المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

فيزياء ١

التعليم الثانوي- نظام المقررات

(المسار المشترك)

قام بالتأليف والمراجعة
فريق من المتخصصين

طبعة ١٤٤٣ - ٢٠٢١

يوزع مجاناً ولا يباع

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

ⓒ وزارة التعليم ، ١٤٣٧هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
وزارة التعليم
الفيزياء (١) التعليم الثانوي – نظام المقررات – البرنامج المشترك / وزارة التعليم – الرياض ، ١٤٣٧هـ
٢٤٠ ص ؛ ٥ , ٢٧ x ٢١سم
ردمك : ٢– ٣٥٢– ٥٠٨– ٦٠٣– ٩٧٨

أ– الفيزياء – كتب دراسية ٢– التعليم الثانوي – السعودية –
كتب دراسية أ. العنوان
ديوي ٥٣٠ , ٧١٢ ١٤٣٧/١٠٣٦٤

رقم الإيداع : ١٤٣٧/١٠٣٦٤
ردمك : ٢- ٣٥٢- ٥٠٨- ٦٠٣- ٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين"

IEN.EDU.SA

تواصل بمقترحاتك لتطوير الكتاب المدرسي

FB.T4EDU.COM

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

1-7.indd 2 03/03/2020 1:57 PM

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات الحية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات ، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحذر مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات مثل فوق اكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأسيتون، برمنجنات البوتاسيوم ، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق حسب نوع المادة المحترقة والموضحة على المطفأة.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف (للطالبات)، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائمًا ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط إشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

المقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد:
يأتي اهتمام المملكة بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) وهو: «إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية»، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب (فيزياء١) لنظام المقررات في التعليم الثانوي داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) نحو الاستثمار في التعليم «عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة»، بحيث يكون الطالب فيهما هو محور العملية التعليمية التعلمية.

والفيزياء فرع من العلوم الطبيعية يهتم بدراسة الظواهر الطبيعية واستنباط النظريات وصياغة القوانين الرياضية التي تحكم المادة والطاقة والفراغ والزمن، ويحاول تفسير وإيجاد علاقات لما يدور في الكون من خلال دراسة تركيب المادة ومكوناتها الأساسية، والقوى بين الجسيمات والأجسام المادية، ونتائج هذه القوى، إضافة إلى دراسة الطاقة والشحنة والكتلة. لذا يهتم علم الفيزياء بدراسة الجسيمات تحت الذرية مرورًا بسلوك المواد في العالم الكلاسيكي إلى حركة النجوم والمجرات.

وقد جاء هذا الكتاب في سبعة فصول، هي: مدخل إلى الفيزياء، وتمثيل الحركة، والحركة المتسارعة، والقوى في بُعد واحد، والقوى في بعدين، والحركة في بعدين، والجاذبية. ستتعرف في هذا المقرر مفهوم علم الفيزياء والطريقة العلمية في البحث والتجريب، وتعلم كيفية وصف وتمثيل حركة جسم ما، واستخدام معادلات لإيجاد بعض المتغيرات المتعلقة بحركة الجسم. ودراسة القوة والحركة في بُعد واحد- كالسقوط الحر- واستخدام قوانين نيوتن لوصف وتحليل ودراسة حركة الأجسام. كما يعرض كتاب فيزياء ١ القوى والحركة في بعدين والمتجهات وحركة المقذوفات والحركة الدائرية، إضافة إلى دراسة حركة الكواكب والجاذبية، وحساب سرعة إطلاق الأقمار الاصطناعية، ودراسة قوانين كبلر ومدارات الكواكب والأقمار.

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وبما يعزز رؤية (٢٠٣٠) «نتعلم لنعمل»؛ وجاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، وكذلك الاطلاع على أهمية الفصل من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الفصل، إضافة إلى وجود سؤال فكِّر الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل. ثم ينفِّذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلالية» والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها أثناء دراسة المحتوى، ومنها التجربة العملية ويمكن الرجوع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته.

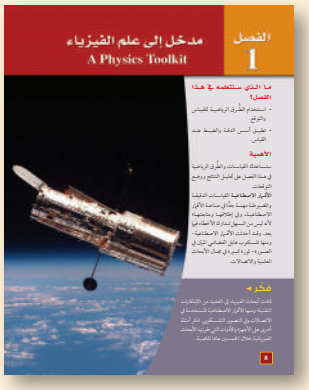
يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها الروابط الرقمية للدروس عبر منصة عين التعليمية وكذلك ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى، والربط مع محاور رؤية (٢٠٣٠) وأهدافها الإستراتيجية. وستجد شرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق، ومظللة باللون الأصفر، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل فصل مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلمته في حالات جديدة. ويتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

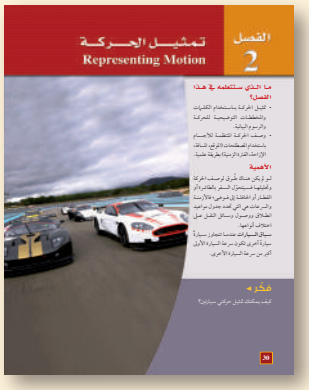
وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في التقويم بمراحله وأغراضه المختلفة: القبلي، والتشخيصي، والتكويني (البنائي)، والختامي (التجميعي)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل والأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية بوصفها تقويمًا قبليًّا تشخيصيًّا لاستكشاف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمن أفكار المحتوى وأسئلة تساعد على تلمّس جوانب التعلم وتعزيزه، وما قد يرغب الطالب في تعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية كل فصل يأتي دليل مراجعة الفصل متضمنًا تذكيرًا بالمفاهيم الرئيسة والمفردات الخاصة بكل قسم. يلي ذلك تقويم الفصل الذي يشمل أسئلة وفقرات متنوعة تهدف إلى تقويم تعلم الطالب في مجالات عدة، هي: إتقان المفاهيم، وحل المسائل، والتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومهارات الكتابة في الفيزياء. وفي نهاية كل فصل يجد الطالب اختبارًا مقننًا يهدف إلى تدريبه على حل المسائل وإعداده للتقدم للاختبارات الوطنية والدولية، إضافة إلى تقويم فهمه لموضوعات كان قد درسها من قبل.

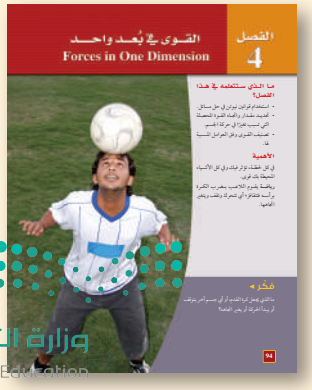
والله نسأل أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

فهرس المحتويات







الفصل 1

مدخل إلى علم الفيزياء 8

1-1 الرياضيات والفيزياء 9

1-2 القياس 16

الفصل 2

تمثيل الحركة 30

2-1 تصوير الحركة 31

2-2 الموقع والزمن 34

2-3 منحنى (الموقع -الزمن) 38

2-4 السرعة المتجهة 43

الفصل 3

الحركة المتسارعة 58

3-1 التسارع (العجلة) 59

3-2 الحركة بتسارع ثابت 70

3-3 السقوط الحر 79

الفصل 4

القوى في بعد واحد 94

4-1 القوة والحركة 95

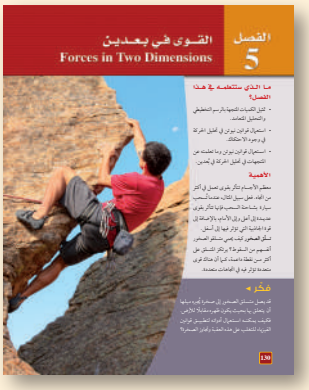
4-2 استخدام قوانين نيوتن 105

4-3 قوى التأثير المتبادل 112

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

فهرس المحتويات

الفصل 5



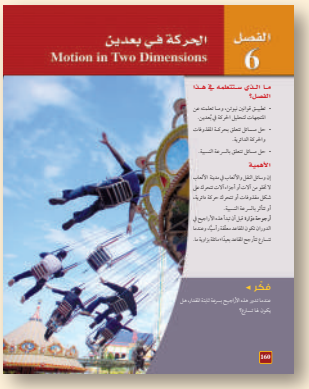
القوى في بعدين 130

5-1 المتجهات 131

5-2 الاحتكاك 139

5-3 القوة والحركة في بُعدين 146

الفصل 6



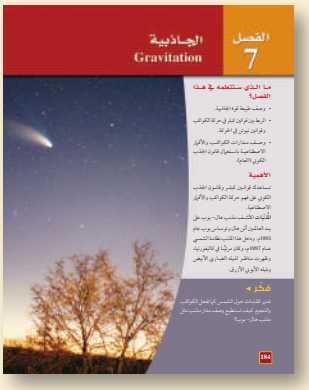
الحركة في بعدين 160

6-1 حركة المقذوف 161

6-2 الحركة الدائرية 168

6-3 السرعة المتجهة النسبية 172

الفصل 7



الجاذبية 184

7-1 حركة الكواكب والجاذبية 185

7-2 استخدام قانون الجذب الكوني 194

مصادر تعليمية للطالب 212

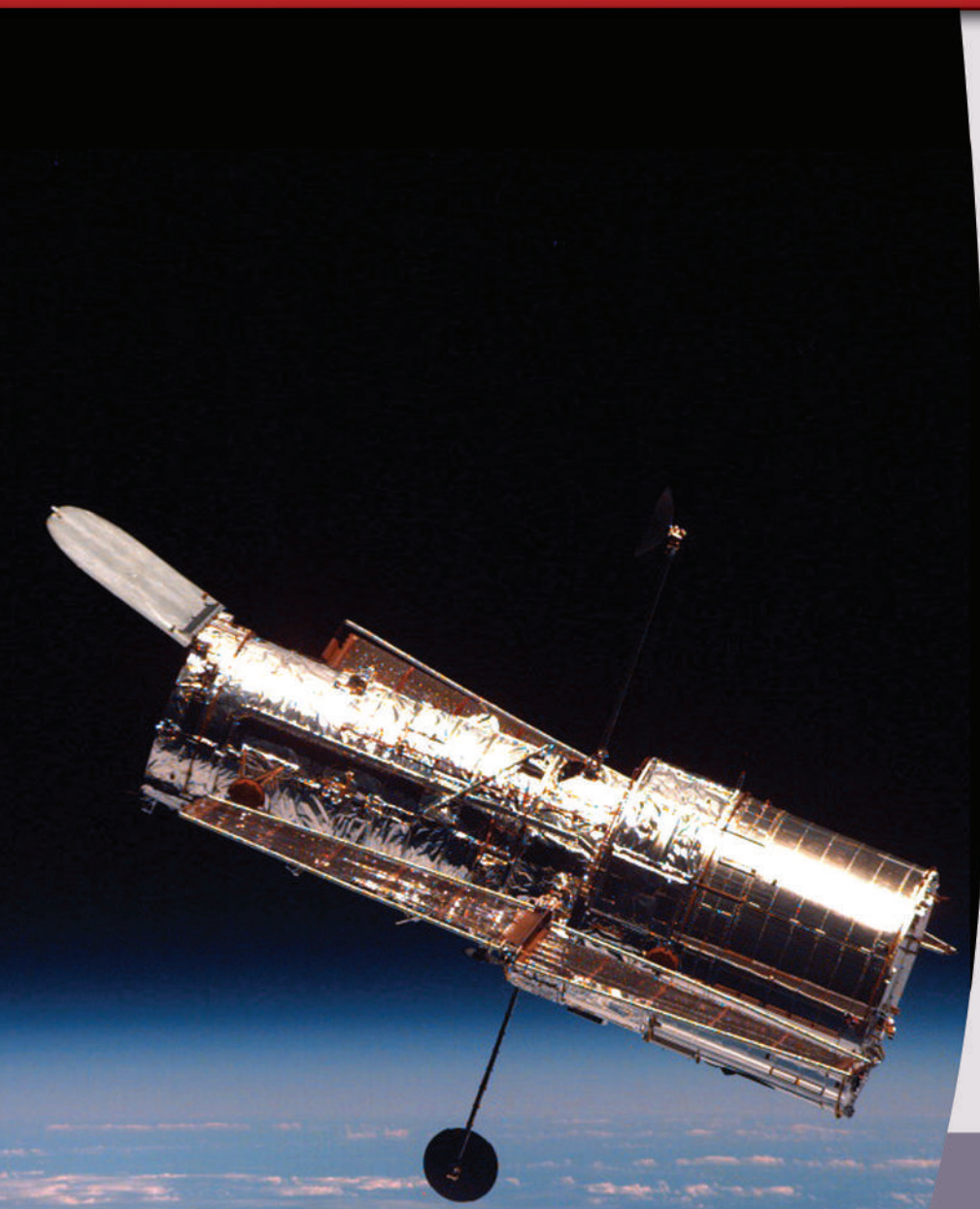
دليل الرياضيات 213

الجداول 234

المصطلحات 236

الفصل 1

مدخل إلى علم الفيزياء
A Physics Toolkit



وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- استخدام الطُّرق الرياضية للقياس والتوقع.
- تطبيق أسس الدقة والضبط عند القياس.

الأهمية

ستساعدك القياسات والطُّرق الرياضية في هذا الفصل على تحليل النتائج ووضع التوقعات.

الأقمار الاصطناعية القياسات الدقيقة والمضبوطة مهمة جدًّا في صناعة الأقمار الاصطناعية، وفي إطلاقها ومتابعتها؛ لأنه ليس من السهل تدارك الأخطاء فيما بعد. وقد أحدثت الأقمار الاصطناعية- ومنها تلسكوب هابل الفضائي المبيّن في الصورة- ثورة كبيرة في مجال الأبحاث العلمية والاتصالات.

فكِّر ◄

قادت أبحاث الفيزياء إلى العديد من الابتكارات التقنية؛ ومنها الأقمار الاصطناعية المستخدمة في الاتصالات وفي التصوير التلسكوبي. اذكر أمثلة أخرى على الأجهزة والأدوات التي طورتها الأبحاث الفيزيائية خلال الخمسين عامًا الماضية.

تجربة استهلالية

هل تسقط جميع الأجسام بالسرعة نفسها؟

سؤال التجربة كيف يؤثر وزن الجسم في سرعة سقوطه؟

الخطوات

اشتملت كتابات الفيلسوف الإغريقي أرسطو على دراسات لبعض نظريات علم الفيزياء التي كان لها تأثير كبير في أواخر القرون الوسطى. حيث اعتقد أرسطو أن الوزن عامل مؤثر في سرعة سقوط الجسم، وأن سرعة سقوط الجسم تزداد مع ازدياد وزنه. وقد استقصى جاليليو ذلك للتأكد من صحته.

1. ألصق أربع قطع نقد معدنية (من فئة 50 هللةً) معًا باستخدام شريط لاصق.
2. ضع القطع النقدية الملتصقة على راحة يدك، وضع إلى جوارها قطعة نقد واحدة.
3. **لاحظ** من خلال دفع القطع لراحة يدك، أيها أثقل: القطع الملتصقة أم القطعة الواحدة؟
4. **لاحظ** أسقط القطع جميعها من يدك في الوقت نفسه، ثم لاحظ حركتها.

التحليل

وفقًا لنظرية أرسطو، ما سرعة سقوط قطعة النقد مقارنة بالقطع الملتصقة؟ ماذا تستنتج؟

التفكير الناقد وضّح تأثير كل من الخصائص الآتية في سرعة سقوط الجسم: الحجم، الكتلة، الوزن، اللون، الشكل.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1-1 الرياضيات والفيزياء Mathematics and Physics

ما الذي يخطر ببالك عندما ترى أو تسمع كلمة «فيزياء»؟ يتخيل كثير من الناس سبورة كُتب عليها معادلات رياضية فيزيائية مثل:

$$E = mc^2 \text{ ،} I = \frac{V}{R} \text{ ،} d = \frac{1}{2}at^2 + v_o t + d_o$$

ولعلك تتخيل علماء وباحثين يرتدون معطف المختبر الأبيض، وقد تتخيّل وجوهًا شهيرة في عالم الفيزياء مثل ألبرت أينشتاين أو إسحق نيوتن وغيرهما، وقد تُفكر في الكثير من التطبيقات التقنية الحديثة التي طوّرها علم الفيزياء، ومنها الأقمار الاصطناعية، والكمبيوتر المحمول، وأشعة الليزر، وغيرها.

الأهداف

- **توضح** الطريقة العلمية.
- **تجري** العمليات الحسابية وفقًا للقوانين الفيزيائية، وباستخدام التعبير العلمي.

المفردات

الفيزياء
الطريقة العلمية
الفرضية
النماذج العلمية
القانون العلمي
النظرية العلمية

ما الفيزياء؟ What is Physics?

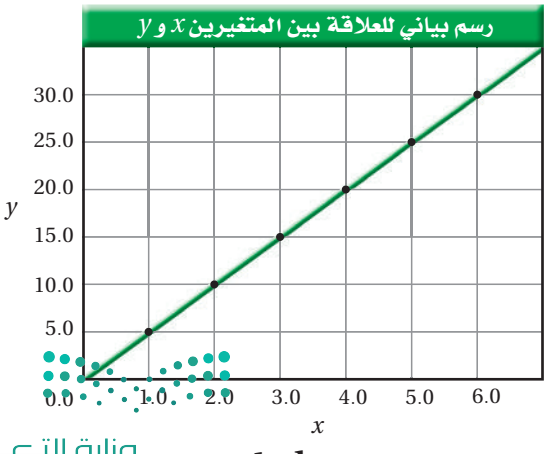
الفيزياء فرع من فروع العلم يُعنى بدراسة العالَم الطبيعي: الطاقة والمادة وكيفية ارتباطهما. فعلماء الفيزياء يدرسون طبيعة حركة الإلكترونات والصواريخ، والطاقة في الموجات الضوئية والصوتية، وفي الدوائر الكهربائية، ومكونات الكون وأصل المادة. إن الهدف من دراسة هذا الكتاب هو مساعدتك على فهم العالم الفيزيائي من حولك.

يعمل دارسو الفيزياء في مجالات ومهن عديدة؛ فبعضهم يعمل باحثًا في الجامعات والكليات أو في المصانع ومراكز الأبحاث، والبعض الآخر يعمل في المجالات الأخرى المرتبطة مع علم الفيزياء، ومنها الفلك والهندسة وعلم الحاسب ومجال التعليم والصيدلة. وهناك آخرون يستخدمون مهارات حل المشكلات الفيزيائية في مجالات الأعمال التجارية والمالية وغيرها.

الرياضيات في الفيزياء Mathematics in Physics

يستخدم علماء الفيزياء الرياضيات بوصفها لغة قادرة على التعبير عن القوانين والظواهر الفيزيائية بشكل واضح ومفهوم. وفي علم الفيزياء تمثل المعادلات الرياضية أداة مهمة لنمذجة المشاهدات ووضع التوقعات لتفسير الظواهر الفيزيائية المختلفة. فبالعودة إلى التجربة الاستهلالية تستطيع أن تتوقع أنه عند إسقاط قطع النقد المعدنية فإنها تسقط في اتجاه الأرض. ولكن بأي سرعة تسقط؟ يمكن التعبير عن سقوط القطع المعدنية بنماذج مختلفة يعطي كل منها إجابة مختلفة عن طريقة تغير السرعة في أثناء السقوط، أو ما تعتمد عليه هذه السرعة. وبحساب سرعة الجسم الساقط يمكنك مقارنة نتائج التجربة بما توقعته في النماذج السابقة، مما يتيح لك اختيار أفضلها، والشروع في تطوير نموذج رياضي جديد يعبّر عن الظاهرة الفيزيائية بشكل أفضل.

يمكن مثلًا استخدام الرسوم البيانية؛ فهي تتيح الوصول إلى المعلومات بشكل سريع وسهل. فالأنماط التي لا يمكن رؤيتها بسهولة في قائمة من الأرقام تأخذ شكلاً واضحًا ومحددًا عندما تمثَّل بالرسم. وقد تأخذ النقاط المبعثرة في الرسم البياني عدة أشكال عند توصيلها معًا بخط المواءمة الأفضل؛ وهو أفضل خط بياني يمرّ بالنقاط كلها تقريبًا. فعند توصيل النقاط المبعثرة في الشكل المجاور نحصل على علاقة خطية طردية بين المتغيرين x وy. ولتعرّف العلاقات الأخرى ارجع إلى دليل الرياضيات في آخر الكتاب، وكتاب الرياضيات للصف الثالث المتوسط: العلاقات الخطية والعلاقات التربيعية.



الشكل 1–1

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

مثـــــال 1

فرق الجهد الكهربائي V في دائرة كهربائية يساوي حاصل ضرب شدة التيار الكهربائي I في المقاومة الكهربائية R في تلك الدائرة؛ أي أن: $V(volts) = I(amperes) \times R(ohms)$. ما مقاومة مصباح كهربائي يمر فيه تيار كهربائي مقداره 0.75 *amperes* عند وصله بفرق جهد مقداره 120 *volt*؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- إعادة كتابة المعادلة.
- تعويض القيم .

المعلوم	المجهول
$I = 0.75\ amperes$	$R = ?$
$V = 120\ volts$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

نعيد كتابة المعادلة ليكون المجهول وحده على الطرف الأيسر للمعادلة

$V = IR$

بعكس طرفي المعادلة $IR = V$

بقسمة كلا الطرفين على I $R = \frac{V}{I}$

بالتعويض $I = 0.75\ amperes$ ، $V = 120\ volts$ $R = \frac{120\ volts}{0.75\ amperes}$

نحصل على المقاومة بوحدة (Ω) أو *ohms* $R = 160\ ohms$

3 تقويم الجواب

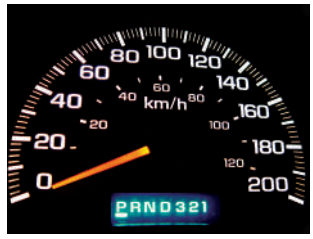
- **هل الوحدات صحيحة؟** $1\ ohm = 1\ volt / ampere$، وتلاحظ أن الجواب بوحدة $volts/ampere$ وهذه الوحدة هي وحدة *ohms* نفسها، كما هو متوقع.
- **هل الجواب منطقي؟** قُسِّمَ الرقم 120 على عدد أقل قليلًا من 1، فمن المنطقي أن يكون الجواب أكبر قليلًا من 120.

مسائل تدريبية

أعد كتابة المعادلات المستخدمة في حل المسائل الآتية، ثم احسب المجهول:

1. وُصِّل مصباح كهربائي مقاومته 50.0 Ω في دائرة كهربائية مع بطارية فرق جهدها 9.0 *volts*. ما مقدار التيار الكهربائي المار في المصباح؟ علمًا بأن معادلة أوم تعطى بالعلاقة ($V = I \times R$).
2. إذا تحرك جسم من السكون بتسارع ثابت a فإن سرعته v_f بعد زمن مقداره t تُعْطَى بالعلاقة $v_f = at$. ما تسارع دراجة تتحرك من السكون فتصل سرعتها إلى 6 m/s خلال زمن قدره 4 s؟
3. ما الزمن الذي تستغرقه دراجة نارية تتسارع من السكون بمقدار $0.400\ m/s^2$، حتى تبلغ سرعتها 4.00 m/s؟ (علمًا بأنّ $v_f = at$)
4. يُحسب الضغط P المؤثر في سطح ما بقسمة مقدار القوة F المؤثرة عموديًّا على مساحة السطح A حيث $P = \frac{F}{A}$ فإذا أثر رجل وزنه 520 N يقف على الأرض بضغط مقداره $32500\ N/m^2$، فما مساحة نعلي الرجل؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443



الشكل 2–1 ما القيم المنطقية لسرعة سيارة؟

هل هذا منطقي؟ تستخدم أحيانًا وحدات غير مألوفة، كما في **المثال 1**، وتحتاج إلى التقدير للتحقق من أن الإجابة منطقية من الناحية الرياضية. وفي أحيان أخرى تستطيع التحقق من أن الإجابة تتوافق مع خبرتك، كما هو واضح من **الشكل 2–1**. عندما تتعامل مع تجربة الأجسام الساقطة تحقق من أن زمن سقوط الجسم الذي تحسبه يتوافق مع خبرتك. فمثلًا هل تحتاج الكرة النحاسية التي تسقط من ارتفاع 5 m إلى 0.002 s أم إلى 17 s حتى تصل إلى سطح الأرض؟ طبعًا كلتا الإجابتين غير منطقية.

