماً في تلبية احتياجات الطلاب والباحثين في جميع فروع المعرفة، والعلوم الحديثة على وجه الخصوص، وفق قائمة أولويات واضحة للاحتياجات الراهنة والمستقبلية. وتعد المرحلة الثانية استكمالاً للمرحلة الأولى التي ركزت على (ترجمة كتب التطوير الأكاديمي)، فتناولت تطوير العملية التعليمية، وتطوير النظام الإداري، وصدر منها أكثر من (٦٢) كتاباً.

وتعتمد الوزارة كثيراً من المعايير المحكَّمة في اختيار الكتب للترجمة؛ من بينها أن تكون الكتب قد حازت قبولاً وانتشاراً في المؤسسات الجامعية ذات الشهرة العالمية، إضافة إلى إثرائها المحتوى العربي؛ كونها مراجع أساسية تخدم مختلف التخصصات، ويُراعى فيها أن تتلاءم مع ما يُدرَّس في جامعاتنا؛ لتكون متاحة للطلبة والباحثين في جامعات المملكة العربية السعودية خاصة، وفي العالم العربي عامة، وترفد الطلاب بمراجع لا غنى عنها في المعرفة، وتسهم في تعزيز التواصل الحضاري والثقافي ونقل المعرفة.

وزير التعليم العالي

د. خالد بن محمد العنقري

ISBN:978-603-503-528-6

موضوع الكتاب: الفيزياء