الطريقة العلمية Scientific Method

تمثل **الطريقة العلمية** أسلوبًا للإجابة عن تساؤلات علمية بهدف تفسير الظواهر الطبيعية المختلفة. وتبدأ بطرح أسئلة بناءً على مشاهدات، ثم محاولة البحث عن إجابات منطقية لها عن طريق وضع الفرضيات.

الفرضية تخمين علمي عن كيفية ارتباط المتغيرات بعضها مع بعض. ولاختبار صحة الفرضية يتم تصميم التجارب العلمية وتنفيذها، وتسجيل النتائج وتنظيمها، ثم تحليلها؛ في محاولة لتفسير النتائج أو توقع إجابات جديدة. ويجب أن تكون التجارب والنتائج قابلة للتكرار، عند قيام باحثين آخرين بإعادة التجربة والحصول على النتائج نفسها. ويوضح **الشكل 3–1** مجموعة من الطلاب وهم يجرون تجربة فيزيائية لقياس المعدل الزمني للشغل الذي يبذله كل منهم في أثناء صعود الدرج؛ أي قدرة كلٍّ منهم.

تجربة

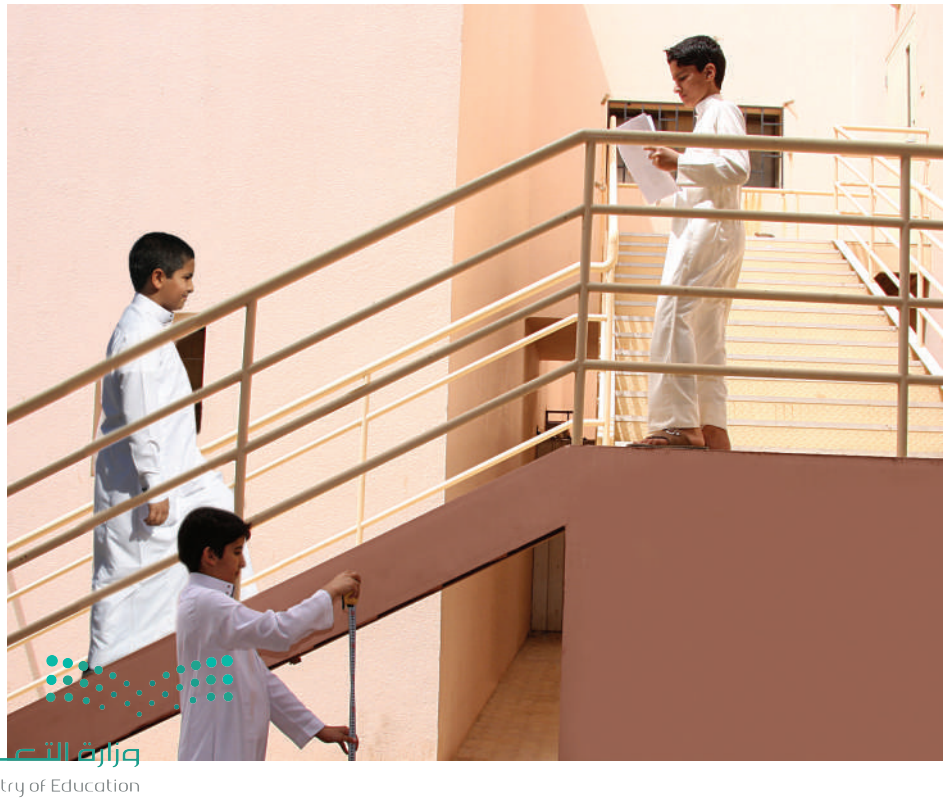
قياس التغير

اجمع خمس حلقات معدنية متماثلة، ونابضًا يستطيل بشكل ملحوظ عندما نعلّق به حلقة معدنية.

1. **قس** طول النابض، ثم قسه عند تعليق حلقة، ثم حلقتين، ثم 3 حلقات معدنية به.
2. **ارسم بيانيًا** العلاقة بين طول النابض والكتلة المعلقة به.
3. **توقع** طول النابض عند تعليق 4 حلقات به ثم 5.
4. **اختبر** توقعاتك.

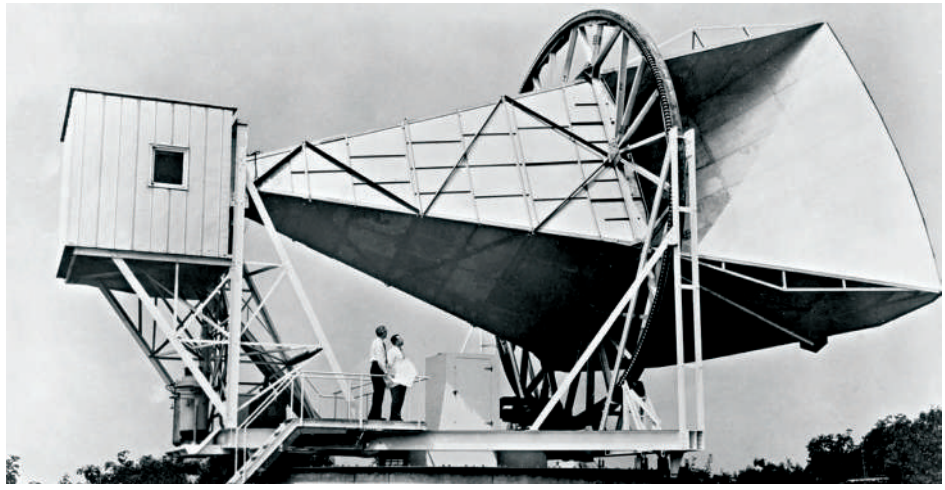
التحليل والاستنتاج

5. **صف** شكل الرسم البياني، وكيف تستخدمه لتوقع طولين جديدين؟



الشكل 3–1 يُجري هؤلاء الطلاب تجربة لتحديد قدرة كل منهم عند صعود الدرج. ويستخدم كل طالب نتائجه لتوقع الزمن اللازم لرفع ثقل مختلف باستخدام القدرة نفسها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443



■ **الشكل 4–1** في منتصف الستينيات من القرن الماضي حاول بعض العلماء — من دون جدوى — إزالة التشويش المستمر في الهوائي لاستخدامه في علم الفلك. واليوم أصبح من المعروف أن التشويش المستمر (مثل الصوت الذي يصدره التلفاز عند انقطاع البث) ناتج عن موجات معينة تصدر من الفضاء الخارجي. ولقد عُدّ ذلك دعمًا تجريبيًّا لنظرية الانفجار العظيم.

النماذج والقوانين والنظريات تستطيع الفكرة أو المعادلة أو التركيب أو النظام نمذجة الظاهرة التي تحاول تفسيرها. **فالنماذج العلمية** تعتمد على التجريب، ودروس الكيمياء تعيد إلى الأذهان النماذج المختلفة للذرة التي استخدمت عبر الزمن، حيث تعاقب ظهور نماذج ذرية جديدة بهدف تفسير المشاهدات والقياسات الحديثة.

وإذا لم تؤكد البيانات الجديدة صحة النموذج وجب إعادة اختبار كليهما. ويُظهر **الشكل 4–1** مثالًا تاريخيًّا على ذلك. وإذا أثيرت تساؤلات حول نموذج علمي معتمد، يقوم الفيزيائيون أولًا بتفحص هذه التساؤلات بعناية للتأكد من صحتها: هل يستطيع أي شخص الحصول على النتائج نفسها عند البحث؟ هل هناك متغيرات أخرى؟ وإذا تولدت معلومات جديدة عن تجارب لاحقة فيجب تغيير النظريات لتعكس المكتشفات الجديدة. فعلى سبيل المثال، كان الاعتقاد السائد في القرن التاسع عشر أن العلامات الخطية التي يمكن رؤيتها على كوكب المريخ عبارة عن قنوات، كما هو موضح في **الشكل a 5–1**. وبعد تطور المناظير الفلكية (التلسكوبات) أثبت العلماء أنه لا يوجد مثل هذه العلامات، كما هو واضح في **الشكل b 5–1**.

وفي الوقت الحالي، باستخدام أجهزة أفضل، وجد العلماء دلائل تشير إلى أن الماء كان موجودًا على سطح المريخ في الماضي، كما هو موضح في **الشكل c 5–1**. إن أي اكتشاف جديد يعني ظهور تساؤلات جديدة ومجالات جديدة للاستكشاف.

■ **الشكل 5–1** يُظهر رسم للمشاهدات المأخوذة من المناظير الفلكية القديمة قنوات على سطح كوكب المريخ (**a**). ولا تظهر هذه القنوات في الصور الحديثة المأخوذة من مناظير فلكية متطورة (**b**). وتظهر صخور رسوبية طبقية في صورة أحدث لسطح المريخ، مما يشير إلى أن هذه الطبقات قد تكوّنت في مياه راكدة (**c**).

القانون العلمي قاعدة طبيعية تجمع مشـــاهدات مترابطة لوصف ظاهرة طبيعية متكررة، ويعـــبر عنها بعبارة تصف العلاقة بين متغيرين أو أكثـــر، ويمكن التعبير عن هذه العلاقة في معظم الحالات بمعادلة رياضية. فعلى ســـبيل المثال ينص قانون حفظ الشـــحنة على أنه خلال التحولات المختلفة للمادة تبقى الشحنة الكهربائية ثابتة قبل التحول وبعده. وينص قانون الانعكاس على أن زاوية سقوط الشعاع الضوئي على السطح العاكس تساوي زاوية انعكاسه عن السطح نفسه. لاحظ أن القانون لا يفسر سبب حدوث هذه الظواهر ولكنه يقدم وصفًا لها.

النظرية العلمية إطار يجمع بين عناصر البنـــاء العلمي في موضوع من موضوعات العلم، وهو قادر على تفسير المشاهدات والملاحظات المدعومة بنتائج تجريبية لاتتعارض مع نظرية أخرى في موضوع آخر من موضوعات العلم. وهي بذلك تشتمل على عناصر البناء العلمي كافة، من فرضيات وحقائق ومفاهيم وقوانين ونماذج؛ فالنظرية قد تكون تفسيرًا للقوانين، وهي أفضل تفسير ممكن لمبدأ عمل الأشياء. فعلى سبيل المثال، تنص نظرية الجاذبية الكونية على أن جميع الكتل في الكون تنجذب إلى كتـــل أخرى ويجذب بعضها بعضًا. وقد تُراجَع القوانين والنظريات أو تُهمَل مع الزمن، كما هو واضح في **الشـــكل 6–1**. ويطلق اســـم نظرية فقط على التفسير الذي تدعمه بقوة نتائج التجارب العملية.

الشكل 6–1 تتغير النظريات وتُعدل عندما تُوفر التجارب الجديدة ملاحظات جديدة. فنظرية سقوط الأجسام مثلا خضعت للكثير من التعديل والمراجعة.

اعتقد الفلاسفة الإغريق أن الأجسام تسقط لأنها تبحث عن أماكنها الطبيعية، وكلما كانت كتلة الأجسام أكبر كان سقوطها أسرع.

↓

مراجعة

وضح جاليليو أن سرعة سقوط الأجسام تعتمد على زمن سقوطها لا على كتلتها.

↓

مراجعة

رأيُ جاليليو كان صحيحًا، إلا أن نيوتن أرجع سبب سقوط الأجسام إلى وجود قوة تجاذب بين الأرض وبين هذه الأجسام.

↓

مراجعة

ما زالت مقترحات جاليليو ونيوتن في سقوط الأجسام تحتفظ بصحتها، وافترض أينشتاين فيما بعد أن قوة التجاذب بين جسمين إنما هي بسبب الكتلة التي تؤدي إلى تحدب الفضاء (الزمكان) حولها.

1–1 مراجعة

5. **رياضيات** لماذا توصف المفاهيم في الفيزياء بواسطة المعادلات الرياضية؟

6. **مغناطيسية** تحسب القوة المؤثرة في شحنة تتحرك في مجال مغناطيسي بالعلاقة $F = Bqv$

حيث:

F القوة المؤثرة بوحدة $kg.m/s^2$

q الشحنة بوحدة A.s

v السرعة بوحدة m/s

B كثافة الفيض المغناطيسي بوحدة T (tesla).

ما وحدة T مُعبرًا عنها بالوحدات أعلاه؟

7. **مغناطيسية** أعد كتابة المعادلة: $F = Bqv$ للحصول على v بدلالة كل من F و q و B.

8. **التفكير الناقد** القيمة المقبولة لتسارع الجاذبية الأرضية هي $9.80\ m/s^2$. وفي تجربة لقياسها باستخدام البندول حصلت على قيمة $9.4\ m/s^2$. هل تقبل هذه القيمة؟ فسّر إجابتك.

1–2 القياس Measurement

الأهداف

- **تتعرف** النظام الدولي للوحدات.
- **تستخدم** تحليل الوحدات للتحويل من وحدة إلى أخرى.
- **تقوّم** الإجابات باستخدام تحليل الوحدات.
- **تميّز** بين الدقة والضبط.
- **تحدّد** دقة الكميات المقيسة.

المفردات

القياس
تحليل الوحدات
دقة القياس
الضبط

عندما تزور الطبيب لإجراء الفحوصات الطبية فإنه يقوم بإجراء عدة قياسات، طولك وكتلتك وضغط دمك ومعدل دقات قلبك، وحتى نظرك يقاس ويعبّر عنه بأرقام، كما يتم أخذ عينة من الدم لإجراء بعض القياسات، ومنها مستوى الحديد أو الكولسترول في الدم. فالقياسات تحوّل مشاهداتنا إلى مقادير كمية يمكن التعبير عنها بالأرقام ؛ فلا يقال إن ضغط الدم –عند شخص– جيدٌ إلى حد ما، بل يقال إن ضغط دمه $\frac{110}{60}$ مثلًا، وهو الحد الأدنى المقبول لضغط الدم في الإنسان. انظر **الشكل 7–1**.

القياس هو مقارنة كمية مجهولة بأخرى معيارية. فعلى سبيل المثال، إذا قِستَ كتلة عربة ذات عجلات فإن الكمية المجهولة هي كتلة العربة، والكمية المعيارية هي kilogram (kg)، علمًا بأن الكتلة تقاس باستخدام الميزان ذي الكفتين وميزان القصور. وفي تجربة قياس التغير الواردة في البند السابق، يمثل طول النابض الكمية المجهولة و meter (m) الكمية المعيارية.

النظام الدولي للوحدات SI Units

لتعميم النتائج بشكل مفهوم لدى الناس جميعًا من المفيد استخدام وحدات قياس متفق عليها. ويعدّ النظام الدولي للوحدات النظامَ الأوسع انتشارًا في جميع أنحاء العالم. ويتضمن النظام الدولي للوحدات (SI) سبع كميات أساسية موضحة في **الجدول 1–1**. وقد حددت وحدات هذه الكميات باستخدام القياس المباشر، معتمدة على وحدات معيارية لكل من الطول والكتلة، محفوظة بدائرة الأوزان والمقاييس بمدينة ليون بفرنسا، كما هو موضح في **الشكل 8–1**. أما الوحدات الأخرى التي تسمى الوحدات المشتقة فيمكن اشتقاقها من وحدات الكميات الأساسية بطرائق مختلفة. فمثلًا تقاس الطاقة باستخدام وحدة (J) Joule حيث $1\ J = 1\ kg.m^2/s^2$، وتقاس الشحنة الكهربائية بوحدة Coulombs (C)، حيث $1\ C = 1\ A.s$.

الشكل 7–1 يستخدم هذا الشخص جهاز قياس ضغط إلكترونيًا لقياس ضغط دمه.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

جدول 1–1		
الكميات الأساسية ووحدات قياسها في النظام الدولي		
الكمية الأساسية	الوحدة الأساسية	الرمز
الطول length	meter	m
الكتلة mass	kilogram	kg
الزمن time	second	s
درجة الحرارة temperature	Kelvin	K
كمية المادة amount of substance	mole	mol
التيار الكهربائي electric current	ampere	A
شدة الإضاءة luminous intensity	candela	cd

لابد أنك تعلمت خلال دراسة الرياضيات أن تحويل المتر إلى كيلومتر أسهل من تحويل القدم إلى ميل. إن سهولة التحويل بين الوحدات ميزة أخرى من ميزات النظام الدولي. وللتحويل بين وحدات النظام الدولي نضرب أو نقسم على الرقم عشرة مرفوعًا إلى قوة ملائمة. وهناك مجموعة بادئات (أجزاء ومضاعفات) تُستَخدم في تحويل وحدات النظام الدولي باستخدام قوة مناسبة للرقم 10، كما هو موضح في **الجدول 2–1**، والتي قد تصادف العديد منها في حياتك اليومية، مثل nanoseconds، milligrams gigabytes ... إلخ.

الشكل 8–1 الوحدتان المعياريتان للكيلوجرام والمتر موضحتان في الصورة. ويعرّف المتر المعياري بأنه المسافة بين إشارتين على قضيب من البلاتينيوم والأريديوم، ولما كانت طُرق قياس الزمن أدق من طُرق قياس الطول فإن المتر يعرّف بأنه المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ في $\frac{1}{299792458}$ ثانية.

جدول 2–1				
البادئات المستخدمة مع وحدات النظام الدولي				
البادئة	الرمز	المضروب فيه	القوة	مثال
femto -	f	0.000000000000001	10^{-15}	femtosecond (fs)
pico -	p	0.000000000001	10^{-12}	picometer (pm)
nano -	n	0.000000001	10^{-9}	nanometer (nm)
micro -	μ	0.000001	10^{-6}	microgram (μg)
milli -	m	0.001	10^{-3}	milliamps (mA)
centi -	c	0.01	10^{-2}	centimeter (cm)
deci -	d	0.1	10^{-1}	deciliter (dl)
kilo -	k	1000	10^{3}	kilometer (km)
mega -	M	1000,000	10^{6}	megagram (Mg)
giga -	G	1000,000,000	10^{9}	gigameter (Gm)
tera -	T	1000,000,000,000	10^{12}	terahertz (THz)

تحليل الوحدات Dimensional Analysis

تستطيع استخدام الوحدات للتحقق من صحة إجابتك؛ فأنت تستخدم عادة معادلة أو مجموعة من المعادلات لحل مسألة فيزيائية. وللتحقق من حلها بشكل صحيح اكتب المعادلة أو مجموعة المعادلات التي ستستخدمها في الحل. وقبل إجراء الحسابات تحقق من أن وحدات إجابتك صحيحة، كما هو واضح في الخطوة رقم **3** في المثال **1**. على سبيل المثال إذا وجدت عند حساب السرعة أن الإجابة بوحدة s/m أو m/s^2، فاعرف أن هناك خطأ في حل المسألة. وهذه الطريقة في التعامل مع الوحدات -باعتبارها كميات جبرية- تسمى **تحليل الوحدات**.

يستخدم تحليل الوحدات في إيجاد مُعامِل التحويل، ومعامل التحويل هو معامل ضرب يساوي واحدًا صحيحًا (1). على سبيل المثال $1\ kg = 1000\ g$، ومن هنا تستطيع بناء معامل التحويل الآتي:

$$1 = \frac{1\ kg}{1000\ g}$$

أو

$$1 = \frac{1000\ g}{1\ kg}$$

نختار معامل تحويل يجعل الوحدات يُشطب بعضها مقابل بعض؛ بحيث نحصل على الإجابة بالوحدة الصحيحة، فمثلاً لتحويل 1.34 kg من الحديد إلى grams (g) فإننا نقوم بما يأتي:

$$1.34\ \cancel{kg}\left(\frac{1000\ g}{1\ \cancel{kg}}\right) = 1340\ g$$

وقد تحتاج أيضًا إلى عمل سلسلة من التحويلات. فلتحويل 43 km/h إلى m/s مثلًا نقوم بما يأتي:

$$\left(\frac{43\ \cancel{km}}{1\ \cancel{h}}\right)\left(\frac{1000\ m}{1\ \cancel{km}}\right)\left(\frac{1\ \cancel{h}}{60\ \cancel{min}}\right)\left(\frac{1\ \cancel{min}}{60\ s}\right) = 12\ m/s$$

مسائل تدريبية

استخدم تحليل الوحدات للتحقق من المعادلة قبل إجراء عملية الضرب.

9. كم MHz في 750 kHz؟

10. عبِّر عن 5201 cm بوحدة km.

11. كم ثانية في السنة الميلادية الكبيسة (السنة الكبيسة 366 يومًا)؟

12. حوّل السرعة 5.30 m/s إلى km/h.

الدقة والضبط Precision Versus Accuracy

تمثل كل من الدقة والضبط خاصية من خصائص القيم المقيسة. ففي تجربة قياس التغير الواردة في القسم السابق قام ثلاثة طلاب بإجراء التجربة أكثر من مرة، مستخدمين نوابض متشابهة، ولها الطول نفسه؛ حيث علّق كل منهم حلقتين معدنيتين، وكرّر التجربة مسجلًا عدة قياسات.

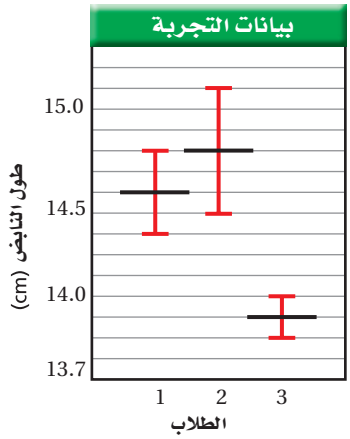
عندما أجرى الطالب الأول التجربة تراوحت قياسات طول النابض بين 14.4 cm و14.8 cm ، وكان متوسط قياساته 14.6 cm (انظر **الشكل 9–1**).

كرّر الطالبان الثاني والثالث الخطوات نفسها، وكانت النتائج كما يأتي:

- قياسات الطالب الأول: (14.6 ± 0.2) cm.
- قياسات الطالب الثاني: (14.8 ± 0.3) cm.
- قياسات الطالب الثالث: (14.0 ± 0.1) cm.

ما مقدار كل من دقة وضبط القياسات في التجربة السابقة؟ تسمى درجة الإتقان في القياس **دقة القياس**، وتُعبّر عن مدى تقارب نتائج القياس بغض النظر عن صحتها. إن قياسات الطالب الثالث هي الأكثر دقة، وبهامش خطأ مقداره 0.1 cm ±، بينما كانت قياسات الطالبين الآخرين أقل دقة، وبهامش خطأ أكبر.

تعتمد الدقة على كل من الأداة والطريقة المستخدمة في القياس. وعمومًا كلما كانت الأداة ذات تدريج بقيم أصغر كانت القياسات أكثر دقة، ودقة القياس تساوي نصف قيمة أصغر تدريج في الأداة. فعلى سبيل المثال، للمسطرة في **الشكل 10a–1** تدريجات كل منها يساوي 0.1cm. وتستطيع من خلال هذه الأداة أن تقيس بدقة تصل إلى 0.05 cm، أما المسطرة المبيّنة في **الشكل 10b–1** فإن أصغر تدريج هو 0.5 cm. ما دقة القياس لهذه المسطرة؟ وما دقة قياساتك عندما أجريت تجربة النابض مع الحلقات المختلفة؟



الشكل 9–1 إذا نفذ ثلاثة طلاب التجربة نفسها فهل تتطابق القياسات؟ هل تتكرر نتيجة الطالب الأول؟

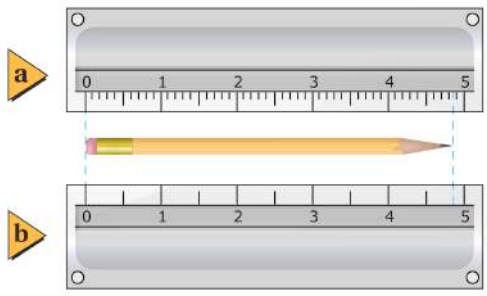
الربط مع رؤية 2030

مجتمع حيوي

١.١.٢ تعزيز قيم الإتقان والانضباط

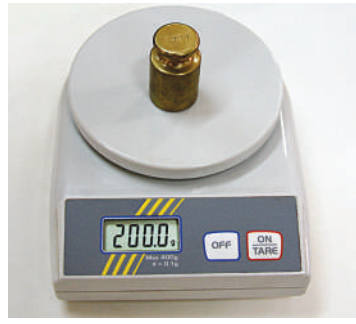
دليل الرياضيات

القياسات والأرقام المعنوية 217–213



الشكل 10–1 طول قلم الرصاص (4.85 ± 0.05) cm **(a)**، في حين طول قلم الرصاص (4.8 ± 0.25) cm **(b)**.

يصف **الضبط** اتفاق نتائج القياس مع القيمة المقبولة في القياس؛ وهي القيمة المعتمدة التي قاسها خبراء مؤهلون. والطريقة الشائعة لاختبار الضبط في الجهاز تسمى معايرة النقطتين، وتتم أولًا بمعايرة صفر الجهاز، ثم بمعايرة الجهاز، بحيث يعطي قيمة مضبوطة وصحيحة عندما يقيس كمية ذات قيمة معتمدة. انظر **الشكل 11–1**. ومن الضروري إجراء الضبط الدوري للأجهزة في المختبر، ومنها الموازين والجلفانومترات.



الشكل 11–1 يُختبر الضبط عن طريق قياس قيمة معلومة.

تقنيات القياس الجيد Techniques of Good Measurement

ولضمان الوصول إلى مستوى الضبط المطلوب والدقة التي يسمح بها الجهاز، يجب أن تستخدم الأجهزة بطريقة صحيحة، وأن تتم القياسات بحذر وانتباه لتجنب أسباب الخطأ في القياس. ومن أكثر الأخطاء الشخصية شيوعًا ما ينتج عن الزاوية التي تؤخذ القراءة من خلالها؛ حيث يجب أن تقرأ التدريجات بالنظر عموديًّا وبعين واحدة، كما هو موضح في **الشكل 12a–1**. أما إذا قُرئ التدريج بشكل مائل، كما هو موضح في **الشكل 12b–1**، فإننا نحصل على قيمة مختلفة وغير مضبوطة، وينتج هذا عمّا يسمى "اختلاف زاوية النظر Parallax"، وهو التغير الظاهري في موقع الجسم عند النظر إليه من زوايا مختلفة. ولكي تلاحظ أثر اختلاف زاوية النظر في القياس قم بقياس طول قلم الحبر بالنظر إليه بشكل عمودي على التدريج، ثم اقرأ التدريج بعد أن تحرف رأسك إلى جهة اليمين أو جهة اليسار.

تجربة عملية

ما العلاقة بين الكتلة والحجم؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين

الشكل 12–1 عند النظر إلى التدريج بشكل عمودي كما في (a) تكون قراءتك أضبط مما لو نظرت بشكل مائل كما في (b).

تطبيق الفيزياء

قياس المسافة بين الأرض والقمر

تمكن العلماء من قياس المسافة بين القمر والأرض بدقة عن طريق إرسال أشعة ليزر في اتجاه القمر من خلال مناظير فلكية. تنعكس حزمة أشعة الليزر عن سطح عاكس وُضع على سطح القمر وترتد عائدة إلى الأرض، مما مكّن العلماء من قياس متوسط المسافة بين مركزي القمر والأرض، وهي 385000 km، بضبط يزيد على جزء من عشرة مليارات. وباستخدام تقنية الليزر هذه اكتشف العلماء أن القمر يبتعد عن الأرض سنويًّا بمعدل 3.8 cm/yr تقريبًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

مسألة تحفيز

يعبَّر عن الطاقة الكهربائية المستهلكة في المنازل بوحدة كيلوواط.ساعة (kWh). فإذا كانت قراءة عداد الكهرباء في منزل 300 kWh خلال شهر فعبّر عن كمية الطاقة المستهلكة بوحدة:

1. الجول (J)، إذا علمت أن $1\ \text{kWh} = 3.60\ \text{MJ}$.
2. الإلكترون فولت (eV)، إذا علمت أن $1\ \text{eV} = 1.60 \times 10^{-19}\ \text{J}$.

2–1 مراجعة

13. **مغناطيسية** بروتون شحنته $1.6 \times 10^{-19}\ \text{A.s}$ يتحرك بسرعة $2.4 \times 10^{5}\ \text{m/s}$ عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته $4.5\ \text{T}$. لحساب القوة المغناطيسية المؤثرة في البروتون:
    a. عوّض بالقيم في المعادلة $\boldsymbol{F} = \text{B}q\boldsymbol{v}$، وتحقق من صحة المعادلة بتعويض الوحدات في طرفيها.
    b. احسب مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في البروتون.
14. **الضبط** بعض المساطر الخشبية لا يبدأ صفرها عند الحافة، وإنما بعد عدة ملمترات منها. كيف يؤثر هذا في ضبط المسطرة؟
15. **الأدوات** لديك ميكروميتر (جهاز يستخدم لقياس طول الأجسام أو قطرها إلى أقرب $0.01\ \text{mm}$) مُنْحَنٍ بشكل سيئ. كيف تقارنه بمسطرة مترية ذات نوعية جيدة، من حيث الدقة والضبط؟
16. **اختلاف زاوية النظر** هل يؤثر اختلاف زاوية النظر في دقة القياسات التي تجريها؟ وضح ذلك.
17. **الأخطاء** أخبرك صديقك أن طوله 182 cm، وضح مدى دقة هذا القياس.
18. **الدقة** صندوق طوله 19.2 cm، وعرضه 18.1cm، وارتفاعه 20.3 cm.
    a. ما حجم الصندوق؟
    b. ما دقة قياس الطول؟ وما دقة قياس الحجم؟
    c. ما ارتفاع مجموعة من 12 صندوقًا من النوع نفسه؟
    d. ما دقة قياس ارتفاع الصندوق مقارنة بدقة قياس ارتفاع 12 صندوقًا؟
19. **التفكير الناقد** كتب زميلك في تقريره أن متوسط الزمن اللازم ليدور جسم دورة كاملة في مسار دائري هو 65.414 s. وقد سجلت هذه القراءة عن طريق قياس زمن 7 دورات باستخدام ساعة دقتها 0.1 s. ما مدى ثقتك في النتيجة المدوّنة في التقرير؟ وضح إجابتك.

مختبر الفيزياء • الإنترنت

استكشاف حركة الأجسام

الفيزياء علم يعتمد على المشاهدات التجريبية. والعديد من المبادئ التي تستخدم لوصف الأنظمة الميكانيكية وفهمها –ومنها الحركة الخطية للأجسام– يمكن تطبيقها لوصف ظواهر طبيعية أخرى أكثر تعقيدًا. كيف تستطيع قياس سرعة المركبات في شريط فيديو؟

سؤال التجربة

ما أنواع القياسات التي يمكن إجراؤها لإيجاد سرعة مركبة؟

الأهداف

- **تفحص** حركة مجموعة من المركبات في أثناء عرض شريط فيديو.
- **تصف** حركة المركبات.
- **تجمع وتنظم** البيانات المتعلقة بحركة مركبة.
- **تحسب** سرعة مركبة.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

الاتصال بالإنترنت

ساعة إيقاف

الخطوات

1. لاحظ أن لقطات الفيديو أخذت في وقت الظهيرة. وأنه يوجد على امتداد الجانب الأيمن من الطريق مستطيلات طويلة من طلاء أبيض تستخدم لملاحظة حركة المرور من الجو، وأن هذه العلامات تتكرر بانتظام كل 0.322 km .
2. **لاحظ** ما أنواع البيانات التي يمكن جمعها؟ نَظّم جدولاً كالموضح في الصفحة المقابلة، وسجل ملاحظاتك عن محيط التجربة والمركبات الأخرى والعلامات. ما لون المركبة التي تركز عليها الكاميرا؟ ما لون مركبة النقل الصغيرة في الجانب الأيسر من الطريق؟
3. **قِس وقدِّر** أعد مشاهدة الفيديو مرة ثانية ولاحظ تفاصيل أخرى. هل الطريق مستوٍ؟ في أي اتجاه تتحرك المركبات؟ ما الزمن اللازم لتقطع كل مركبة المسافة بين إشارتين؟ سجل ملاحظاتك وبياناتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

جدول البيانات			
عدد الإشارات البيضاء	المسافة (km)	زمن المركبة البيضاء (s)	زمن مركبة النقل الصغيرة الرمادية (s)

التحليل

1. لخص ملاحظاتك النوعية.
2. لخص ملاحظاتك الكمية.
3. **مثّل بيانات** الخطوتين السابقتين على محورين متعامدين (المسافة مع الزمن).
4. **قدِّر** سرعة المركبات بوحدة km /s و km /h.
5. **توقع** المسافة التي ستقطعها كل مركبة في خمس دقائق.

الاستنتاج والتطبيق

1. **احسب** الدقة في قياس المسافة والزمن.
2. **احسب** الدقة في قياس السرعة، وعلام تعتمد؟
3. **استخدام المتغيرات والثوابت** صف المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة في هذه التجربة.
4. **قارن** أيّ الرسوم البيانية التي حصلت عليها للمركبات ذات ميل أقل؟ وماذا يساوي هذا الميل؟
5. **استنتج** ما الذي يعنيه حصولك على خط أفقي (موازٍ لمحور الزمن) عند رسم علاقة المسافة مع الزمن؟

التوسع في البحث

السرعة هي المسافة المقطوعة مقسومة على الزمن الذي قطعت فيه. وضح كيف تستطيع قياس السرعة في غرفة الصف باستخدام سيارة صغيرة تعمل بالتحكم عن بُعد؟ ما العلامات التي ستستخدمها؟ كيف تستطيع قياس المسافة والزمن بدقة؟ هل تؤثر الزاوية التي يؤخذ منها قياس اجتياز السيارة للإشارة في النتائج؟ وما مدى تأثيرها؟ كيف تحسن قياساتك؟ ما الوحدات المنطقية للسرعة في هذه التجربة؟ إلى أي مدى تستطيع توقع موقع السيارة؟ نفذ التجربة إذا أمكن، ولخص نتائجك.

الفيزياء في الحياة

عندما يشاهد عدادَ السرعة كلٌّ من راكب يجلس في المقدمة وسائق الحافلة وراكب يجلس في الخلف فإنهم سيقرؤون: 90 km/h و 100 km/h و 110 km/h على الترتيب. فسّر هذا الاختلاف.

التواصل

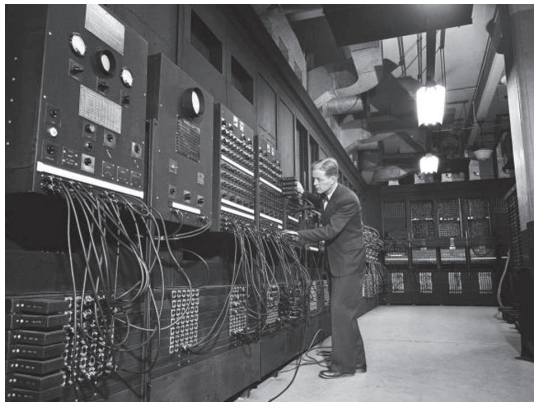
صمم تجربة:

لإرسال تجربتك في قياس السرعة داخل غرفة الصف استخدم سيارة التحكم عن بُعد، ثم سجل أسماء المواد والأدوات المستخدمة، وطريقة عمل التجربة، وملاحظاتك، واستنتاجاتك بشأن ضبط التجربة ودقة القياسات. إذا نفَّذْت التجربة فعليًا فابعث نتائجك وقراءاتك.

تاريخ تطور الحاسوب Computer History and Growth

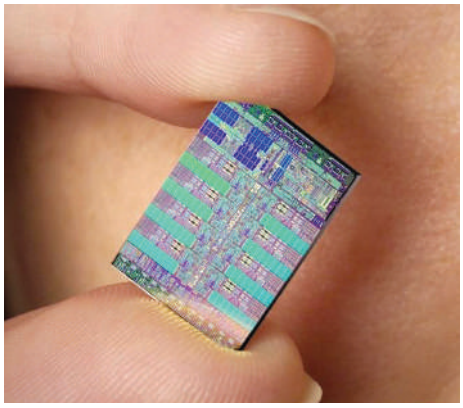
عندما تستخدم برامج الحاسوب أو تبعث برسائل إلكترونية فإن ذلك يتطلب من الحاسوب حل مئات المعادلات الرياضية بسرعة هائلة، بحيث لا تستغرق إلا أجزاء من المليار من الثانية.

الجيل الأول من الحواسيب كان بمقدرة الحواسيب الأولى حل المعادلات المعقدة، لكنها كانت تستغرق وقتًا طويلاً؛ حيث كان علماء الحاسوب آنذاك يواجهون تحديات حقيقية في تحويل الصور إلى صيغ يستطيع الحاسوب معالجتها، إضافة إلى الأحجام الضخمة للحواسيب والتكلفة المادية المرتفعة لذاكرتها.



كما أن أحجام الحواسيب كانت ضخمة جدًّا؛ فهي تحوي الكثير من الأسلاك والترانزستورات، كما هو موضح في الصورة أعلاه. وكانت سرعة مرور التيار الكهربائي خلال هذه الأسلاك لا يتجاوز $\frac{2}{3}$ سرعة الضوء. وبسبب طول الأسلاك المستخدمة فإنه يلزم التيار الكهربائي فترة زمنية طويلة ليمر خلالها.

الذاكرة كانت صناعة ذاكرة الجيل الأول من الحواسيب مكلفة جدًّا، وكما تعلم فإن زيادة سعة الذاكرة يجعل الحاسوب يعمل أسرع؛ فصناعة ذاكرة بسعة 1 byte كان يتطلب 8 دوائر كهربائية، وهذا يعني أنه لصناعة ذاكرة بسعة 1024 bytes (1 kb)- وهي سعة ضئيلة في وقتنا الحاضر- يحتاج إلى 8192 دائرة كهربائية.



ومن الطريف أن تعلم أن سعة ذاكرة الحاسوب الذي كان على متن سفينة أبوللو الفضائية التي هبطت على سطح القمر لم تكن تتجاوز 64 kb.

في عام 1960م قام مجموعة من العلماء باختراع الدوائر المتكاملة التي ساهمت في تقليل حجم الدوائر الحاسوبية وتكلفتها كثيرًا، وصِغر حجم الحاسوب مع زيادة سعته. واليوم تصنع ترانزستورات الرقاقات الإلكترونية بأحجام صغيرة جدًّا، كما تقلص حجم الحاسوب، وقل سعره، حتى إن الهاتف المحمول يحتوي على تقنيات حاسوبية أكبر كثيرًا من الكمبيوترات المركزية العملاقة التي كانت تستخدم في سبعينيات القرن الماضي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 1

دليل مراجعة الفصل

1–1 الرياضيات والفيزياء Mathematics and Physics

المفردات

- الفيزياء
- الطريقة العلمية
- الفرضيات
- النماذج العلمية
- القانون العلمي
- النظرية العلمية

المفاهيم الرئيسة

- الفيزياء علم دراسة المادة والطاقة والعلاقة بينهما.
- الطريقة العلمية عملية منظمة للمشاهدة والتجريب والتحليل للإجابة عن الأسئلة حول العالم الطبيعي.
- الفرضية تخمين علمي عن كيفية ارتباط المتغيرات بعضها مع بعض.
- تسهّل النماذج العلمية دراسة وتفسير الظواهر الطبيعية والعلمية.
- القانون العلمي قاعدة طبيعية تجمع مشاهدات مترابطة لوصف ظاهرة طبيعية متكررة.
- النظرية العلمية إطار يجمع بين عناصر البناء العلمي في موضوع من موضوعات العلم، وهي قادرة على تفسير المشاهدات والملاحظات المدعومة بنتائج تجريبية.

1–2 القياس Measurement

المفردات

- تحليل الوحدات
- القياس
- الدقة
- الضبط

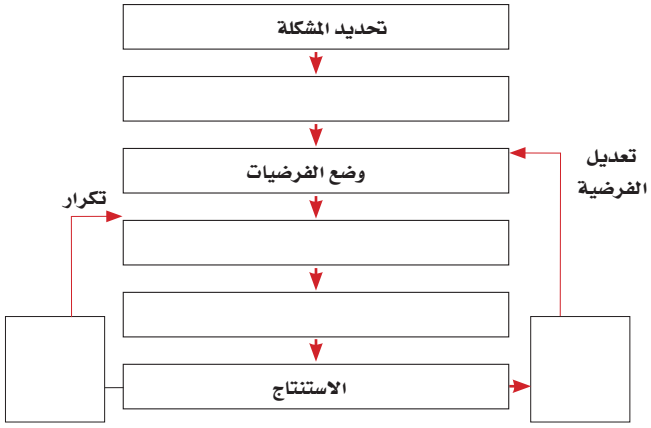
المفاهيم الرئيسة

- يستخدم طريقة أو أسلوب تحليل الوحدات للتحقق من أن وحدات الإجابة صحيحة.
- القياس مقارنة كمية مجهولة بأخرى معيارية.
- الدقة هي درجة الإتقان في القياس، وتُعبّر عن مدى تقارب نتائج القياس بغض النظر عن صحتها.
- يصف الضبط كيف تتفق نتائج القياس مع القيمة المقبولة في القياس معبرا عن صحتها.

الفصل 1
التقويم

خريطة المفاهيم

20. أكمل خريطة المفاهيم أدناه بما يناسبها من خطوات الطريقة العلمية.



إتقان المفاهيم

21. ما المقصود بالطريقة العلمية؟(1-1)

22. ما أهمية الرياضيات في علم الفيزياء؟ (1-1)

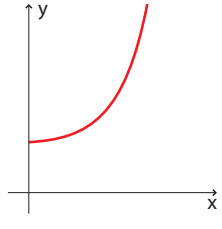
23. ما النظام الدولي للوحدات؟ (1-2)

24. ماذا تُسمى قيم المتر الآتية؟ (1-2)

a. $\frac{1}{100}$ m **b.** $\frac{1}{1000}$ m **c.** 1000 m

25. في تجربة عملية، قيس حجم الغاز داخل بالون وحددت علاقته بتغير درجة الحرارة. ما المتغير المستقل، والمتغير التابع فيها؟ (دليل الرياضيات 224)

26. ما نوع العلاقة الموضحة في الشكل الآتي؟ (دليل الرياضيات 229–225)



الشكل 1–13

27. لديك العلاقة الآتية $F = \frac{mv^2}{r}$. ما نوع العلاقة بين كل مما يأتي؟ (دليل الرياضيات 229–225)

a. F و r

b. F و m

c. F و v

تطبيق المفاهيم

28. ما الفرق بين النظرية العلمية والقانون العلمي؟ وما الفرق بين الفرضية والنظرية العلمية؟ أعط أمثلة مناسبة.

29. **الكثافة** تُعرف الكثافة بأنها كتلة وحدة الحجوم وتساوي الكتلة مقسومة على الحجم.

a. ما وحدة الكثافة في النظام الدولي؟

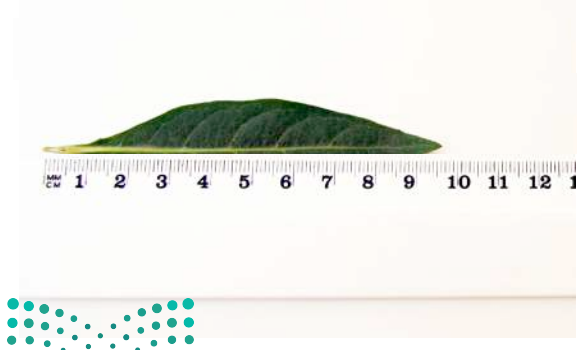
b. هل وحدة الكثافة أساسية أم مشتقة؟

30. قام طالبان بقياس سرعة الضوء؛ فحصل الأول على $(3.001 \pm 0.001) \times 10^8$ m/s، وحصل الثاني على $(2.999 \pm 0.006) \times 10^8$ m/s.

a. أيهما أكثر دقة؟

b. أيهما أكثر ضبطًا؟ علمًا بأن القيمة المعيارية لسرعة الضوء هي: 2.99792458×10^8 m/s

31. ما طول ورقة الشجر المبينة في **الشكل 1-14**؟ ضمِّن إجابتك خطأ القياس.



الشكل 1–14

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تقويم الفصل 1

إتقان حل المسائل

1–1 الرياضيات والفيزياء

32. يُعبَّر عن مقدار قوة جذب الأرض للجسم بالعلاقة $F = mg$ ؛ حيث تمثل m كتلة الجسم و g التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية ($g = 9.80\ m/s^2$).

a. أوجد القوة المؤثرة في جسم كتلته 41.63 kg.

b. إذا كانت القوة المؤثرة في جسم هي $632\ kg.m/s^2$، فما كتلة هذا الجسم؟

33. يقاس الضغط بوحدة الباسكال Pa حيث $1\ Pa = 1\ kg/m.s^2$، فهل يمثل التعبير الآتي قياسًا للضغط بوحدات صحيحة؟

$$\frac{(0.55\ kg)(2.1\ m/s)}{9.80\ m/s^2}$$

2–1 القياس

34. حوّل كلًّا مما يأتي إلى متر:

a. 42.3 cm

b. 6.2 pm

c. 21 km

d. 0.023 mm

e. 214 µm

f. 57 nm

35. وعاء ماء فارغ كتلته 3.64 kg، إذا أصبحت كتلته بعد ملئه بالماء 51.8 kg فما كتلة الماء فيه؟

36. ما دقة القياس التي تستطيع الحصول عليها من الميزان الموضح في الشكل 1–15؟

■ الشكل 1–15

37. اقرأ القياس الموضح في الشكل 1–16، وضمِّن خطأ القياس في الإجابة.

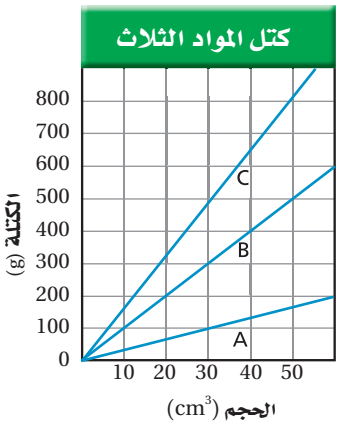
■ الشكل 1–16

38. يمثل الشكل 1–16 العلاقة بين كتل ثلاث مواد وحجومها التي تتراوح بين $0–60\ cm^3$.

a. ما كتلة $30\ cm^3$ من كل مادة؟

b. إذا كان لديك 100 g من كل مادة فما حجم كل منها؟

c. ماذا يمثل ميل الخطوط المبينة في الرسم؟ وضح ذلك بجملة أو جملتين.



■ الشكل 1–17

39. في تجربة أجريت داخل مختبر المدرسة، قام معلم الفيزياء بوضع كتلة على سطح طاولة مهملة الاحتكاك تقريبًا، ثم أثّر في هذه الكتلة بقوى أفقية متغيرة، وقاس المسافة التي تقطعها الكتلة في خمس

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تقويم الفصل 1

ثوانٍ تحت تأثير كل قوة منها، وحصل على الجدول الآتي: (دليل الرياضيات 229–224)

الجدول 3–1

المسافة المقطوعة تحت تأثير قوى مختلفة

القوة (N)	المسافة (cm)
5.0	24
10.0	49
15.0	75
20.0	99
25.0	120
30.0	145

a. مثّل بيانيًّا القيم المعطاة بالجدول، وارسم خط المواءمة الأفضل (الخط الذي يمر بأغلب النقاط).

b. صف الرسم البياني الناتج.

c. استخدم الرسم لكتابة معادلة تربط المسافة مع القوة.

d. ما الثابت في المعادلة؟ وما وحدته؟

e. توقع المسافة المقطوعة في 5 s عندما تؤثر في الجسم قوة مقدارها 22.0 N .

مراجعة عامة

40. تتكون قطرة الماء – في المتوسط – من 1.7×10^{21} جزيء. إذا كان الماء يتبخر بمعدل مليون جزيء في الثانية فاحسب الزمن اللازم لتبخر قطرة الماء تمامًا.

التفكير الناقد

41. احسب كتلة الماء بوحدة kilograms اللازمة لملء وعاء طوله 1.4 m، وعرضه 0.600 m، وعمقه 34.0 cm، علمًا بأن كثافة الماء تساوي $1.00\ g/cm^3$.

42. **صمم تجربة** إلى أي ارتفاع تستطيع رمي كرة؟ ما المتغيرات التي من المحتمل أن تؤثر في إجابة هذا السؤال؟

الكتابة في الفيزياء

43. اكتب مقالة عن تاريخ الفيزياء توضح فيها كيفية تغيُّر الأفكار حول موضوع أو كشف علميٍّ ما مع مرور الزمن. تأكد من إدراج إسهامات العلماء، وتقويم أثرها في تطور الفكر العلمي، وفي واقع الحياة.

44. وضح كيف أن تحسين الدقة في قياس الزمن يؤدي إلى دقة أكثر في التوقعات المتعلقة بكيفية سقوط الجسم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. استخدم العالمان (A و B) تقنية التأريخ بالكربون المشع لتحديد عمر رمحين خشبيين اكتشفاهما في كهف. فوجد العالم A أن عمر الرمح الأول هو: 2250 ± 40 years، ووجد العالم B أن عمر الرمح الثاني هو 2215 ± 50 years. أي الخيارات الآتية صحيح؟

(A) قياس العالم A أكثر ضبطًا من قياس العالم B.

(B) قياس العالم A أقل ضبطًا من قياس العالم B.

(C) قياس العالم A أكثر دقة من قياس العالم B.

(D) قياس العالم A أقل دقة من قياس العالم B.

2. أي القيم أدناه تساوي 86.2 cm؟

(A) 8.62 m (C) 8.62×10^{-4} km

(B) 0.862 mm (D) 862 dm

3. إذا أعطيت المسافة بوحدة km والسرعة بوحدة m/s، فأي العمليات أدناه تعبر عن إيجاد الزمن بالثواني (s)؟

(A) ضرب المسافة في السرعة، ثم ضرب الناتج في 1000

(B) قسمة المسافة على السرعة، ثم ضرب الناتج في 1000

(C) قسمة المسافة على السرعة، ثم قسمة الناتج على 1000

(D) ضرب المسافة في السرعة، ثم قسمة الناتج على 1000

4. أي الصيغ الآتية تكافئ العلاقة $D = \frac{m}{V}$؟

(A) $V = \frac{m}{D}$ (C) $V = \frac{mD}{V}$

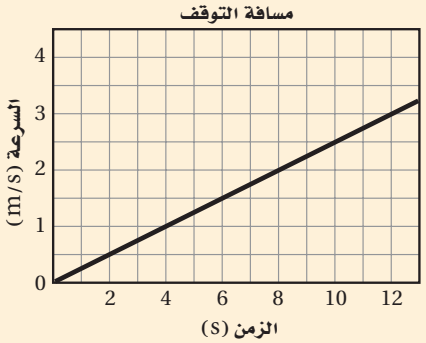
(B) $V = Dm$ (D) $V = \frac{D}{m}$

5. ميل الخط المستقيم المرسوم في الشكل أدناه يساوي:

(دليل الرياضيات 226)

(A) $0.25\ m/s^2$ (C) $2.5\ m/s^2$

(B) $0.4\ m/s^2$ (D) $4.0\ m/s^2$



الأسئلة الممتدة

6. إذا أردت حساب التسارع بوحدة m/s^2، فإذا كانت القوة مقيسة بوحدة N، والكتلة بوحدة g، حيث $1\ N = 1\ kg.m/s^2$:

a. فأعد كتابة المعادلة $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$ بحيث تعطي قيمة التسارع $\boldsymbol{a}$ بدلالة m و $\boldsymbol{F}$.

b. ما معامل التحويل اللازم لتحويل grams إلى kilograms؟

c. إذا أثرت قوة مقدارها 2.7 N في جسم كتلته 350 g، فما المعادلة التي تستخدمها في حساب التسارع؟ ضمّن الإجابة معامل التحويل.

✓ إرشاد

حاول أن تتخطّى

قد ترغب في تخطّي المسائل الصعبة وتعود اليها لاحقًا. إن إجابتك عن الأسئلة السهلة قد تساعدك على الإجابة عن الأسئلة التي تخطيتها.

الفصل
2

تمثيل الحركة
Representing Motion

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تمثيل الحركة باستخدام الكلمات والمخططات التوضيحية للحركة والرسوم البيانية.
- وصف الحركة المنتظمة للأجسام باستخدام المصطلحات (الموقع، المسافة، الإزاحة، الفترة الزمنية) بطريقة علمية.

الأهمية

لو لم يكن هناك طُرق لوصف الحركة وتحليلها فسيتحوّل السفر بالطائرة أو القطار أو الحافلة إلى فوضى؛ فالأزمنة والسرعات هي التي تحدد جدول مواعيد انطلاق ووصول وسائل النقل على اختلاف أنواعها.

سباق السيارات عندما تتجاوز سيارةٌ سيارةً أخرى تكون سرعة السيارة الأولى أكبر من سرعة السيارة الأخرى.

فكّر ◄

كيف يمكنك تمثيل حركتي سيارتين؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تجربة استهلالية

أي السيارتين أسرع؟

سؤال التجربة في سباق سيارتين لعبة، هل يمكنك أن تبين أيهما أسرع؟

الخطوات

1. أحضر سيارتين لعبة تعملان بانضغاط النابض، وضعهما على طاولة المختبر، أو على أي سطح آخر يقترحه المعلم.
2. حدد خطًّا لبداية السباق.
3. عبّئ نابضي السيارتين، ثم أطلقهما من خط البداية في اللحظة نفسها.
4. **لاحظ** حركة السيارتين عن قرب لتحدد أيهما أسرع.
5. كرّر الخطوات 3-1 واجمع نوعًا واحدًا من البيانات لدعم استنتاجك في تحديد السيارة الأسرع.

التحليل

ما البيانات التي جمعتها لتثبت أي السيارتين أسرع؟ وما البيانات الأخرى التي يمكن أن تجمعها لإثبات الفكرة السابقة؟

التفكير الناقد اكتب تعريفًا إجرائيًّا (عمليًّا) للسرعة المتوسطة.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2-1 تصوير الحركة Picturing Motion

تعرفت في الفصل السابق الطريقة العلمية التي تفيدك في دراسة الفيزياء. وسوف تبدأ في هذا الفصل استخدامها في تحليل الحركة، كما تقوم لاحقًا بتطبيقها على جميع أنماط الحركة باستخدام المخططات التوضيحية والرسوم البيانية والأنظمة الإحداثية، وكذلك المعادلات الرياضية. إن هذه المفاهيم تساعدك على تحديد سرعة الجسم، وإلى أي بُعد يتحرك، وما إذا كانت سرعة الجسم تتزايد أو تتناقص، وما إذا كان الجسم ساكنًا، أو متحركًا بسرعة منتظمة (ثابتة مقدارًا واتجاهًا). إن إدراك الحركة أمر غريزي؛ فعيناك تنتبهان غريزيًّا إلى الأجسام المتحركة أكثر من الانتباه إلى الأجسام الساكنة؛ فالحركة موجودة في كل مكان حولنا، بدءًا بالقطارات السريعة إلى النسمات الخفيفة والغيوم البطيئة.

الأهداف

- **تُمثِّل** حركة جسم بالمخطط التوضيحي للحركة.
- **ترسم** نموذج الجسيم النقطي لتمثيل حركة جسم.

المفردات

المخطط التوضيحي للحركة
نموذج الجسيم النقطي

أنواع الحركة Kinds of Motion

ما الذي يتبادر إلى ذهنك عندما تسمع كلمة حركة، أو سيارة مسرعة، أو ركوب الدراجة الهوائية، أو كرة القدم ترتفع فوق سياج المنزل، أو طفل يتأرجح إلى الأمام وإلى الخلف بشكل منتظم؟

عندما يتحرك جسم ما فإن موقعه يتغير، كما في **الشكل 1–2**، وقد يحدث هذا التغير وفق مسار في خط مستقيم، أو دائرة، أو منحنى، أو على شكل اهتزاز (تأرجح) إلى الأمام وإلى الخلف.

بعض أنواع الحركة التي ذكرت سابقًا تبدو أكثر تعقيدًا من بعضها الآخر. وعند البدء في دراسة مجال جديد يحسُن أن نبدأ بالأمور التي تبدو أسهل. لذا نبدأ هذا الفصل بدراسة الحركة في خط مستقيم.

ولوصف حركة أي جسم يجب معرفة متى شغل الجسم مكانًا ما؟ فوصف الحركة يرتبط مع المكان والزمان.

الشكل 1–2 يغير راكب الدراجة الهوائية موقعه في أثناء حركته. وفي هذه الصورة كانت آلة التصوير مركزة على الراكب، لذا نجد الخلفية غير واضحة، وهي تدل على أن موقع الراكب قد تغير.

المخططات التوضيحية للحركة Motion Diagrams

يمكن تمثيل حركة عدَّاء بالتقاط سلسلة من الصور المتتابعة التي تُظهر مواقع العدّاء في فترات زمنية متساوية. ويُظهر **الشكل 2–2** كيف تبدو الصور المتتابعة لعداء. لاحظ أن العداء يَظهر في موقع مختلف في كل صورة، بينما يبقى كل شيء في خلفية الصور في المكان نفسه. وهذا يدل (ضمن المنظور) على أن العداء هو المتحرك الوحيد بالنسبة إلى ما حوله.

افترض أنك رتبت الصور المتتابعة في **الشكل 2–2**، وجمعتها في صورة واحدة تُظهر مواقع جسم متحرك في فترات زمنية متساوية، كما في **الشكل 3–2** ، عندئذ يُطلق على هذا الترتيب مصطلح **المخطط التوضيحي للحركة** .

الشكل 2–2 إذا ربطت موقع العدّاء مع الخلفية في كل صورة في فترات زمنية متساوية فسوف تستنتج أنه في حالة حركة.

نموذج الجسيم النقطي

The Particle Model

يسهل تتبُّع مسار حركة العدّاء عند تجاهل حركة الأذرع والأرجل، كما يمكن تجاهل جسم العداء كله والاكتفاء بالتركيز على نقطة صغيرة مفردة في مركز جسمه (جسيم نقطي). وبتمثيل حركة العدّاء بسلسلة متتابعة من النقاط المفردة يمكنك الحصول على **نموذج الجسيم النقطي**، كما هو موضح في الجزء السفلي من **الشكل 3–2**. وحتى تَستَخدِم النموذج الجسيمي النقطي يجب أن يكون حجم الجسم صغيرًا جدًّا مقارنة بالمسافة التي يتحركها الجسم.

الشكل 3–2 إن ترتيب سلسلة من الصور المتلاحقة الملتقطة في فترات زمنية منتظمة وجمعها في صورة واحدة يُعطي مخططًا توضيحيًّا لحركة العدّاء. واختزال حركة العدّاء إلى نقاط مفردة متتابعة ينتج لنا نموذج الجسيم النقطي لحركته.

2–1 مراجعة

1. **نموذج الجسيم النقطي لحركة درّاج** ارسم نموذج الجسيم النقطي لتمثيل حركة راكب دراجة هوائية بسرعة ثابتة.
2. **نموذج الجسيم النقطي لحركة طائر** ارسم نموذج الجسيم النقطي لتمثيل يتناسب مع المخطط التوضيحي لحركة طائر في أثناء طيرانه، كما في **الشكل 4–2**. ما النقطة التي اخترتها على جسم الطائر لتمثله؟

الشكل 4–2

3. **نموذج الجسيم النقطي لحركة سيارة** ارسم نموذج الجسيم النقطي لتمثيل يتناسب مع المخطط التوضيحي لحركة سيارة ستتوقف عند إشارة مرورية، كما في **الشكل 5–2**. حدد النقطة التي اخترتها على جسم السيارة لتمثيلها.

الشكل 5–2

4. **التفكير الناقد** ارسم نموذج الجسيم النقطي لتمثيل حركة عدّاءين في سباق، عندما يتجاوز الأول خط النهاية يكون الآخر قد قطع ثلاثة أرباع مسافة السباق فقط.

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

2–2 الموقع والزمن Positon and Time

الأهداف

- **تحدِّد** أنظمة الإحداثيات المستخدمة في مسائل الحركة.
- **تدرك** أن النظام الإحداثي الذي يُختار يؤثر في إشارة مواقع الأجسام.
- **تعرف** الإزاحة.
- **تحسب** الفترة الزمنية لحركة جسم.
- **تستخدم** مخططًا توضيحيًّا للحركة للإجابة عن أسئلة حول موقع جسم أو إزاحته.

المفردات

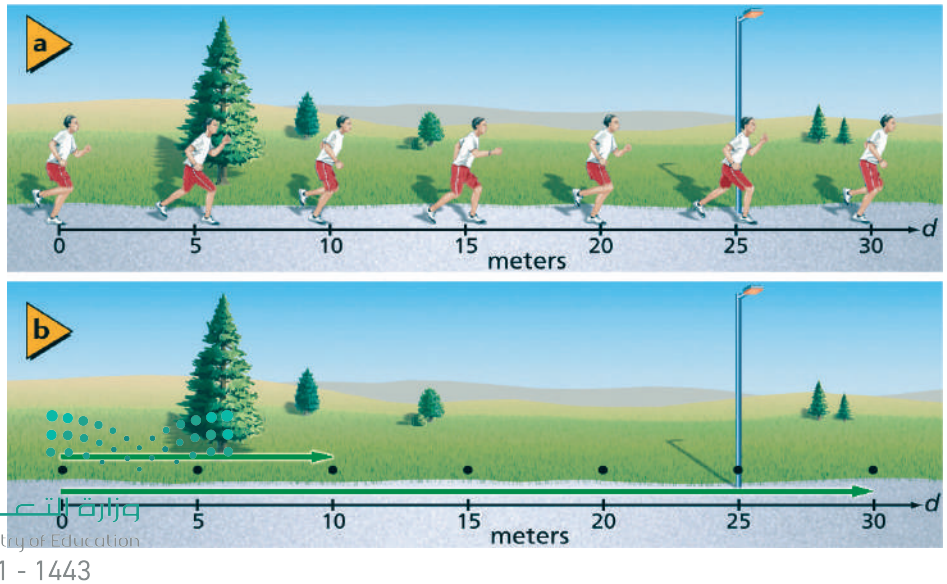
النظام الإحداثي
نقطة الأصل
الموقع
الكميات المتجهة
الكميات القياسية (العددية)
المحصّلة
الفترة الزمنية
الإزاحة
المسافة

هل من الممكن أخذ قياسات المسافة والزمن من المخططات التوضيحية للحركة، ومنها المخطط التوضيحي لحركة العدّاء؟ قبل التقاط الصور يمكنك وضع شريط قياس متري على الأرض على امتداد مسار العدّاء ليرشدك إلى مكان العدّاء في كل صورة، ووضع ساعة إيقاف ضمن المنظر الذي تصوره الكاميرا ليقيس لك الزمن. لكن أين يجب أن تضع بداية شريط القياس؟ ومتى يجب أن تبدأ تشغيل ساعة الإيقاف؟

أنظمة الإحداثيات Coordinate Systems

عندما تُقرِّر أين تضع شريط القياس، ومتى تشغل ساعة الإيقاف، ستكون قد حددت **النظام الإحداثي** الذي يعين موقع نقطة الأصل (نقطة الإسناد) بالنسبة إلى المتغير الذي تدرسه، والاتجاه الذي تتزايد فيه قيم هذا المتغير. إن **نقطة الأصل** هي النقطة التي تكون عندها قيمة كل من المتغيرين (الموقع ـ الزمن) صفرًا. ونقطة الأصل في مثال العدّاء تم تمثيلها بالنهاية الصفرية لشريط القياس، الذي يمكن وضعه على بُعد ستة أمتار عن يسار الشجرة. والحركة هنا تتم في خط مستقيم، لذا يوضع شريط القياس على امتداد هذا الخط المستقيم الذي يمثل أحد محوري النظام الإحداثي. من المحتمل أن تضع شريط القياس بحيث يزداد تدريج المقياس المتري عن يمين الصفر، كما أن وضعه في الاتجاه المعاكس صحيح أيضًا. في **الشكل 2–6a** نقطة الأصل للنظام الإحداثي تقع في جهة اليسار.

يمكنك أن تعيّن بُعد العدّاء عن نقطة الأصل عند لحظة معينة على المخطط التوضيحي للحركة، وذلك برسم سهم من نقطة الأصل إلى النقطة التي تمثل موقع العدّاء؛ في هذه اللحظة، كما هو مبين في **الشكل 2–6b**. وهذا السهم يمثل **موقع** العدّاء؛ حيث يدل طول السهم على بُعد الجسم عن نقطة الأصل؛ ويتجه هذا السهم دومًا من نقطة الأصل إلى موقع الجسم المتحرك.



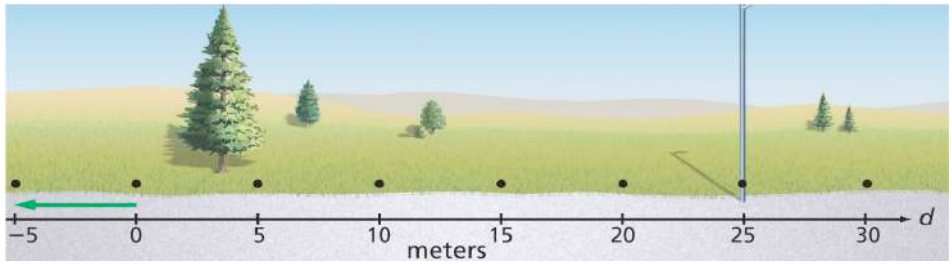
الشكل 2–6 في هذه الأشكال التوضيحية للحركة، تقع نقطة الأصل عن اليسار

a. القيم الموجبة للموقع تمتد أفقياً إلى اليمين.

b. السهمان المرسومان من نقطة الأصل إلى نقطتين يحددان موقع العدّاء في زمنين مختلفين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

لكن هل هناك موقع سالب؟ افترض أنك اخترت نظامًا إحداثيًّا كالذي وضعته، واخترت نقطة الأصل على بُعد 4 m عن يسار الشجرة على محور الموقع الذي يمتد في الاتجاه الموجب نحو اليمين، فإن الموقع الذي يبعد 9 m عن يسار الشجرة يبعد 5 m عن يسار نقطة الأصل ويكون موقعه سالب، كما يظهر في **الشكل 7–2**.



■ **الشكل 7–2** السهم المرسوم على المخطط التوضيحي للحركة يشير إلى موقع سالب.

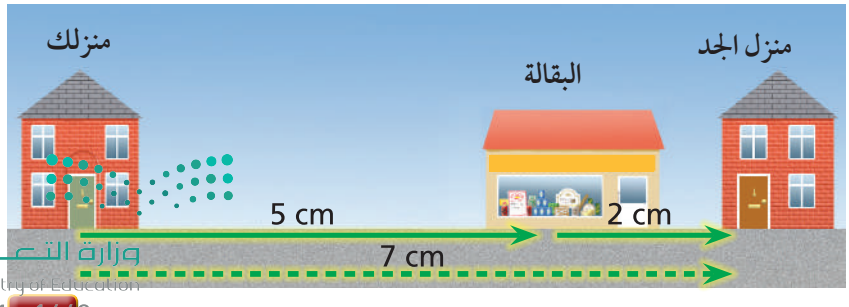
الكميات الفيزيائية المتجهة والكميات الفيزيائية القياسية (العددية) الكميات الفيزيائية التي يتطلب تعيينها تحديد مقدارها واتجاهها وفقًا لنقطة الإسناد- ومنها الإزاحة والقوة- تسمى **كميات متجهة**، ويمكن تمثيلها بالأسهم، وغالبًا ما يعبر عن هذه الكميات بوضع سهم فوق رمز الكمية الفيزيائية المتجهة للدلالة على أنها متجهة، مثل ($\vec{a}$ و$\vec{F}$). وسنعتمد في هذا الكتاب استخدام حروف البنط العريض (**Bold**) لتمثيل الكميات المتجهة. أما الكميات الفيزيائية التي يكفي لتعيينها تحديد مقدارها فقط - ومنها المسافة والزمن ودرجة الحرارة- فتسمى **كميات قياسية (عددية)**.

تعرفت سابقًا طريقة جمع الكميات العددية. فعلى سبيل المثال $0.2 + 0.6 = 0.8$. ولكن كيف يمكنك جمع الكميات المتجهة؟ فكّر في حل المسألة الآتية: طلبت إليك والدتك شراء بعض الأشياء وأخذها إلى منزل جدك، فمشيت مسافة 0.5 km في اتجاه الشرق من بيتك إلى البقالة، وقمت بالشراء، ثم مشيت مسافة 0.2 km في اتجاه الشرق إلى منزل جدك. ما بُعدك عن نقطة الأصل (بيتك)؟ الجواب هو:

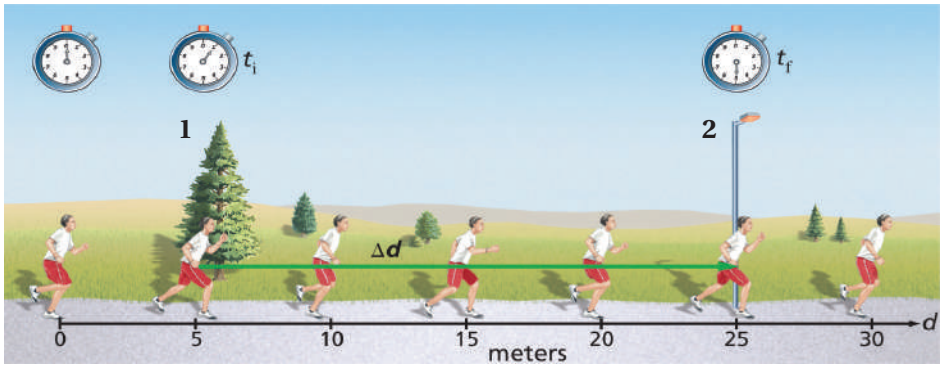
$$0.5\ \text{km}_{\text{شرقًا}} + 0.2\ \text{km}_{\text{شرقًا}} = 0.7\ \text{km}_{\text{شرقًا}}$$

ويمكنك حل هذه المسألة بيانيًّا باستخدام مسطرة لقياس ورسم كل متجه، على أن يكون طول المتجه متناسبًا مع مقدار الكمية التي يمثلها، وذلك باختيار مقياس رسم مناسب. فعلى سبيل المثال ربما تجعل كل 1 cm على الورقة يمثل 0.1 km. ويوضح كلا المتجهين في **الشكل 8–2** رحلتك إلى منزل جدك، وهما مرسومان بمقياس 1cm لكل 0.1 km، والمتجه الذي يمثل مجموع المتجهين مبين بخط متقطع طوله 7 cm. ووفق مقياس الرسم فإنك على بُعد 0.7 km من نقطة الأصل. ويسمى المتجه الذي يمثل مجموع المتجهين الآخرين متجه **المحصلة**، وهو يتجه دائماً من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الثاني، والعكس صحيح عند إيصال ذيل المتجه الأول برأس المتجه الثاني.

■ **الشكل 8–2** يُجمع متجهان بوضع رأس الأول ملامسًا لذيل الثاني. تبدأ المحصلة من ذيل المتجه الأول وتنتهي عند رأس المتجه الثاني.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443



الشكل 9–2 تلاحظ أن العدّاء استغرق أربع ثوانٍ ليركض من الشجرة إلى عمود الإنارة. استخدم الموقع الابتدائي للعدّاء نقطة مرجعية. يشير المتجه من الموقع 1 إلى الموقع 2 إلى اتجاه الإزاحة ومقدارها خلال هذه الفترة الزمنية.

الفترة الزمنية والإزاحة Time Interval and Displacement

دلالة اللون

- تظهر متجهات الإزاحة باللون الأخضر.

عند تحليل حركة العدّاء تحتاج إلى معرفة الزمن الذي استغرقه العداء للانتقال من الشجرة إلى عمود الإنارة. يمكن إيجاد هذه الفترة الزمنية بحساب الفرق بين قراءتي ساعة الإيقاف في كل موقع. اختر الرمز t_i للزمن عندما كان العدّاء عند الشجرة، والرمز t_f للزمن عندما صار عند عمود الإنارة. يسمى الفرق بين زمنين **فترة زمنية**، ويرمز لها بالرمز Δt، حيث:

الفترة الزمنية $\Delta t = t_f - t_i$

الفترة الزمنية تساوي الزمن النهائي مطروحًا منه الزمن الابتدائي.

وفي مثال العدّاء، يكون الزمن الذي يستغرقه للذهاب من الشجرة إلى عمود الإنارة هو:

$$t_f - t_i = 5.0\ \text{s} - 1.0\ \text{s} = 4.0\ \text{s}$$

ولكن كيف تَغير موقع العدّاء عندما ركض من الشجرة حتى عمود الإنارة، كما هو موضح في **الشكل 9–2**؟ يمكن استخدام الرمز $\boldsymbol{d}$ لتمثيل موقع العداء. غالبًا ما نستخدم كلمة (موقع) للإشارة إلى مكان ما. أما في الفيزياء فالموقع متَّجه ذيله عند نقطة الأصل لنظام الإحداثيات المستخدم، ورأسه عند المكان المراد تحديد موقعه.

أما **الإزاحة** فهي كمية فيزيائية متجهة، وتمثل مقدار التغير الذي يحدث لموقع الجسم في اتجاه معين. ويرمز للإزاحة بالرمز $\Delta\boldsymbol{d}$، وتمثَّل بسهم يشير ذيله إلى موقع بداية الحركة، بينما يشير رأسه إلى موقع نهايتها، كما أن طول السهم يمثل المسافة التي قطعها الجسم في اتجاه معين، وهو الاتجاه الذي يشير إليه السهم. كما تحسب الإزاحة رياضيًّا بالعلاقة:

الإزاحة $\Delta\boldsymbol{d} = \boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i$

الإزاحة $\Delta\boldsymbol{d}$ تساوي متجه الموقع النهائي $\boldsymbol{d}_f$ مطروحًا منه متجه الموقع الابتدائي $\boldsymbol{d}_i$

فإزاحة العداء $\Delta\boldsymbol{d}$ في أثناء حركته من الشجرة إلى عمود الإنارة تساوي $25.0\ \text{m} - 5.0\ \text{m} = 20.0\ \text{m}$. والإزاحة بوصفها كمية متجهة تختلف عن المسافة بوصفها كمية قياسية؛ فالإزاحة تعبّر عن كل من المسافة والاتجاه، بينما تعبر **المسافة** عن كل ما يقطعه الجسم دون تحديد الاتجاه.

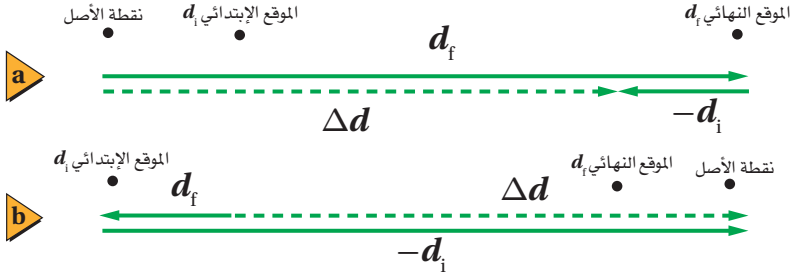
وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

كيف تطرح الكميات المتجهة؟ لطرح متجه من آخر اعكس اتجاه المتجه المراد طرحه، ثم اجمعهما؛ وذلك لأن: $\mathbf{A-B=A+(-B)}$

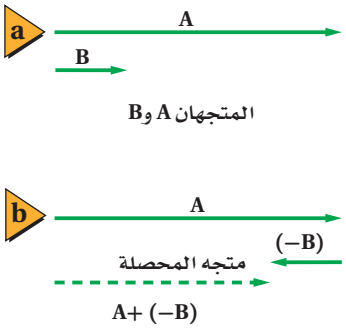
يبين **الشكل 2–10a** متجهين، الأول **A** طوله 4 cm ويتجه إلى الشرق، والثاني **B** طوله 1 cm ويتجه إلى الشرق أيضًا. أما **الشكل 2–10b** فيبين المتجه **B–** وطوله 1 cm، والذي يتجه إلى الغرب، وتظهر محصلة المتجهين **A** و **B–**، ويمثلها متجه طوله 3 cm يتجه إلى الشرق.

يحدد طول واتجاه متجه الإزاحة $\Delta \boldsymbol{d} = \boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i$ برسم المتجه $\boldsymbol{d}_f$ والمتجه $-\boldsymbol{d}_i$ الذي يكون اتجاهه عكس اتجاه $\boldsymbol{d}_i$، ثم نقله، بحيث يكون ذيله عند رأس المتجه $\boldsymbol{d}_f$، ويتم جمعهما معًا.

يوضح **الشكل 2–11** مقارنة بين موقع وإزاحة العداء في حالة اختيار نظام إحداثي مختلف، حيث اعتبر الطرف الأيمن لمحور الموقع نقطة للأصل في **الشكل 2–11b**. تلاحظ أن متجهات الموقع قد تغيرت، في حين لا يتغير مقدار واتجاه متجه الإزاحة.



الشكل 2–11 يمكن حساب إزاحة العدّاء خلال الثواني الأربع بطرح $\boldsymbol{d}_i$ من $\boldsymbol{d}_f$. في الشكل (a) تقع نقطة الأصل عن اليسار، أما في الشكل (b) فتقع عن اليمين. وبغض النظر عن اختيارك للنظام الإحداثي فإن قيمة متجه الإزاحة $\Delta \boldsymbol{d}$ واتجاهه لا يتغير.



الشكل 2–10

a. المتجهان A و B.

b. محصلة (A–B).

2–2 مراجعة

5. **الإزاحة** يمثل الشكل الآتي النموذج الجسيمي النقطي لحركة سيارة على طريق سريع، وقد حددت نقطة الانطلاق كالآتي:

من هنا • • • • • • إلى هناك

أعد رسم هذا النموذج الجسيمي النقطي، وارسم متجهًا يمثل إزاحة السيارة من نقطة البداية حتى نهاية الفترة الزمنية الثالثة.

6. **الإزاحة** يمثل النموذج الجسيمي النقطي أدناه حركة طالب يسير من بيته إلى المدرسة:

البيت • • • • • • • • • • المدرسة

أعد رسم الشكل، وارسم متجهات لتمثيل الإزاحة بين كل نقطتين.

7. **الموقع** قارن طالبان متجهي الموقع اللذان رسماهما على المخطط التوضيحي للحركة لتحديد موقع جسم متحرك في اللحظة نفسها، فوجدا أن المتجهين المرسومين لا يشيران إلى الاتجاه نفسه. فسر ذلك.

8. **التفكير الناقد** تتحرك سيارة في خط مستقيم من البقالة إلى مكتب البريد، ولتمثيل حركتها استخدمتَ نظامًا إحداثيًّا، نقطة الأصل فيه البقالة، واتجاه حركة السيارة هو الاتجاه الموجب. أما زميلك فاستخدم نظامًا إحداثيًّا، نقطة الأصل فيه مكتب البريد، والاتجاه المعاكس لحركة السيارة هو الموجب. هل ستتفقان على كل من موقع السيارة والإزاحة والمسافة والفترة الزمنية التي استغرقتها الرحلة؟ وضح ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

2–3 منحنى (الموقع – الزمن) Position - Time Graph

الأهداف

- **تحلل** منحنيات (الموقع – الزمن) لأجسام متحركة.
- **تستخدم** منحنى (الموقع – الزمن) لتحديد موقع جسم أو إزاحته.
- **تصف** حركة جسم باستخدام التمثيلات المتكافئة ومنها مخططات الحركة، والصور ومنحنيات الموقع – الزمن.

المفردات

منحنى (الموقع–الزمن)
الموقع اللحظي

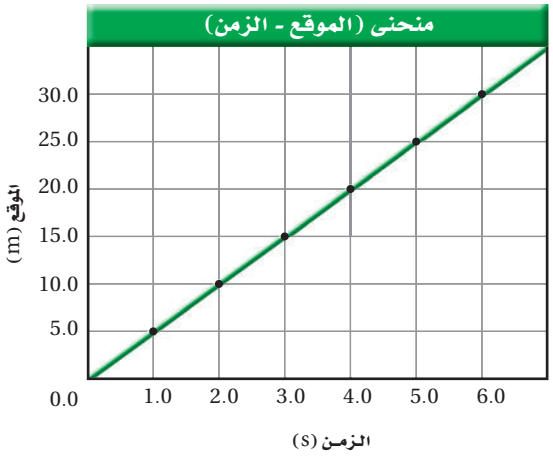
عند تحليل الحركة لنوع أكثر تعقيدًا من الأمثلة التي تم تناولها ودراستها، من المفيد تمثيل حركة الجسم بطرائق متنوعة. وكما لاحظت، فإن المخطط التوضيحي للحركة يحتوي على معلومات مفيدة حول موقع الجسم في أزمنة مختلفة، ويمكن استخدامه في تحديد إزاحة الجسم خلال فترات زمنية محددة، كما أن الرسوم البيانية لموقع الجسم–الزمن تتضمن هذه المعلومات أيضًا.

استخدام الرسم البياني لتحديد الموقع والزمن
Using a Graph to Find Out Position and Time

يمكن استخدام المخطط التوضيحي لحركة العداء في **الشكل 9–2** لتحديد موقع العدّاء في كل لحظة من حركته، وتجسيدها، كما في **الجدول 1–2**.

كما يمكن عرض البيانات الواردة في **الجدول 1–2** في رسم بياني بتحديد إحداثيات الزمن على المحور الأفقي (x)، وإحداثيات الموقع على المحور الرأسي (y)، وهو ما يُسمى **منحنى (الموقع–الزمن)**. ويُظهر الرسم البياني في **الشكل 12–2** حركة العدّاء. ولرسم هذا الخط البياني نحدد أولًا مواقع العدّاء بدلالة الزمن، ثم نرسم أفضل خط مستقيم يمر بأغلب النقاط، وهو ما يطلق عليه خط المواءمة الأفضل. لاحظ أن هذا المنحنى ليس تصويرًا لمسار حركة العداء؛ حيث إن الخط البياني مائل ولكن مسار حركة العدّاء على مستوى أفقي.

يبين الخط البياني مواقع العدَّاء في الأزمنة المبينة في الجدول، وحتى لو لم تتوافر بيانات تبين مباشرةً متى كان العدّاء على بُعد 30.0 m من نقطة البداية، أو أين كان عند الزمن $t = 4.5\ s$، يمكنك استخدام الرسم البياني لتحديد ذلك. ويستخدم الرمز d لتمثيل **الموقع اللحظي** للعدّاء في لحظة زمنية تؤول إلى الصفر.



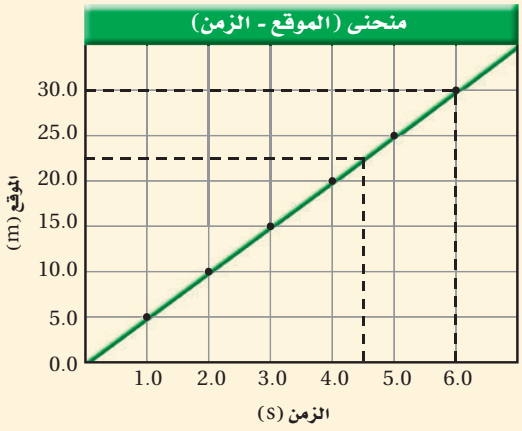
الشكل 12–2 يمكننا رسم منحنى الموقع–الزمن للعدّاء بتحديد موقعه في فترات زمنية مختلفة، وبعد تعيين هذه النقاط نرسم خط المواءمة الأفضل.

الجدول 1–2

الموقع-الزمن	
الزمن t (s)	الموقع d (m)
0.0	0.0
1.0	5.0
2.0	10.0
3.0	15.0
4.0	20.0
5.0	25.0
6.0	30.0

مثـــال 1

يوضح الرسم البياني المجاور حركة عدّاء. متى يصل العدّاء إلى بُعد 30.0 m عن نقطة البداية؟ وأين يكون بعد مضي 4.5 s؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- أعد صياغة السؤالين.

السؤال 1: متى كان العدّاء على بُعد 30.0 m عن نقطة البداية؟

السؤال 2: ما موقع العدّاء بَعد مضي 4.5 s؟

دليل الرياضيات

الاستيفاء والاستقراء 225

2 إيجاد الكمية المجهولة

السؤال 1

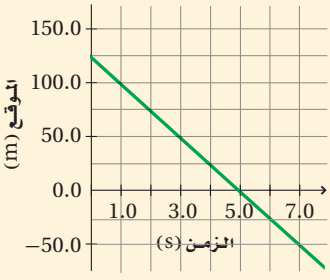
تفحص الرسم البياني، وحدد نقطة تقاطع الخط البياني مع خط أفقي يمر بالنقطة 30.0 m، ثم حدد نقطة تقاطع الخط العمودي المرسوم من تلك النقطة مع محور الزمن، تجد أن مقدار t هو 6.0 s.

السؤال 2

حدد نقطة تقاطع الخط البياني مع خط عمودي عند 4.5 s (تقع بين 4.0 s و 5.0 s في الرسم البياني)، ثم حدد نقطة تقاطع الخط الأفقي المرسوم من تلك النقطة مع محور الموقع، تجد أن قيمة d تساوي 22.5 m تقريبًا.

مسائل تدريبية

استعن بالشكل 13–2 على حل المسائل 11–9:



الشكل 13–2

9. صف حركة السيارة المبينة في الرسم البياني.

10. أرسم نموذجا للجسيم النقطي يتوافق مع الرسم البياني.

11. أجب عن الأسئلة الآتية حول حركة السيارة. (افترض أن الاتجاه الموجب للإزاحة في اتجاه الشرق والاتجاه السالب في اتجاه الغرب).

a. متى كانت السيارة على بُعد 25.0 m شرق نقطة الأصل؟

b. أين كانت السيارة عند 1.0 s ؟

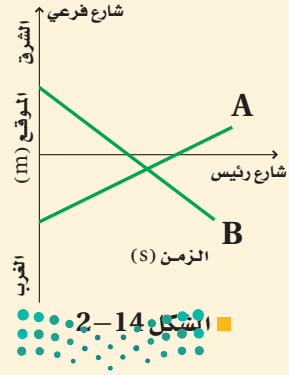
12. صف بالكلمات حركة اثنين من المشاة A و B كما يوضحهما الخطان البيانيان في **الشكل 14–2**، مفترضًا أن الاتجاه الموجب في اتجاه الشرق على الشارع الفرعي، ونقطة الأصل هي نقطة تقاطع الشارعين الرئيس والفرعي.

13. تحركت سعاد في خط مستقيم من أمام المقصف إلى مختبر الفيزياء، فقطعت مسافة 100.0 m. في هذه الأثناء قامت زميلاتها بتسجيل وتحديد موقعها كل 2.0 s، فلاحظن أنها تحركت مسافة 2.5 m كل 2.0 s.

a. مثِّل بالرسم البياني حركة سعاد.

b. متى كانت سعاد في المواقع الآتية:

- على بُعد 25.0 m من المقصف؟
- على بُعد 25.0 m من مختبر الفيزياء؟



الشكل 14–2

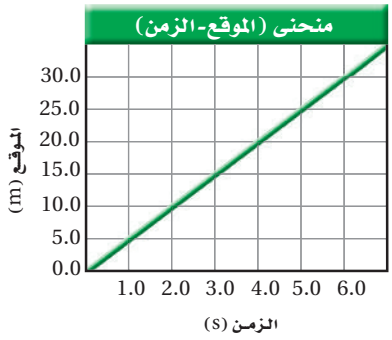
وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

a

الجدول 1–2

الموقع-الزمن	
الزمن (s)	الموقع (m)
0.0	0.0
1.0	5.0
2.0	10.0
3.0	15.0
4.0	20.0
5.0	25.0
6.0	30.0

b



c

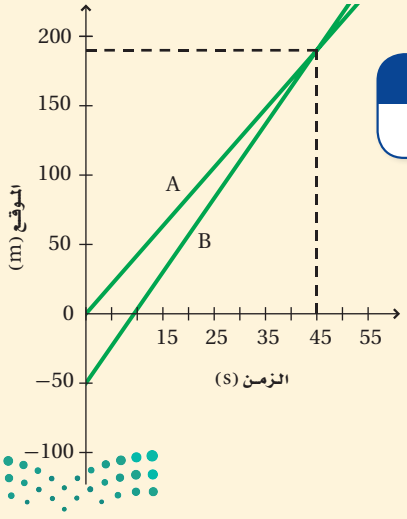
الشكل 15–2
a. جدول البيانات.
b. منحنى (الموقع - الزمن).
C. النموذج الجسيمي النقطي.
جميعها استخدمت لوصف حركة الجسم نفسه وتمثيلها.

التمثيلات المتكافئة كما هو مبين في **الشكل 15–2**، هناك طُرق مختلفة لوصف الحركة؛ حيث يمكن وصفها بالكلمات، وبالصور (التمثيل التصويري)، ومخططات الحركة التوضيحية، وجداول البيانات، ومنحنيات (الموقع–الزمن)، وهذه جميعها طُرق متكافئة؛ أي أنها تحتوي على المعلومات نفسها حول حركة العدّاء. ومع ذلك فقد يكون بعض هذه الطُرق أكثر فائدة من الأخرى، وفقًا لما تريد معرفته عن الحركة. سوف تتدرب في الصفحات الآتية على استخدام هذه التمثيلات المتكافئة، وتتعلم أيها أنسب لحل أنواع المسائل المختلفة.

دراسة حركة عدة أجسام يظهر في **مثال 2** منحنى (الموقع–الزمن) لعدّاءين في سباق. متى وأين يتجاوز أحد العدّاءين الآخر؟ استخدم المصطلحات الفيزيائية أولًا لإعادة صياغة السؤال: متى يكون العدّاءان في الموقع نفسه؟ يمكنك الإجابة عن هذا السؤال بتحديد النقطة التي يتقاطع عندها الخطان الممثلان لحركة العدّاءين على منحنى (الموقع–الزمن).

مثـــال 2

يمثل الرسم البياني المجاور منحنى (الموقع- الزمن) لحركة عدّاءين A و B.
متى وأين يتجاوز العدّاء B العدّاء A؟



دليل الرياضيات
الاستيفاء والاستقراء 225

1 تحليل المسألة ورسمها

- أعد صياغة السؤالين.

عند أي زمن يكون العدّاءان A و B في الموقع نفسه؟

2 إيجاد الكمية المجهولة

تفحص الرسم البياني لإيجاد نقطة تقاطع الخط البياني الممثل لحركة A مع الخط البياني الممثل لحركة B، يتقاطع هذان الخطان عند اللحظة 45 s، وعلى بُعد 190 m تقريبًا، وهذا يعني أن العدّاء B يتجاوز العدّاء A على بُعد 190 m من نقطة الأصل؛ أي بَعد 45 s من مرور العدّاء A بها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

مسائل تدريبية

للإجابة عن المسائل ***17–14*** *ارجع إلى الشكل في مثال 2.*

14. ما الحدث الذي وقع عند اللحظة $t = 0.0\ s$؟

15. أي العدّاءين كان متقدمًا في اللحظة $t = 48\ s$؟

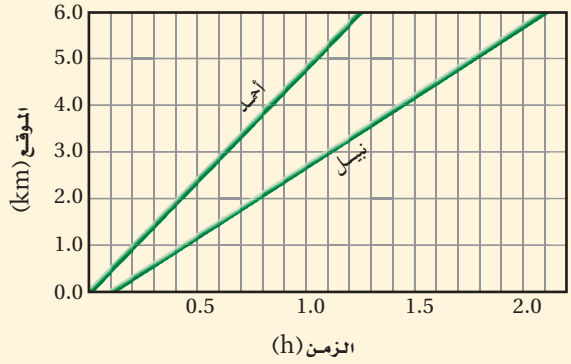
16. أين كان العدّاء B عندما كان العدّاء A عند النقطة $0.0\ m$؟

17. ما المسافة الفاصلة بين العدّاء A والعدّاء B في اللحظة $t = 20.0\ s$؟

18. خرج أحمد في نزهة مشيًا على الأقدام، وبعد وقت بدأ صديقه نبيل السير خلفه، وقد تم تمثيل حركتيهما بمنحنى (الموقع–الزمن) المبين في **الشكل 16–2**.

a. ما الزمن الذي سار خلاله أحمد قبل أن يبدأ نبيل المشي؟

b. هل سيلحق نبيل بأحمد؟ فسر ذلك.



الشكل 16–2

مسألة تحفيز

يستمتع كل من ماجد ويوسف وناصر بممارسة الرياضة على طريق يمتد بمحاذاة الشاطئ. حيث بدأ يوسف الركض بسرعة منتظمة مقدارها $16.0\ km/h$ من المرسى A في اتجاه الجنوب في تمام الساعة 11:30 صباحًا، وفي اللحظة نفسها ومن المكان نفسه بدأ ناصر المشي بسرعة منتظمة مقدارها $6.5\ km/h$ في اتجاه الجنوب. أما ماجد فانطلق بدراجته عند الساعة 12 ظهرًا من مرسى آخر B يبعد $20\ km$ جنوب المرسى A بسرعة منتظمة مقدارها $40.25\ km/h$ في اتجاه الشمال.

1. ارسم منحنيات (الموقع–الزمن) للأشخاص الثلاثة.

2. متى يصبح الأشخاص الثلاثة أقرب ما يمكن بعضهم إلى بعض؟

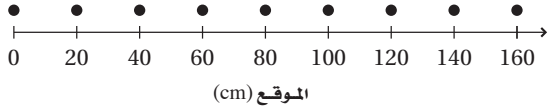
3. ما المسافة التي تفصل بينهم حينذاك؟

لاحظ أنه يمكن تمثيل حركة أكثر من جسم في منحنى واحد للموقع–الزمن. ونقطة تقاطع الخطين البيانيين تخبرك متى يكون الجسمان في الموقع نفسه. لكن هل هذا يعني أنهما سيتصادمان؟ ليس بالضرورة. فعلى سبيل المثال، إذا كان هذان الجسمان عداءين، ولكل منهما ممر خاص به، فإنهما لن يتصادما.

هل هناك شيء آخر يمكنك تعلمه من منحنيات الموقع–الزمن؟ وهل تعرف ما يعنيه ميل الخط البياني في المنحنى؟ ستتعلم في البند الآتي كيف تستخدم ميل الخط البياني لمنحنى (الموقع–الزمن) لتعيين السرعة المتجهة لجسم.

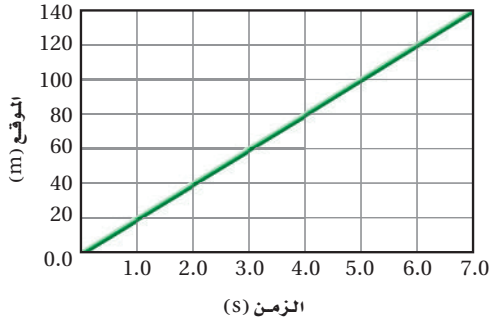
3–2 مراجعة

19. منحنى (الموقع-الزمن) يمثل النموذج الجسيمي النقطي في **الشكل 17–2** طفلاً يزحف على أرضية غرفة. مثِّلْ حركته باستخدام منحنى (الموقع–الزمن)، علمًا بأن الفترة الزمنية بين كل نقطتين متتاليتين تساوي 1s.



الشكل 17–2

20. المخطط التوضيحي للحركة يبين **الشكل 18–2** منحنى (الموقع–الزمن) لحركة قرص مطاطي ينزلق على الجليد في لعبة الهوكي. استخدم الرسم البياني في هذا الشكل لرسم النموذج الجسيمي النقطي لحركة القرص.



الشكل 18–2

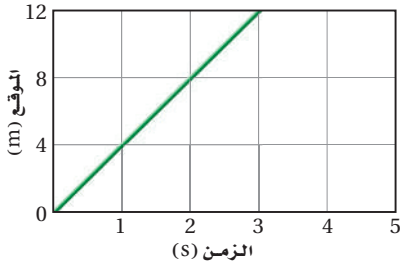
ارجع إلى ***الشكل 18–2*** *عند حل المسائل* ***23–21.***

21. الزمن متى كان القرص على بُعد 10.0 m عن نقطة الأصل؟

22. المسافة حدد المسافة التي قطعها قرص الهوكي بين اللحظتين 0.0 s و 5.0 s.

23. الفترة الزمنية حدد الزمن الذي استغرقه قرص الهوكي ليتحرك من موقع يبعد 40 m عن نقطة الأصل إلى موقع يبعد 80 m عنها.

24. التفكير الناقد تفحص النموذج الجسيمي النقطي ومنحنى (الموقع–الزمن) الموضحين في **الشكل 19–2**. هل يصفان الحركة نفسها؟ كيف تعرف ذلك؟ علمًا بأن الفترات الزمنية في النموذج الجسيمي النقطي تساوي 2 s.



الشكل 19–2

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–4 السرعة المتجهة Velocity

تعلمت كيف تستعمل المخطط التوضيحي للحركة لتبين حركة جسم. كيف يمكنك قياس سرعة حركته؟ يمكنك تحديد تغير الموقع والزمن اللازم باستخدام أدوات، منها شريط القياس المتري وساعة الإيقاف، ثم استخدام هذه البيانات لوصف معدل تغير الحركة.

الأهداف

- **تُعرف** السرعة المتجهة.
- **تقارن** بين مفهومي السرعة والسرعة المتجهة.
- **تصمم** تمثيلات تصويرية وفيزيائية ورياضية لمسائل الحركة.

المفردات

السرعة المتجهة المتوسطة

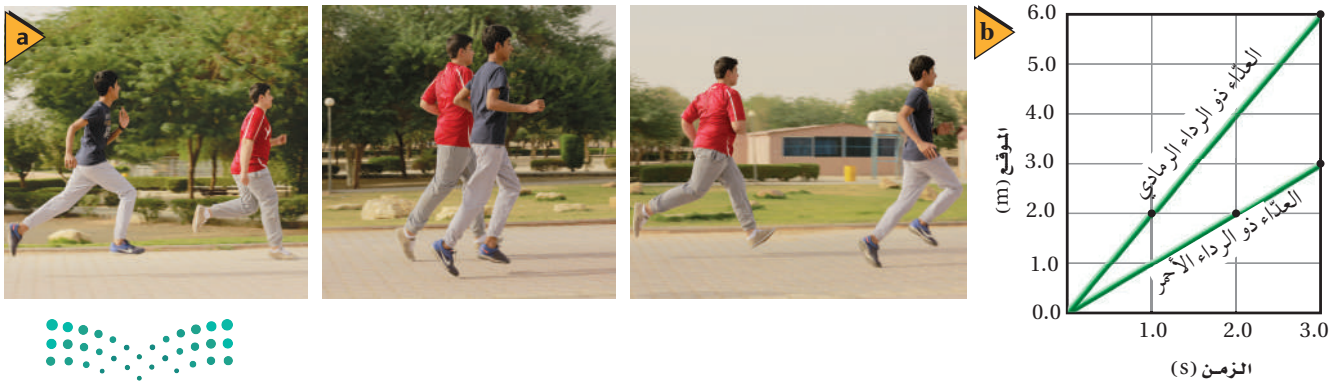
السرعة المتوسطة

السرعة المتجهة اللحظية

السرعة المتجهة Velocity

افترض أنك مثّلت حركتي عدّاءين على مخطط توضيحي واحد، كما هو مبين في **الشكل 2–20a**. بالانتقال من صورة إلى الصورة التي تليها، يمكنك أن ترى أن موقع العدّاء ذي الرداء الرمادي يتغير بمقدار أكبر من تغير موقع العدّاء ذي الرداء الأحمر. أي أن مقدار الإزاحة للعداء ذي الرداء الرمادي Δd أكبر؛ لأنه يتحرك أسرع، أي يقطع مسافة أكبر من تلك التي يقطعها اللاعب ذو الرداء الأحمر خلال المدة الزمنية نفسها. وإذا افترضنا أن كليهما قد قطع مسافة 100.0 m فإن الفترة الزمنية Δt التي استغرقها العدّاء ذو الرداء الرمادي ستكون أقل من تلك التي استغرقها زميله.

السرعة المتجهة المتوسطة من مثال العدّاءين، يمكنك أن تلاحظ أننا نحتاج إلى معرفة كلٍّ من الإزاحة Δd والفترة الزمنية Δt لحساب السرعة المتجهة لجسم متحرك. ولكن كيف يمكن الربط بينهما؟ تفحص الخطين البيانيين اللذين يمثلان حركتي العدّاءين في منحنى (الموقع–الزمن)، انظر **الشكل 2–20b**، ستلاحظ أن ميل الخط البياني للعدّاء ذي الرداء الرمادي أكثر انحدارًا من ميل الخط البياني للعدّاء ذي الرداء الأحمر، ويدل الميل أو الانحدار الأكبر على أن مقدار التغير في الإزاحة أكبر خلال الفترة الزمنية نفسها.



الشكل 2–20

a. إزاحة العدّاء ذي الرداء الرمادي أكبر من إزاحة العدّاء ذي الرداء الأحمر خلال الفترات الزمنية الثلاث؛ لأن الأول يتحرك أسرع من الثاني.

b. يمثل منحنى (الموقع–الزمن) حركة كل من العدّاءين، والنقاط المستخدمة لحساب ميل كل خط.

يمكن إيجاد كل من مَيلي الخطين البيانيين الممثلين لحركتي العدّاءين في **الشكل 2–20b** كما يأتي:

دلالة اللون

- متجهات السرعة باللون **الأحمر**.
- متجهات الإزاحة باللون **الأخضر**.

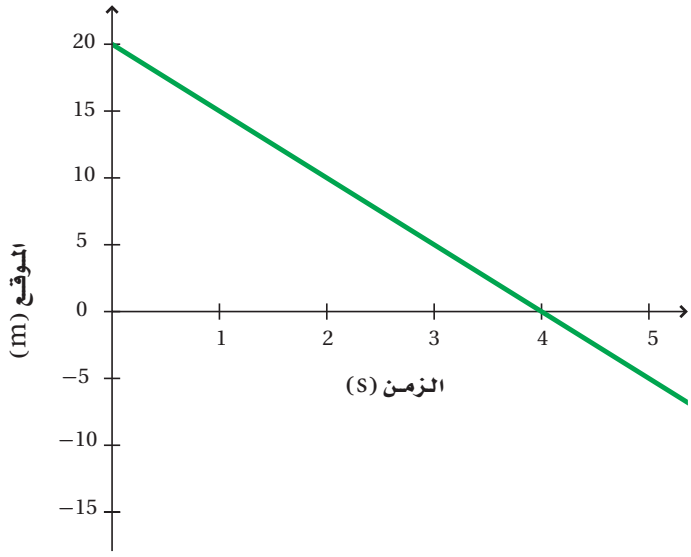
العداء ذو الرداء الرمادي	العداء ذو الرداء الأحمر
ميل الخط البياني $= \dfrac{\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i}{t_f - t_i}$	ميل الخط البياني $= \dfrac{\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i}{t_f - t_i}$
$= \dfrac{(6.0 - 2.0)\text{m}}{(3.0 - 1.0)\text{s}}$	$= \dfrac{(3.0 - 2.0)\text{m}}{(3.0 - 2.0)\text{s}}$
$= 2.0\ \text{m/s}$	$= 1.0\ \text{m/s}$

هناك أشياء مهمة تجدر ملاحظتها في هذه المقارنة. أولاً: ميل الخط البياني للعدّاء الأسرع يكون أكبر عدديًّا، لذا من المعقول أن يعبر هذا العدد عن السرعة المتجهة المتوسطة، وكذلك السرعة المتوسطة. ثانيًا: وحدات الميل هي (m/s)؛ أي أن الميل يخبرنا كم مترًا تحرك العدّاء خلال ثانية واحدة. وعند التفكير في طريقة حساب الميل ستلاحظ أن الميل هو التغير في الموقع مقسومًا على الفترة الزمنية التي حدث فيها هذا التغير، أي $\dfrac{\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i}{t_f - t_i}$ أو $\dfrac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t}$. وعندما تزداد قيمة المتجه $\Delta \boldsymbol{d}$ فإن الميل يزداد، ويقل عندما تزداد Δt. إن هذا يتفق مع التفسير السابق لحركتي العدّاءين.

يمثل ميل الخط البياني في منحنى (الموقع–الزمن) لأي جسم متحرك **السرعة المتجهة المتوسطة** لهذا الجسم، ويُكتب على شكل نسبة بين التغير في الموقع والفترة الزمنية التي حدث فيها هذا التغير.

السرعة المتجهة المتوسطة $\overline{\boldsymbol{v}} = \dfrac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t} = \dfrac{\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i}{t_f - t_i}$

تُعرف السرعة المتجهة المتوسطة بأنها التغير في الموقع (الإزاحة) مقسوماً على مقدار الفترة الزمنية التي حدث خلالها هذا التغير.



الشكل 21–2 يتحرك الجسم الممثلة حركته هنا في الاتجاه السالب بمعدل 5.0 m/s.

من الأخطاء الشائعة القول إن ميل الخط البياني للموقع – الزمن يمثل سرعة الجسم فحسب. تأمل ميل الخط البياني للموقع–الزمن في **الشكل 21–2**. إن ميل هذا الخط يساوي (5.0 m/s−)، وهو كمية تشير إلى المقدار والاتجاه (تذكر أن السرعة المتجهة المتوسطة كمية لها مقدار واتجاه). وفي الحقيقة إن ميل الخط البياني (للموقع–الزمن) يدل على السرعة المتجهة المتوسطة للجسم، لا على مقدار سرعته. عند تأمل **الشكل 21–2** مرة أخرى تجد أن ميل الخط البياني هو (5.0 m/s−)، وبذلك فإن سرعة الجسم المتجهة هي (5.0 m/s−)، وهذا يعني أن الجسم انطلق من موقع موجب متجهًا نحو نقطة الأصل، وأنه يتحرك في الاتجاه السالب بمعدل 5.0 m/s.

السرعة المتوسطة تعبّر القيمة المطلقة لميل الخط البياني لمنحنى (الموقع–الزمن) عن **السرعة المتوسطة** للجسم؛ أي مقدار سرعة حركة الجسم، و يرمز لها بالرمز $\bar{v}$. أما السرعة المتجهة المتوسطة $\bar{\boldsymbol{v}}$ فتعبر عن كل من قيمة السرعة المتوسطة للجسم والاتجاه الذي يتحرك فيه، وهي في المثال الموضح في **الشكل 21–2** 5.0 m/s (في الاتجاه السالب)، أو 5.0 m/s−، وتكون سرعته المتوسطة 5.0 m/s. تذكّر أنه إذا تحرك جسم في الاتجاه السالب فإن إزاحته تكون سالبة، وهذا يعني أن سرعة الجسم المتجهة دائمًا لها إشارة إزاحة الجسم نفسها.

عندما تحلِّل – في الفصول القادمة – أنواعًا أخرى من الحركة، سوف تجد أحيانا أن السرعة المتجهة المتوسطة هي أهم كمية، وفي أحيان أخرى تكون السرعة المتوسطة هي الكمية الأهم. لذا من الضروري أن تميز بين السرعة المتجهة المتوسطة والسرعة المتوسطة، وأن تكون متأكدًا من الاستخدام الصحيح لكل منهما لاحقًا.

الربط مع رؤية 2030

٢.٣.٤ تعزيز السلامة المرورية

تجربة عملية

ما موقع العربة؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين

تطبيق الفيزياء

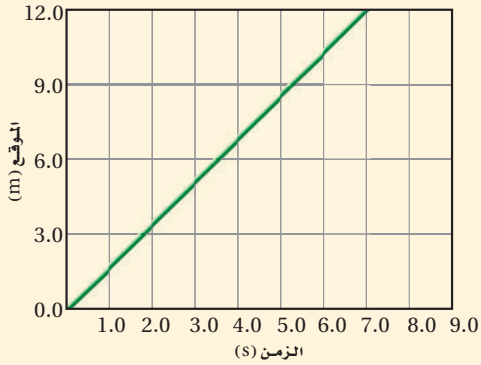
نظام ساهر يقيس السرعة المتجهة اللحظية لأنه يحسب سرعة السيارة خلال فترة قصيرة جداً وهي لحظة إطلاق الفلاش مع تحديد الاتجاه.

حساس السرعة يشير الاختصار AVG في حساس سرعة السيارة إلى السرعة المتوسطة لأنه يقيس المسافة الكلية خلال الزمن الكلي دون اعتبار الاتجاه.

نظام الرصد الآلي يقيس السرعة المتجهة المتوسطة لأنه يحسب سرعة السيارة خلال إزاحة محددة بين موقعين مع إمكانية تحديد الاتجاه

مثـــال 3

يبين الرسم البياني المجاور حركة طالب يركب لوح تزلج عبر ممر للمشاة مهمل الاحتكاك. ما سرعته المتجهة المتوسطة؟ وما سرعته المتوسطة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- تفحص النظام الإحداثي للرسم البياني.

المجهول

$\bar{v} = ?$ $\bar{v} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد السرعة المتجهة المتوسطة باستخدام نقطتين على الخط البياني.

$$\bar{v} = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$$

بالتعويض $d_2 = 12.0\ \text{m}$ ، $d_1 = 6.0\ \text{m}$ ، $t_2 = 7.0\ \text{s}$ ، $t_1 = 3.5\ \text{s}$

$$= \frac{12.0\ \text{m} - 6.0\ \text{m}}{7.0\ \text{s} - 3.5\ \text{s}}$$

$$= 1.7\ \text{m/s}$$ في الاتجاه الموجب

أما السرعة المتوسطة فتساوي القيمة المطلقة للسرعة المتجهة المتوسطة؛ أي $\bar{v} = 1.7\ \text{m/s}$

3 تقويم الجواب

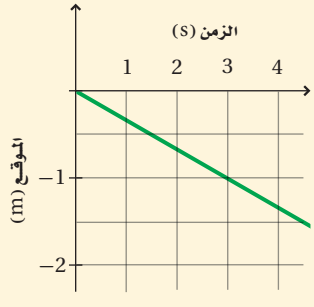
- **هل الوحدات صحيحة؟** نعم؛ فالوحدة m/s هي وحدة قياس كل من السرعة المتجهة والسرعة.
- **هل للإشارات معنى؟** نعم. الإشارة الموجبة للسرعة المتجهة المتوسطة تتفق مع النظام الإحداثي. ولا يحدد اتجاه للسرعة المتوسطة.

مسائل تدريبية

25. يصف الرسم البياني في **الشكل 22-2** حركة سفينة في البحر. ويعد الاتجاه الموجب للحركة هو اتجاه الجنوب.

a. ما السرعة المتوسطة للسفينة؟

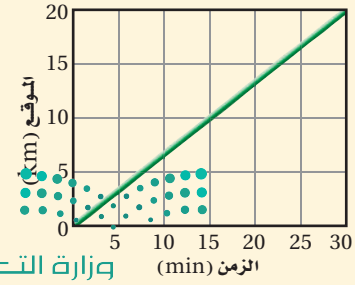
b. ما السرعة المتجهة المتوسطة للسفينة؟



الشكل 22-2

26. صف بالكلمات حركة السفينة في المسألة السابقة.

27. يمثل الرسم البياني في **الشكل 23-2** حركة دراجة هوائية. احسب كلًّا من السرعة المتوسطة والسرعة المتجهة المتوسطة للدراجة، ثم صف حركتها بالكلمات.



الشكل 23-2

28. انطلقت دراجة بسرعة ثابتة مقدارها 0.55 m/s. ارسم نموذجًا للجسيم النقطي للحركة ومنحنى بيانيًّا للموقع -الزمن، تبين فيهما حركة الدراجة لمسافة 19.8 m.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

السرعة المتجهة اللحظية Instantaneous Velocity

لماذا أطلقنا على الكمية $\frac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t}$ السرعة المتجهة المتوسطة، ولم نسمِّها ببساطة السرعة المتجهة؟ فكّر في طريقة إنشاء المخطط التوضيحي للحركة تدرك أن هذا المخطط يبين موقع الجسم المتحرك عند بداية فترة زمنية وعند نهايتها، لكنه لا يعبر عما حدث خلال تلك الفترة. فربما بقيت السرعة ثابتة أو زادت أو نقصت، أو ربما يكون الجسم قد توقف أو غيَّر اتجاهه. إن كل ما يمكن تحديده من خلال المخطط التوضيحي للحركة هو السرعة المتجهة المتوسطة، التي يمكن حسابها بقسمة الإزاحة الكلية على الفترة الزمنية التي حدثت الإزاحة خلالها. أما السرعة المتجهة عند لحظة زمنية تؤول إلى الصفر فتسمى **السرعة المتجهة اللحظية**. وسنستخدم في هذا الكتاب مصطلح السرعة المتجهة للتعبير عن السرعة المتجهة اللحظية، وسنرمز لها بالرمز $\boldsymbol{v}$.

إذا كانت السرعة المتجهة اللحظية لجسم ما ثابتة فإنها عندئذٍ تكون مساوية لسرعته المتجهة المتوسطة. وإذا تحرك الجسم بسرعة متجهةٍ ثابتة فإننا نقول إن سرعته منتظمة، لذا تكون حركته منتظمة.

تمثيل السرعة المتجهة المتوسطة على المخططات التوضيحية للحركة Average Velocity on Motion Diagrams

كيف يمكنك تعيين السرعة المتجهة المتوسطة على المخطط التوضيحي للحركة؟ إن المخطط التوضيحي للحركة ليس رسمًا بيانيًّا دقيقًا للسرعة المتجهة المتوسطة، وإنما يمكن استخدامه في تعيين مقدار واتجاه السرعة المتجهة المتوسطة. تخيل سيارتين تسيران على طريق بسرعتين مختلفتين، وتسجّل كاميرا فيديو حركتيهما بمعدل صورة كل ثانية، وتخيل أنه في مؤخرة كل سيارة فرشاة دهان تهبط آليًّا كل ثانية؛ لترسم خطًّا على الأرض مدة نصف ثانية. من المنطقي أن ترسم السيارة الأسرع خطًّا أطول. وتشبه الخطوط التي رسمتها فرشاتا الدهان على الأرض المتجهاتِ التي نرسمها على المخطط التوضيحي للحركة لتمثيل السرعة المتجهة.

استخدام المعادلات عندما ترسم خطًّا بيانيًّا مستقيمًا تستطيع التعبير عنه بمعادلة. ومن الأفضل أحيانًا استخدام مثل هذه المعادلة بدلاً من الرسم البياني لحل المسائل. تفحص مرة أخرى الرسم البياني في **الشكل 21–2** الذي يمثل جسمًا يتحرك بسرعة متجهة $(-5.0\ \text{m/s})$. ولعلك درست سابقًا أن أي خط مستقيم يمكن تمثيله بالصيغة الرياضية $y = mx + b$؛ حيث y هي الكمية التي نُعيّنها على المحور الرأسي، و m هي ميل الخط المستقيم، و x هي الكمية التي نُعيّنها على المحور الأفقي، و b هي نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور الرأسي.

تجربة

متجهات السرعة اللحظية

1. اربط أحد طرفي خيط طوله 1 m بكتلة ذات خطاف.
2. أمسك بيدك الطرف الآخر للخيط بحيث تتدلى الكتلة في الهواء.
3. استخدم يدك الأخرى لتسحب الكتلة بحذر إلى أحد الجانبين، ثم اتركها.
4. **لاحظ** الحركة والسرعة واتجاه حركة الكتلة لعدة اهتزازات.
5. أوقف الكتلة عن الاهتزاز.
6. ارسم شكلًا توضيحيًّا تبين فيه متجهات السرعة اللحظية عند النقاط الآتية: قمة الاهتزازة، ونقطة المنتصف بين القمة والقاع، وقاع الاهتزازة، ونقطة المنتصف بين القاع والقمة، والقمة مرة أخرى.

التحليل والاستنتاج

7. أين كانت السرعة المتجهة أكبر ما يمكن؟
8. أين كانت السرعة المتجهة أقل ما يمكن؟
9. **وضح** كيف يمكن قياس السرعة المتوسطة باستخدام المتجهات؟

في الرسم البياني الموضح في **الشكل 21–2** تكون الكمية المُعيّنة على المحور الرأسي هي الموقع، وتُمثَّل بالمتغير $\boldsymbol{d}$. والكمية المُعينة على المحور الأفقي هي الزمن، وتُمثَّل بالمتغير t.

أما ميل الخط المستقيم ($-5.0\ \text{m/s}$) فيمثل السرعة المتجهة المتوسطة للجسم $\overline{\boldsymbol{v}}$، ونقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الرأسي هي $20.0\ \text{m}$. ترى ما الذي يمثله المقدار $20.0\ \text{m}$؟ مِن تفحص الرسم البياني والتفكير في كيفية تحرك الجسم تستنتج أن الجسم كان في موقع يبعُد $20.0\ \text{m}$ عن نقطة الأصل عندما $t = 0.0$، ويُعرف هذا بالموقع الابتدائي للجسم، ويرمز له بالرمز $\boldsymbol{d}_i$.

ويبين **الجدول 2–2** مقارنة بين المتغيرات العامة لمعادلة الخط المستقيم والمتغيرات الخاصة بالحركة، كما يبيّن القيم العددية لكل من الثابتين في هذه المعادلة. وبالاعتماد على المعلومات المبينة في الجدول، فإن المعادلة $y = mx + b$ أصبحت $\boldsymbol{d} = \overline{\boldsymbol{v}}t + \boldsymbol{d}_i$، وبتعويض قيم الثوابت تصبح:

$$\boldsymbol{d} = (-5.0\ \text{m/s})\, t + 20.0\ \text{m}$$

تصف هذه المعادلة الحركة المنتظمة الممثلة بالشكل **بالشكل 21–2**. ويمكنك أن تختبر هذه المعادلة بإعطاء قيمة لـ t في المعادلة وحساب $\boldsymbol{d}$. ويجب أن تحصل على القيمة نفسها لـ $\boldsymbol{d}$ عندما تعوض القيمة السابقة لـ t في الرسم البياني. ولإجراء اختبار إضافي للتأكد من أن المعادلة ذات معنى تفحّص الوحدات في كل من طرفيها للتأكد من تطابقهما. يمثل الجانب الأيسر في هذه المعادلة الموقع، ووحدته هي m، أما وحدة الجزء الأول من المعادلة في الجانب الأيمن فهي حاصل ضرب $\frac{\text{m}}{\text{s}} \times \text{s}$ أو meters، ووحدة الجزء الثاني من المعادلة في الطرف الأيمن هي m، وبهذا تكون الوحدات في طرفي المعادلة متطابقة.

الجدول 2–2

مقارنة الخطوط المستقيمة مع منحنيات الموقع-الزمن

المتغير العام	المتغير المعين للحركة	القيمة في الشكل 2-21
y	$\boldsymbol{d}$	
m	$\overline{\boldsymbol{v}}$	$-5.0\ \text{m/s}$
x	t	
b	$\boldsymbol{d}_i$	$20.0\ \text{m}$

معادلة الحركة المنتظمة بدلالة السرعة المتجهة المتوسطة $\boldsymbol{d} = \overline{\boldsymbol{v}}t + \boldsymbol{d}_i$

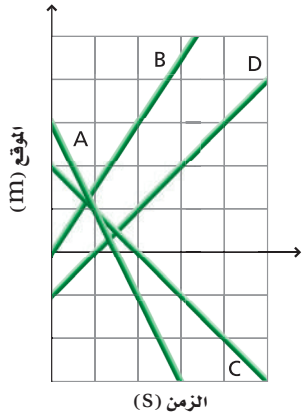
موقع الجسم المتحرك بسرعة منتظمة يساوي حاصل ضرب السرعة المتجهة المتوسطة في الزمن مضافًا إليه قيمة الموقع الابتدائي للجسم.

تستطيع الآن تمثيل الحركة باستخدام الكلمات والمخططات التوضيحية للحركة والصور وجداول البيانات ومنحنيات الموقع–الزمن، وكذلك باستخدام معادلة الحركة المنتظمة.

2–4 مراجعة

استخدم الشكل 24–2 في حل المسائل 31–29.

29. السرعة المتوسطة رتب منحنيات (الموقع-الزمن) وفق السرعة المتوسطة للجسم، من الأكبر إلى الأصغر، وأشر إلى الروابط إن وجدت.



الشكل 24–2

30. السرعة المتجهة المتوسطة رتِّب المنحنيات وفق السرعة المتجهة المتوسطة من السرعة الأكبر إلى السرعة الأقل.

31. الموقع الابتدائي رتِّب الخطوط البيانية بحسب الموقع الابتدائي للجسم (بدءًا بأكبر قيمة موجبة وانتهاء بأكبر قيمة سالبة). هل سيكون ترتيبك مختلفًا إذا طلب إليك أن ترتبها بحسب المسافة الابتدائية للجسم من نقطة الأصل؟

32. السرعة المتوسطة والسرعة المتجهة المتوسطة وضّح العلاقة بين السرعة المتوسطة والسرعة المتجهة المتوسطة.

33. التفكير الناقد ما أهمية عمل نماذج مصورة ونماذج فيزيائية للحركة قبل بدء حل معادلة ما؟

مختبر الفيزياء

عمل رسوم توضيحية للحركة

ستعمل في هذا النشاط مخططات توضيحية لحركة سيارتين لعبة. يتكون المخطط التوضيحي للحركة من مجموعة من الصور المتعاقبة التي تظهر مواقع جسم متحرك في فترات زمنية متساوية. وتساعدنا المخططات التوضيحية على وصف حركة الجسم؛ فمن خلال تفحص هذه المخططات يمكنك أن تقرر ما إذا كانت سرعة الجسم تتزايد أو تتناقص أو تظل ثابتة.

سؤال التجربة

كيف يختلف المخطط التوضيحي لحركة سيارة سريعة عن المخطط التوضيحي لحركة سيارة بطيئة؟

الأهداف

- **تقيس** مواقع الجسم المتحرك باستخدام النظام الدولي للوحدات (SI).
- **تدرك** العلاقات المكانية بين الأجسام المتحركة.
- **تصف** حركة جسم سريع وآخر بطيء.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

كاميرا فيديو

سيارتان لعبة تعملان بانضغاط النابض

مسطرة مترية

لوح كرتوني

الخطوات

1. ارسم خطًّا للبداية على طاولة المختبر أو على أي سطح يقترحه المعلم.
2. ضع كلتا السيارتين عند خط البداية، وأطلقهما في الوقت نفسه (تأكد من انضغاط نابضيهما قبل الانطلاق).
3. راقب حركة السيارتين، وحدد أيهما أسرع.
4. ضع السيارة الأبطأ عند خط البداية.
5. ثبّت مسطرة مترية بموازاة المسار الذي ستسير فيه السيارة.
6. اختر واحدًا من أعضاء مجموعتك لتشغيل كاميرا الفيديو.
7. أطلق السيارة البطيئة من خط البداية (تأكد من ضغط نابض السيارة قبل إطلاقها).
8. استعمل كاميرا الفيديو لتسجيل حركة السيارة البطيئة بموازاة المسطرة المترية.
9. هَيئ مسجل الفيديو لعرض المشهد لقطةً بعد أخرى، ثم أعد تشغيل شريط الفيديو كل 0.5 s مع ضغط زر الإيقاف كل 0.1 s (ثلاث لقطات).
10. حدد موقع السيارة في كل فترة زمنية بقراءة قياس المسطرة المترية على شريط الفيديو، ودوِّن ذلك في جدول البيانات.
11. كرّر الخطوات 10–5 باستخدام السيارة الأسرع.
12. ضع اللوح الكرتوني، بحيث يشكل مستوًى مائلًا بزاوية 30° تقريبًا على الأفقي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

جدول البيانات 1	
الزمن (s)	موقع السيارة الأبطأ (cm)
0.0	
0.1	
0.2	
0.3	
0.4	
0.5	

جدول البيانات 2	
الزمن (s)	موقع السيارة الأسرع (cm)
0.0	
0.1	
0.2	
0.3	
0.4	
0.5	

جدول البيانات 3	
الزمن (s)	موقع السيارة الأبطأ على المستوى المائل (cm)
0.0	
0.1	
0.2	
0.3	
0.4	
0.5	

13. ضع المسطرة المترية على المستوى المائل بحيث تكون موازية للمسار الذي ستتحرك عليه السيارة.
14. ضع السيارة البطيئة عند قمة المستوى المائل، وكرّر الخطوات 10-6.

التحليل

1. ارسم نموذج الجسيم النقطي لحركة السيارة البطيئة مستخدمًا البيانات التي جمعتها.
2. ارسم نموذج الجسيم النقطي لحركة السيارة السريعة مستخدمًا البيانات التي جمعتها.
3. استخدم البيانات التي حصلت عليها لرسم نموذج الجسيم النقطي لحركة السيارة البطيئة في أثناء نزولها المستوى المائل.
3. ارسم نموذج الجسيم النقطي لحركة سيارة تبدأ متحركة بسرعة كبيرة ثم تتباطأ تدريجيًّا.
4. ماذا يحدث للمسافة بين النقاط في نموذج الجسيم النقطي في السؤال السابق عندما تتباطأ السيارة؟
5. ارسم نموذج الجسيم النقطي لحركة سيارة تسير في البداية ببطء، ثم تتسارع.
6. ماذا يحدث للمسافة بين النقاط في نموذج الجسيم النقطي للحركة في السؤال السابق عندما تتسارع السيارة؟

الاستنتاج والتطبيق

كيف يختلف نموذج الجسيم النقطي لحركة السيارة السريعة عنه لحركة السيارة البطيئة؟

الفيزياء في الحياة

افترض أن سيارة تتوقف بشكل مفاجئ لتتجنب حادثًا. إذا كان للسيارة فرامل تضغط وتفصل بشكل آلي في كل جزء من الثانية، فكيف ستبدو آثار العجلات على الطريق؟ أرفق بإجابتك رسمًا توضيحيًّا يبين كيف تبدو آثار العجلات نتيجة الضغط على الفرامل.

التوسع في البحث

1. ارسم نموذج الجسيم النقطي لحركة سيارة تتحرك بسرعة ثابتة.
2. ما العلاقة بين المسافات الفاصلة بين النقاط في نموذج الجسيم النقطي لحركة سيارة تتحرك بسرعة ثابتة؟

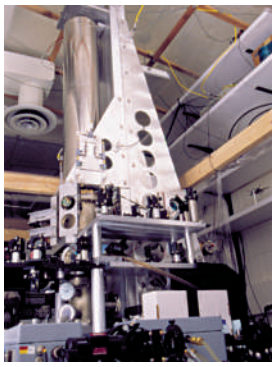
وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الدقة في قياس الزمن
Accurate Time

افترض أن ساعة الحائط في صفك كانت تشير إلى 9:00، في الوقت الذي تشير فيه ساعتك إلى 8:55، بينما تشير ساعة زميلك إلى 9:05. ترى أي الساعات الثلاث أدق في تحديد الوقت؟ إن الدقة في تحديد الوقت أمر ضروري في حياتنا اليومية؛ فالجرس المدرسي الذي يقرع كل صباح وفي نهاية كل حصة دراسية يتم التحكم فيه اعتمادًا على الساعة. لذا إذا أردت أن تكون في الصف في الوقت المحدد فلا بد أن تضبط ساعتك مع الساعة المرتبطة بهذا الجرس. إن عمليات السفر عبر الفضاء والنقل والاتصالات والملاحة بأنظمة GPS تعتمد على ساعات ذات دقة متناهية، ومن هنا تأتي الحاجة إلى ساعات معيارية موثوقة مثل ساعة السيزيوم المعيارية.

ساعة السيزيوم المعيارية هي إحدى الساعات الذرية التي تلبي هذه الحاجة؛ فهي تعمل على قياس عدد الذبذبات؛ أي عدد المرات التي تغير فيها الذرة المستخدمة في الساعة مستوى طاقتها. وتحدث هذه الذبذبات لطاقة الذرة بسرعة كبيرة وبانتظام، لذا فهي تستخدم لتعيين الثانية المعيارية 1 s التي تساوي الزمن الذي تستغرقه 9192631770 ذبذبة.

إن مستوى الطاقة الخارجي لذرة السيزيوم يحتوي على إلكترون واحد يدور مغزليًّا، ويسلك سلوك مغناطيس متناهٍ في الصغر. وكذلك الحال لنواتها؛ حيث يدور كل من الإلكترون والنواة معًا، بحيث تصطف كل من الأقطاب المتشابهة لهما مرة، والأقطاب المختلفة مرة أخرى. فإذا اصطفت الأقطاب المتشابهة تكون ذرة السيزيوم في مستوى طاقة واحد، بينما إذا اصطفت الأقطاب المختلفة تكون الذرة في مستوى طاقة آخر.



تعدّ ساعة السيزيوم NIST-F1 الموجودة في مختبرات NIST في بولدر في كولورادو من أدق الساعات في العالم.

كيف تعمل ساعة السيزيوم؟ تتركب ساعة السيزيوم من ذرات السيزيوم، وجهاز للذبذبات مصنوع من كريستال الكوارتز، يولّد موجات ميكروية، وعندما يتساوى تردد الموجات الميكروية للجهاز مع التردد الطبيعي لذرات السيزيوم فإن عددًا كبيرًا من ذرات السيزيوم تغير من مستويات طاقتها. وبما أن التردد الطبيعي للسيزيوم 9192631770 ذبذبة فهذا يعني أن هناك 9192631770 تغيرًا بين مستويات طاقة ذرات السيزيوم في كل ثانية. ومن هنا تأتي دقة قياس الوقت بهذه الساعة.

التوسع

1. **ابحث** ما العمليات التي تحتاج إلى القياس الدقيق للوقت؟
2. **حلل** واستنتج لماذا يعدّ القياس البالغ الدقة للوقت أساسًا في الملاحة الفضائية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 2

دليل مراجعة الفصل

2–1 تصوير الحركة Picturing Motion

المفردات

- المخطط التوضيحي للحركة
- نموذج الجسيم النقطي

المفاهيم الرئيسة

- يبين المخطط التوضيحي للحركة موقع جسم خلال أزمنة متعاقبة.
- يستخدم في نموذج الجسيم النقطي مجموعة من النقاط المفردة المتتالية بدلًا من الجسم في المخطط التوضيحي للحركة.

2–2 الموقع والزمن Position and Time

المفردات

- النظام الإحداثي
- نقطة الأصل
- الموقع
- المسافة
- الكميات المتجهة
- الكميات العددية
- المحصلة
- الفترة الزمنية
- الإزاحة

المفاهيم الرئيسة

- النظام الإحداثي نظام يستخدم لوصف الحركة، بحيث يحدد لك موقع نقطة الأصل للمتغير الذي تدرسه، والاتجاه الذي تتزايد فيه قيم المتغير.
- نقطة الأصل هي النقطة التي تكون عندها قيمة كل من المتغيرين صفرًا.
- الموقع هو المسافة الفاصلة بين الجسم ونقطة الأصل، ويمكن أن تكون موجبة أو سالبة.
- المسافة كمية عددية تصف بُعد الجسم عن نقطة الأصل.
- الكميات المتجهة كميات فيزيائية لها مقدار واتجاه وفقًا لنقطة الإسناد.
- الكميات العددية كميات فيزيائية لها مقدار فقط.
- المحصلة متجه ناتج عن جمع متجهين أو أكثر، وهو يشير دائمًا من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الآخر.
- الفترة الزمنية هي فرق بين زمنين. $\Delta t = t_f - t_i$
- الإزاحة كمية فيزيائية متجهة تمثل مقدار تغير موقع الجسم في اتجاه معين. $\Delta \boldsymbol{d} = \boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i$

2–3 منحنى (الموقع–الزمن) Position–Time Graph

المفردات

- منحنى (الموقع–الزمن)
- الموقع اللحظي

المفاهيم الرئيسة

- تستخدم منحنيات الموقع–الزمن لإيجاد السرعة المتجهة وموقع الجسم، ومعرفة أين ومتى يتقابل جسمان.
- الموقع اللحظي هو موقع الجسم عند لحظة زمنية تؤول إلى الصفر.

2–4 السرعة المتجهة Velocity

المفردات

- السرعة المتجهة المتوسطة
- السرعة المتوسطة
- السرعة المتجهة اللحظية

المفاهيم الرئيسة

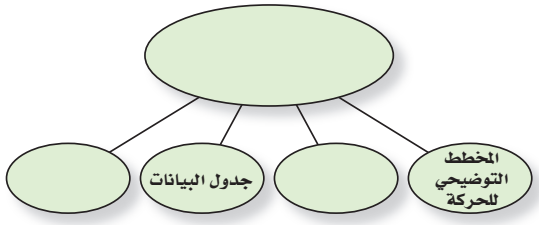
- ميل الخط البياني لمنحنى (الموقع–الزمن) لجسم هو السرعة المتجهة المتوسطة لحركة الجسم. وهي تعبِّر عن مقدار السرعة التي يتحرك بها الجسم واتجاهها. $\overline{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t} = \frac{\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i}{t_f - t_i}$
- السرعة المتوسطة هي القيمة المطلقة للسرعة المتجهة المتوسطة.
- رمز الموقع الابتدائي للجسم $\boldsymbol{d}_i$، وسرعته المتجهة المتوسطة الثابتة $\overline{\boldsymbol{v}}$، وإزاحته $\boldsymbol{d}$، والزمن t، وترتبط معًا بالمعادلة: $\boldsymbol{d} = \overline{\boldsymbol{v}}t + \boldsymbol{d}_i$
- السرعة المتجهة اللحظية هي مقدار سرعة الجسم واتجاه حركته عند لحظة زمنية تؤول إلى الصفر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 2
التقويم

خريطة المفاهيم

34. أكمل خريطة المفاهيم أدناه بما يناسبها من مصطلحات.



إتقان المفاهيم

35. ما الهدف من رسم المخطط التوضيحي للحركة؟ (2-1)

36. متى يمكن معاملة الجسم كجسيم نقطي؟ (2-1)

37. وضّح الفرق بين: الموقع والمسافة والإزاحة. (2-2)

38. كيف يمكنك استخدام ساعة حائط لتعيين فترة زمنية؟ (2-2)

39. **خط التزلج** وضح كيف يمكنك أن تستخدم منحنى (الموقع-الزمن) لمتزلجين على مسار التزلج؛ لتحديد ما إذا كان أحدهما سيتجاوز الآخر، ومتى؟ (2-3)

40. **المشي والركض** إذا غادر منزلكم شخصان في الوقت نفسه؛ أحدهما يعدو والآخر يمشي، وتحركا في الاتجاه نفسه بسرعتين متجهتين منتظمين، فصف منحنى (الموقع-الزمن) لكل منهما. (2-4)

41. ماذا يمثل ميل الخط البياني لمنحنى (الموقع-الزمن)؟ (2-4)

42. إذا علمت موقع جسم متحرك عند نقطتين في مسار حركته، وكذلك الزمن الذي استغرقه الجسم للوصول من النقطة الأولى إلى الأخرى، فهل يمكنك تعيين سرعته المتجهة اللحظية، وسرعته المتجهة المتوسطة؟ فسر ذلك. (2-4)

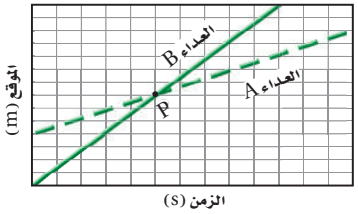
تطبيق المفاهيم

43. يمثل **الشكل 25-2** رسمًا بيانيًّا لحركة عدّاءين.

a. صف موقع العدّاء A بالنسبة للعدّاء B بحسب التقاطع مع المحور الرأسي.

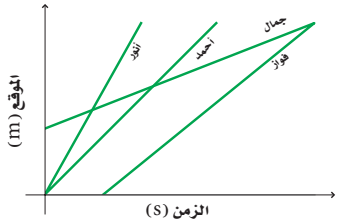
b. أي العدّاءين أسرع؟

c. ماذا يحدث عند النقطة P وما بَعدها؟



الشكل 25-2

44. يبين منحنى (الموقع-الزمن) في **الشكل 26-2** حركة أربعة من الطلاب في طريق عودتهم من المدرسة. رتِّب الطلاب بحسب السرعة المتجهة المتوسطة لكل منهم من الأبطأ إلى الأسرع.

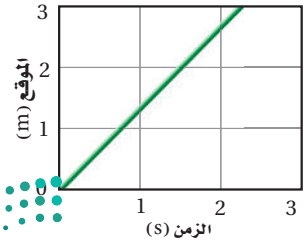


الشكل 26-2

45. يمثل **الشكل 27-2** منحنى (الموقع-الزمن) لأرنب يهرب من كلب. صف كيف يختلف هذا الرسم البياني إذا:

a. ركض الأرنب بضعف سرعته.

b. ركض الأرنب في الاتجاه المعاكس.



الشكل 27-2

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تقويم الفصل 2

إتقان حل المسائل

46. تحركت دراجة هوائية بسرعة ثابتة مقدارها 4.0 m/s مدة 5.0 s. ما المسافة التي قطعتها خلال هذه المدة؟

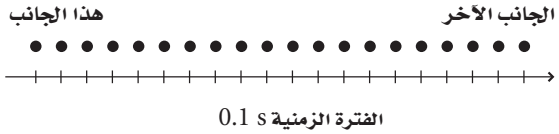
47. **علم الفلك** يصل الضوء من الشمس إلى الأرض في 8.3 min. إذا كانت سرعة الضوء 3.00×10^8 m/s فما بُعد الأرض عن الشمس؟

48. تتحرك سيارة في شارع بسرعة 55 km/h، وفجأة ركض أمامها طفل ليعبر الشارع. إذا استغرق سائق السيارة 0.75 s ليستجيب ويضغط على الفرامل فما المسافة التي تحركتها السيارة قبل أن تبدأ في التباطؤ؟

49. **قيادة السيارة** إذا قادت والدتك سيارتها بسرعة 90.0 km/h، بينما قادت صديقتها سيارتها بسرعة 95 km/h، فسبقت والدتك في الوصول إلى نهاية الرحلة. فما الزمن الذي ستنتظره صديقة والدتك في نهاية الرحلة التي يبلغ طولها 50 km؟

مراجعة عامة

50. يبين **الشكل 28–2** نموذج الجسيم النقطي لحركة ولد يعبر طريقًا بشكل عرضي. ارسم منحنى (الموقع–الزمن) المكافئ للنموذج، واكتب المعادلة التي تصف حركة الولد، علمًا بأن الفترة الزمنية هي 0.1 s.



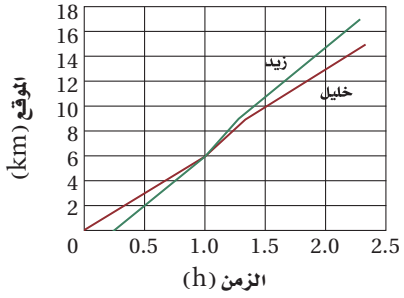
الشكل 28–2

51. يبين **الشكل 29–2** منحنى (الموقع–الزمن) لحركة كل من زيد وخليل وهما يجدفان في قاربين عبر نهر.

a. عند أي زمن كان زيد وخليل في المكان نفسه؟

b. ما الزمن الذي يستغرقه زيد في التجديف قبل أن يتجاوز خليلًا؟

c. في أي موقع من النهر يوجد تيار سريع؟



الشكل 29–2

52. غادرت السيارتان A و B المدرسة عندما كانت قراءة ساعة الإيقاف صفرًا، وكانت السيارة A تتحرك بسرعة منتظمة 75 km/h، والسيارة B تتحرك بسرعة منتظمة 100 km/h.

a. ارسم منحنى (الموقع–الزمن) لحركة كل من السيارتين، ووضح بُعد كل منهما عن المدرسة عندما تشير ساعة الإيقاف إلى 2.0 h. حدد ذلك على رسمك البياني.

b. إذا مرت كلتا السيارتين بمحطة وقود تبعد 150 km عن المدرسة، فمتى مرَّت كل منهما بالمحطة؟ حدد ذلك على الرسم.

53. ارسم منحنى (الموقع–الزمن) لسيارتين A و B تسيران نحو شاطئ يبعد 50 km عن المدرسة. تحركت السيارة A عند الساعة 12:00 pm بسرعة 40 km/h من متجر يبعد 40 km عن الشاطئ، بينما تحركت السيارة B من المدرسة عند الساعة 12:30 pm بسرعة 100 km/h. متى تصل كل من السيارتين A و B إلى الشاطئ؟

54. يبين **الشكل 30–2** منحنى (الموقع–الزمن) لحركة علي ذهابًا وإيابًا في ممر. افترض أن نقطة الأصل عند أحد طرفي الممر.

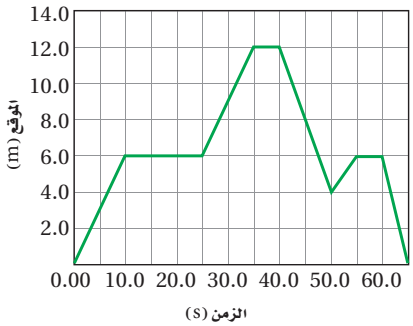
a. اكتب فقرة تصف حركة علي في الممر، بحيث تتطابق مع الحركة الممثلة في الرسم البياني الآتي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تقويم الفصل 2

b. متى كان موقع علي على بُعد 6.0 m؟

c. ما الزمن بين لحظة دخول علي في الممر ووصوله إلى موقع يبعد 12.0 m عن نقطة الأصل؟ وما السرعة المتجهة المتوسطة لعلي خلال الفترة الزمنية (37 s – 46 s)؟



الشكل 2–30

التفكير الناقد

55. **تصميم تجربة** تنطلق دراجة نارية أمام منزل يعتقد أصحابه أنها تتجاوز حدود السرعة المسموح بها وهي 40 km/h. صف تجربة بسيطة يمكنك إجراؤها لتقرر ما إذا كانت هذه الدراجة تتجاوز السرعة المحددة فعلًا عندما تمر أمام المنزل.

56. **تفسير الرسوم البيانية** هل يمكن أن يكون المنحنى البياني لـ(الموقع – الزمن) لجسم خطًّا أفقيًّا؟ وهل يمكن أن يكون خطًّا رأسيًّا؟ إذا كانت إجابتك "نعم" فصف بالكلمات هذه الحركة.

57. وقف طلاب شعبة الفيزياء في صف واحد، وكانت المسافة بين كل طالبين 25 m، واستخدموا ساعات إيقاف لقياس الزمن الذي تمر عنده سيارة تتحرك على طريق رئيس أمام كل منهم. وتم تدوين البيانات في **الجدول 3–2**.

ارسم منحنى (الموقع–الزمن) مستخدمًا البيانات الواردة في الجدول، ثم أوجد ميل الخط البياني في المنحنى، واستنتج سرعة السيارة.

الجدول 3–2

الموقع-الزمن	
الزمن (s)	الموقع (m)
0.0	0.0
1.3	25.0
2.7	50.0
3.6	75.0
5.1	100.0
5.9	125.0
7.0	150.0
8.6	175.0
10.3	200.0

الكتابة في الفيزياء

58. حدد علماء الفيزياء سرعة الضوء $3.00\times10^{8}\ m/s$. كيف توصلوا إلى هذا؟ اقرأ حول سلسلة التجارب التي أجريت لتعيين سرعة الضوء، ثم صف كيف تطورت التقنيات التجريبية لتجعل نتائج التجارب أكثر دقة.

مراجعة تراكمية

59. حوِّل كلًّا من قياسات الزمن الآتية إلى ما يعادلها بالثواني:

a. 58 ns **c.** 9270 ms

b. 0.046 Gs **d.** 12.3 ks

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أي العبارات الآتية تعبر بشكل صحيح عن النموذج الجسيمي النقطي لحركة طائرة تقلع من مطار؟

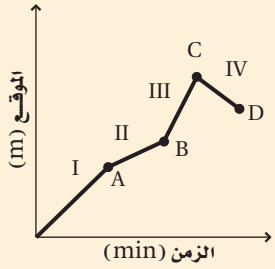
(A) تكوِّنُ النقاط نمطًا وتفصل بينها مسافات متساوية.

(B) تكُون النقاط متباعدة في البداية، ثم تتقارب مع تسارع الطائرة.

(C) تكُون النقاط متقاربة في البداية، ثم تتباعد مع تسارع الطائرة.

(D) تكُون النقاط متقاربة في البداية، ثم تتباعد ثم تتقارب مرة أخرى عندما تستوي الطائرة وتتحرك بالسرعة العادية للطيران.

يبين الرسم البياني حركة شخص يركب دراجة هوائية. استخدم هذا الرسم للإجابة عن الأسئلة 4–2.



2. متى بلغت السرعة المتجهة للدراجة أقصى قيمة لها؟

(A) في الفترة I (C) عند النقطة C

(B) في الفترة III (D) عند النقطة B

3. ما الموقع الذي تكون عنده الدراجة أبعد ما يمكن عن نقطة البداية؟

(A) النقطة A (C) النقطة C

(B) النقطة B (D) النقطة D

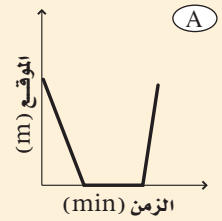
4. في أي فترة زمنية قطع راكب الدراجة أكبر مسافة؟

(A) الفترة I (C) الفترة III

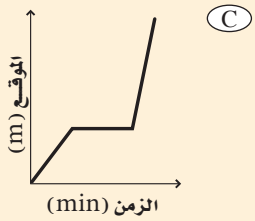
(B) الفترة II (D) الفترة IV

5. نزل سنجاب من فوق شجرة ارتفاعها 8 m بسرعة منتظمة خلال 1.5 min، وانتظر عند أسفل الشجرة مدة 2.3 min، ثم تحرك مرة أخرى في اتجاه حبة بندق على الأرض مدة 0.7 min. فجأة صدر صوت مرتفع سبَّب فرار السنجاب بسرعة إلى أعلى الشجرة، فبلغ الموقع نفسه الذي انطلق منه خلال 0.1 min. أي الرسوم البيانية الآتية يمثل بدقة الإزاحة الرأسية للسنجاب مقيسة من قاعدة الشجرة؟ (نقطة الأصل تقع عند قاعدة الشجرة).

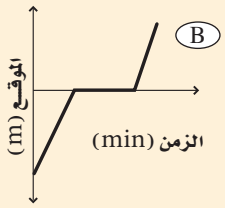
(A)



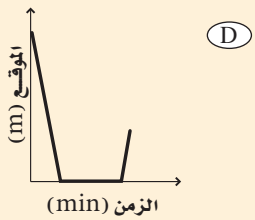
(C)



(B)



(D)



الأسئلة الممتدة

6. احسب الإزاحة الكلية لمتسابق في متاهة، إذا سلك داخلها المسار الآتي:

البداية، 1.0 m شمالاً، 0.3 m شرقًا، 0.8 m جنوبًا، 0.4 m شرقًا، النهاية.

✓ إرشاد

الأدوات اللازمة

أحضر جميع الأدوات اللازمة للامتحان: أقلام رصاص، أقلام حبر زرقاء وسوداء، ممحاة، طامس للتصحيح، مبراة، مسطرة، آلة حاسبة، منقلة.

الفصل 3

الحركة المتسارعة
Accelerated Motion

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الحركة المتسارعة.
- استخدام الرسوم البيانية والمعادلات لحل مسائل تتضمن أجسامًا متحركة.
- وصف حركة الأجسام في حالة السقوط الحر.

الأهمية

لا تتحرك الأجسام دائمًا بسرعات منتظمة. ويساعدك فهم الحركة المتسارعة على وصف حركة العديد من الأجسام بشكل أفضل. التسارع العديد من وسائل النقل-ومنها السيارات والطائرات وقطارات الأنفاق وكذلك المصاعد وغيرها- تبدأ رحلاتها عادةً بزيادة سرعتها بمعدل كبير، وتنهيها بالوقوف بأسرع ما يمكن.

فكِّر

يقف سائق سيارة السباق متحفزًا عند خط البداية منتظرًا الضوء الأخضر الذي يعلن بدء السباق. وعندما يضيء ينطلق السائق بأقصى سرعة. كيف يتغير موقع السيارة في أثناء تزايد سرعتها؟

تجربة استهلالية

هل تبدو جميع أنواع الحركة بالشكل نفسه عند تمثيلها بيانيًّا؟

سؤال التجربة كيف تقارن الرسم البياني لحركة سيارة ذات سرعة منتظمة بالرسم البياني لحركة سيارة تتزايد سرعتها؟

الخطوات

1. أحضر سيارتين لعبة تعملان بنابض، وضع لوحًا خشبيًّا مناسبًا فوق سطح الطاولة لتمثيل مسار لحركة السيارتين.
2. ثبت المؤقت ذا الشريط الورقي على أحد طرفي اللوح.
3. قص قطعة من شريط المؤقت طولها 50 cm وأدخلها في المؤقت، ثم ألصق الطرف الآخر بالسيارة رقم 1، حيث يستخدم الشريط الورقي أداةً لرسم مخطط الجسيم النقطي.
4. دوِّن رقم السيارة على الشريط، وشغِّل المؤقت، وأطلق السيارة.
5. ارفع الطرف الثاني للوح الخشبي بمقدار 8–10 cm، بوضع مكعبات خشبية أسفل طرفه.
6. كرّر الخطوات 5–3 مستخدمًا السيارة رقم 2، بوضع السيارة ملاصقة للمؤقت وإطلاقها بعد تشغيله. أمسك السيارة قبل سقوطها عن حافة اللوح الخشبي.
7. **سجل البيانات ونظمها** حدد ثاني نقطة داكنة (سوداء) على شريط المؤقت على أنها الصفر. قِس المسافة بين نقطة الصفر وكلٍّ من النقاط الأخرى لعشر فترات زمنية، ثم دوِّن القراءات.
8. **أنشئ الرسوم البيانيّة واستخدمها** مثِّل بيانيًّا المسافة الكلية مع رقم الفترة الزمنية. عيِّن القراءات لكلتا السيارتين على الرسم نفسه. دوّن رقم السيارة على الرسم البياني الذي يمثلها.

التحليل

أي السيارتين تحركت بسرعة منتظمة، وأيهما ازدادت سرعتها؟ وضح كيف توصلت إلى ذلك من خلال فحصك لشريط المؤقت؟

التفكير الناقد صف شكل كل من الرسمين البيانيين. ما علاقة شكل الخط البياني بنوع الحركة التي شوهدت؟

3–1 التسارع (العجلة) Acceleration

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

الحركة المنتظمة من أبسط أنواع الحركة. وكما درست في الفصل الثاني فإن الجسم الذي يتحرك حركة منتظمة يسير بسرعة ثابتة في خط مستقيم. ولعلك تدرك من خبراتك اليومية أن عددًا قليلاً من الأجسام يتحرك بهذه الطريقة طوال الوقت.

في هذا الفصل ستزيد معلوماتك في هذا المجال، بتعرُّف نوع من الحركة أكثر تعقيدًا. وستدرس حالات تتغير خلالها سرعة الجسم، بينما يبقى مساره مستقيمًا. وستدرس كذلك أمثلة تتضمن سيارات تتزايد سرعتها، واستخدام سائقي السيارات للفرامل، والأجسام الساقطة، والأجسام المقذوفة رأسيًّا إلى أعلى.

الأهداف

- **تعرف** التسارع (العجلة).
- **تربط** السرعة المتجهة والتسارع مع حركة الجسم.
- **تمثل** بيانيًّا العلاقة بين السرعة المتجهة والزمن.

المفردات

منحنى (السرعة المتجهة – الزمن)
التسارع
التسارع المتوسط
التسارع اللحظي

تغير السرعة المتجهة Changing Velocity

تستطيع أن تشعر بالفرق بين الحركة المنتظمة والحركة غير المنتظمة؛ فالحركة المنتظمة تمتاز بسلاستها؛ فإذا أغمضت عينيك لم تشعر بالحركة. وعلى النقيض من ذلك، عندما تتحرك على مسار منحنٍ أو صعودًا وهبوطًا كما هو الحال عند ركوب العجلة الدوَّارة في متنزه الألعاب تشعر بأنك تُدفع أو تُسحب.

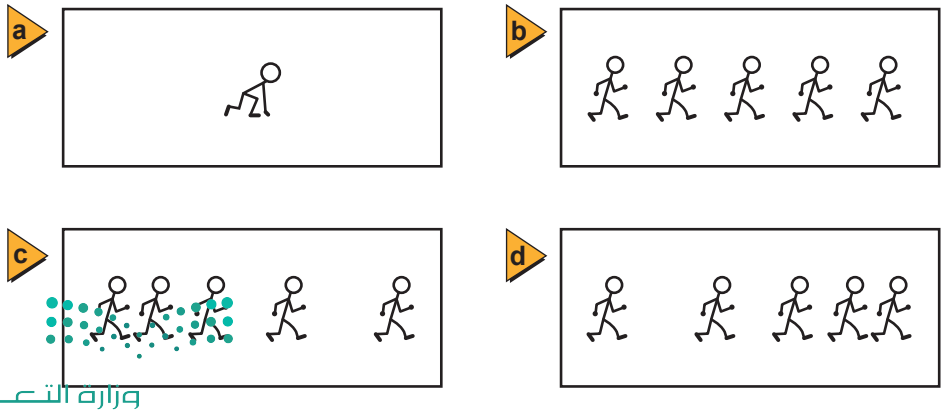
تأمل المخططات التوضيحية للحركة المبينة في **الشكل 1–3**. كيف تصف حركة العداء في كل حالة؟ في **الشكل a** لا يتحرك العداء، أما في **الشكل b** فيتحرك بسرعة منتظمة، وفي **الشكل c** يزيد من سرعته، أما في **الشكل d** فيتباطأ. كيف استطعت استنتاج ذلك؟ ما المعلومات التي تتضمنها المخططات التوضيحية، ويمكن استخدامها للتمييز بين الحالات المختلفة للحركة؟

إن أهم ما يجب عليك ملاحظته في هذه المخططات التوضيحية هو المسافة بين المواقع المتعاقبة للعدّاء. وكما درست في الفصل الثاني أن الأجسام غير المتحركة في خلفية المخططات التوضيحية للحركة لا تغير مواقعها. ولأنه توجد صورة واحدة فقط للعدّاء في **الشكل 1a–3** فإنك تستنتج أنه لا يتحرك؛ أي أنه في حالة سكون. يُشْبه **الشكل 1b–3**، المخطط التوضيحي لحركة جسم بسرعة منتظمة في الفصل الثاني؛ لأن المسافات بين صور العدّاء في الرسم متساوية ، لذا فإن العدَّاء يتحرك بسرعة منتظمة. أما في المخططين التوضيحيين الآخرين فتتغير المسافة بين المواقع المتتالية؛ فإذا كان التغير في الموقع يزيد تدريجيًّا فهذا يعني أن العدّاء يزيد من سرعته، كما في **الشكل 1c–3**. أما إذا كان التغير في الموقع يقل، كما في **الشكل 1d–3**، فإن العدَّاء يتباطأ.

الشكل 1–3 بملاحظة المسافة التي يتحركها العداء خلال فترات زمنية متساوية يمكنك أن تحدد ما إذا كان العداء:

a. يقف ساكنًا **b.** يتحرك بسرعة منتظمة

c. يتسارع **d.** يتباطأ



تجربة

سباق الكرة الفولاذية

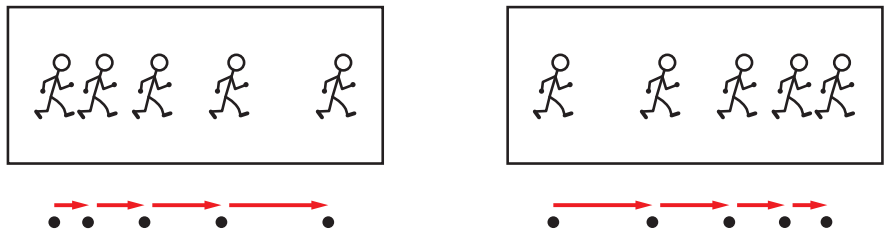
إذا أُفلتت كرتان من الفولاذ في اللحظة نفسها من قمة منحدر، فهل تتقاربان أو تتباعدان أو تبقيان متجاورتين في أثناء تدحرجهما؟

1. اعمل مستوى مائلاً باستخدام أنبوب طويل فيه مجرى على شكل حرف U، أو استعمل مسطرتين متريتين ملتصقتين معًا.
2. حدّد علامة على بُعد 40 cm من قمة المستوى المائل، وعلامة أخرى على بُعد 80 cm من القمة أيضًا.
3. توقّع ما إذا كانت الكرتان ستتقاربان أو تتباعدان أو تبقى المسافة بينهما ثابتة في أثناء تدحرجهما إلى أسفل المستوى المائل.
4. أفلت الكرة الأولى من قمة المستوى المائل، وفي الوقت نفسه أفلت الأخرى من العلامة التي تبعد 40 cm عن القمة.
5. أعد التجربة، بحيث تفلت إحدى الكرتين من قمة المستوى المائل، وعندما تصل إلى العلامة 40 cm أفلت الأخرى من القمة أيضًا.

التحليل والاستنتاج

6. اشرح مشاهداتك مستخدمًا مصطلحات السرعة.
7. هل كان للكرتين الفولاذيتين السرعة نفسها في أثناء تدحرجهما على المستوى المائل؟ وضح ذلك.
8. هل كان لهما التسارع نفسه؟ وضح ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443



الشكل 2–3 نموذج الجسيم النقطي الذي يمثل المخطط التوضيحي لحركة العداء يوضح التغير في سرعته من خلال التغير في المسافات الفاصلة بين نقاط الموقع؛ وكذلك من خلال التغير في أطوال متجهات السرعة.

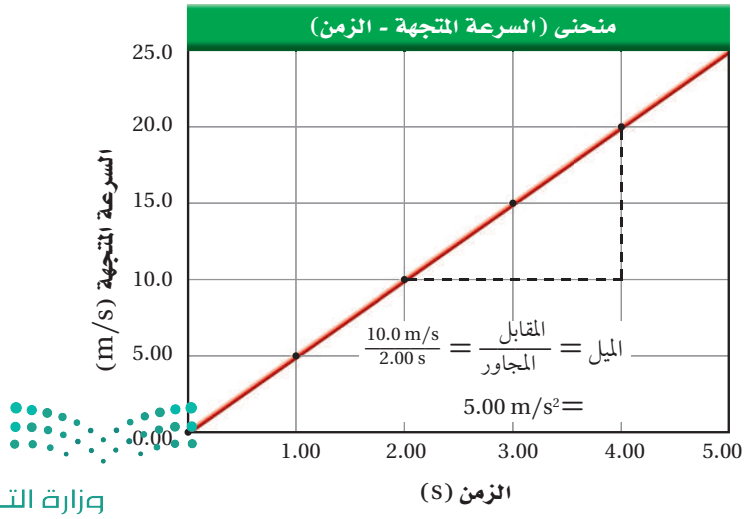
كيف يبدو المخطط التوضيحي للحركة باستخدام نموذج الجسيم النقطي لجسم تتغير سرعته؟ يبين **الشكل 2–3** المخططات التوضيحية للحركة باستخدام النموذج الجسيمي النقطي أسفل المخططات التوضيحية لتمثيل حالة العدَّاء عندما تزداد سرعته، وعندما تتباطأ سرعته. هناك مؤشران رئيسان يعبِّران عن التغير في السرعة في هذا النمط من المخططات التوضيحية للحركة، هما: التغير في أطوال المسافات بين النقاط، والفرق بين أطوال متجهات السرعة. فإذا كان الجسم يزيد من سرعته فإن متجه السرعة التالي يكون أطول من متجه السرعة السابق. أما إذا كان يُبطئ من سرعته فيكون المتجه التالي أقصر. إن كلا النوعين من التمثيلات المتكافئة يعطي تصورًا عن كيفية تغير سرعة جسم ما.

منحنى السرعة المتجهة-الزمن Velocity-Time Graph

من المفيد أن نمثل بيانيًّا العلاقة بين السرعة والزمن فيما يسمى **منحنى (السرعة المتجهة–الزمن)**. ويوضح **الجدول 1–3** بيانات حركة سيارة تنطلق من السكون، وتتزايد سرعتها في أثناء سيرها على طريق مستقيم.

كما يبين **الشكل 3–3** الرسم البياني للسرعة المتجهة–الزمن؛ حيث تم اختيار الاتجاه الموجب في اتجاه حركة السيارة. لاحظ أن الرسم البياني عبارة عن خط مستقيم، وهذا يعني أن سرعة السيارة تتزايد بمعدل منتظم. ويمكن إيجاد المعدل الذي تتغير فيه سرعة السيارة بحساب ميل الخط المستقيم في منحنى (السرعة المتجهة–الزمن).

الشكل 3–3 يمثل ميل الخط البياني لمنحنى (السرعة المتجهة–الزمن) تسارع الجسم.



الجدول 1–3

السرعة المتجهة - الزمن

الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.00	0.00
1.00	5.00
2.00	10.0
3.00	15.0
4.00	20.0
5.00	25.0

يتضح من الرسم البياني أن الميل يساوي $\left(\frac{10.0\ m/s}{2.00\ s}\right)$، أو $5.00\ m/s^2$، وهذا يعني أنه في كل ثانية تزداد سرعة السيارة بمقدار $5.00\ m/s$. عند دراسة زوجين من البيانات التي تفصل بينها 1 s، مثلًا 4.00 s و 5.00 s، تجد أنه عند اللحظة 4.00 s كانت السيارة تتحرك بسرعة 20.0 m/s، وعند اللحظة 5.00 s كانت السيارة تتحرك بسرعة 25.0 m/s، وبذلك ازدادت سرعة السيارة بمقدار 5.0 m/s خلال فترة زمنية مقدارها 1.00 s. ويعرف المعدل الزمني لتغير السرعة المتجهة لجسم **بتسارع الجسم (عجلة الجسم)**، ويرمز له بالرمز a. وعندما تتغير سرعة جسم بمعدل ثابت يكون له تسارع ثابت.

التسارع المتوسط والتسارع اللحظي
Average and Instantaneous Acceleration

التسارع المتوسط لجسم هو التغير في السرعة المتجهة لجسم خلال فترة زمنية، مقسومًا على هذه الفترة الزمنية، ويقاس التسارع المتوسط بوحدة m/s^2. أما التغير في السرعة المتجهة خلال فترة زمنية صغيرة جدًّا فيسمى **التسارع اللحظي**. ويمكن إيجاد التسارع اللحظي لجسم برسم خط مماسّي لمنحنى (السرعة المتجهة–الزمن) عند اللحظة الزمنية المُراد حساب التسارع عندها، وميل هذا الخط يساوي التسارع اللحظي.

دلالة اللون
- متجهات التسارع باللون البنفسجي.
- متجهات السرعة باللون الأحمر.
- متجهات الإزاحة باللون الأخضر.

التسارع في نماذج الجسيم النقطي
Acceleration on a Particle - Model

لكي يعطي مخطط الحركة صورة كاملة عن حركة جسم يجب أن يحتوي على معلومات تمثل التسارع. ويمكن أن يتم ذلك من خلال احتوائه على متجهات التسارع المتوسط التي تبين كيف تتغير السرعة المتجهة. لتحديد طول واتجاه متجه التسارع المتوسط اطرح متجهي سرعة متتاليين (Δv)، ثم اقسم على الفترة الزمنية (Δt). وكما هو مبين في **الشكلين a،b 4–3** فإن:

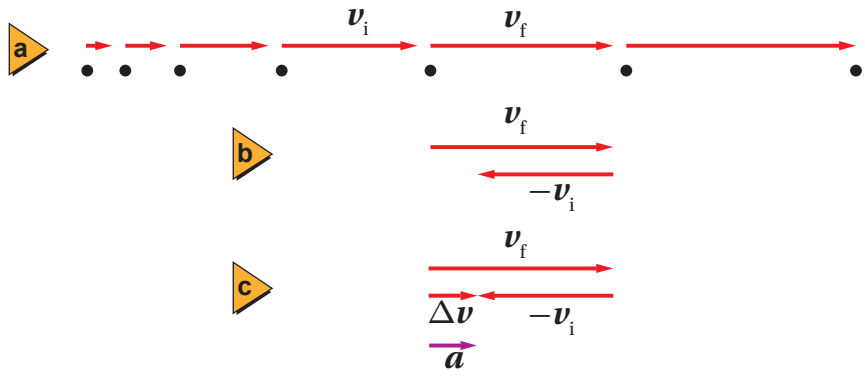
$$\Delta v = v_f - v_i = v_f + (-v_i)$$

وبالقسمة على Δt نحصل على:

$$\bar{a} = \frac{(v_f - v_i)}{\Delta t}$$

في **الشكلين a،b 4–3** تكون الفترة الزمنية (Δt) مساوية 1 s، لذلك يكون التسارع المتوسط

$$\bar{a} = \frac{(v_f - v_i)}{1\ s}$$

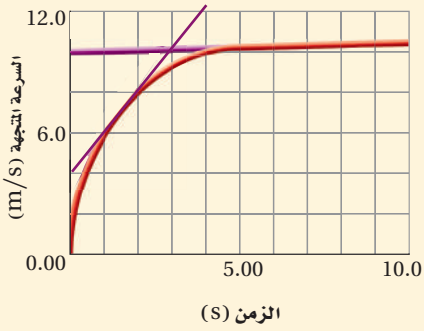


الشكل 4–3 يحسب متجه التسارع المتوسط خلال فترة زمنية محددة بإيجاد الفرق بين متجهي السرعة المتتاليين في تلك الفترة.

إن المتجه الذي يظهر باللون البنفسجي في **الشكل 4c–3** هو التسارع المتوسط خلال تلك الفترة الزمنية. أما السرعتان المتجهتان v_i و v_f فتشيران إلى السرعة عند بداية فترة زمنية محددة، وعند نهايتها.

مثـــال 1

السرعة المتجهة والتسارع كيف تصف سرعة العدَّاء المتجهة وتسارعه من خلال منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) المبين في الشكل المجاور؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- تفحص الرسم البياني تلاحظ أن سرعة العداء المتجهة بدأت من الصفر، وتزايدت بسرعة خلال الثواني الأولى، وعندما بلغت حوالي 10.0 m/s بقيت ثابتة تقريبًا.

المعلوم	المجهول
$v =$ متغير	$a = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

ارسم مماسًّا للمنحنى عند الزمن $t = 1.5\ s$، ثم ارسم مماسًّا آخر عند الزمن $t = 5.0\ s$.

أوجد التسارع a عند 1.5 s.

$$\text{الميل} = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$$

ميل الخط عند 1.5 s يساوي التسارع

دليل الرياضيات

الميل 227

$$a = \frac{10.0\ m/s - 4.0\ m/s}{3.0\ s - 0.00\ s}$$
$$= 2.0\ m/s^2$$

أوجد التسارع عند 5.0 s

ميل الخط عند 5.0 s يساوي التسارع

$$a = \frac{10.3\ m/s - 10.0\ m/s}{10.0\ s - 0.00\ s}$$
$$= 0.030\ m/s^2$$

التسارع غير ثابت؛ لأنه يتغير من $2.0\ m/s^2$ في اللحظة 1.5 s، إلى $0.030\ m/s^2$ في اللحظة 5.0 s، وذلك في الاتجاه الموجب؛ لأن القيمتين موجبتان.

3 تقويم الجواب

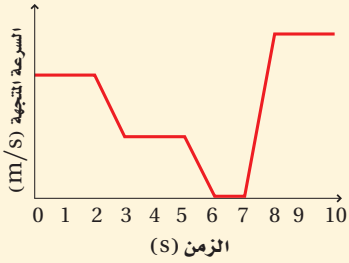
- **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التسارع بوحدة m/s^2.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

مسائل تدريبية

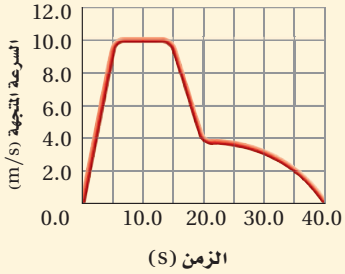
1. ركضت قطة داخل منزل، ثم أبطأت من سرعتها بشكل مفاجئ، وانزلقت على الأرضية الخشبية حتى توقفت. لو افترضنا أنها تباطأت بتسارع ثابت فارسم نموذج الجسيم النقطي للحركة يوضح هذا الموقف، واستخدم متجهات السرعة لإيجاد متجه التسارع.

2. يبين **الشكل 5-3** منحنى (السرعة المتجهة -الزمن) لجزء من رحلة أحمد بسيارته على الطريق. ارسم نموذج الجسيم النقطي للحركة الممثلة في الرسم البياني، وأكمله برسم متجهات السرعة.



الشكل 5-3

3. استعن **بالشكل 6-3** الذي يوضح منحنى (السرعة المتجهة - الزمن) لقطار لعبة؛ لتجيب عن الأسئلة الآتية:
   a. متى كان القطار يتحرك بسرعة منتظمة؟
   b. خلال أي فترات زمنية كان تسارع القطار موجبًا؟
   c. متى اكتسب القطار أكبر تسارع سالب؟



الشكل 6-3

4. استعن **بالشكل 6-3** لإيجاد التسارع المتوسط للقطار خلال الفترات الزمنية الآتية:
   a. من 0.0 s إلى 5.0 s
   b. من 15.0 s إلى 20.0 s
   c. من 0.0 s إلى 40.0 s

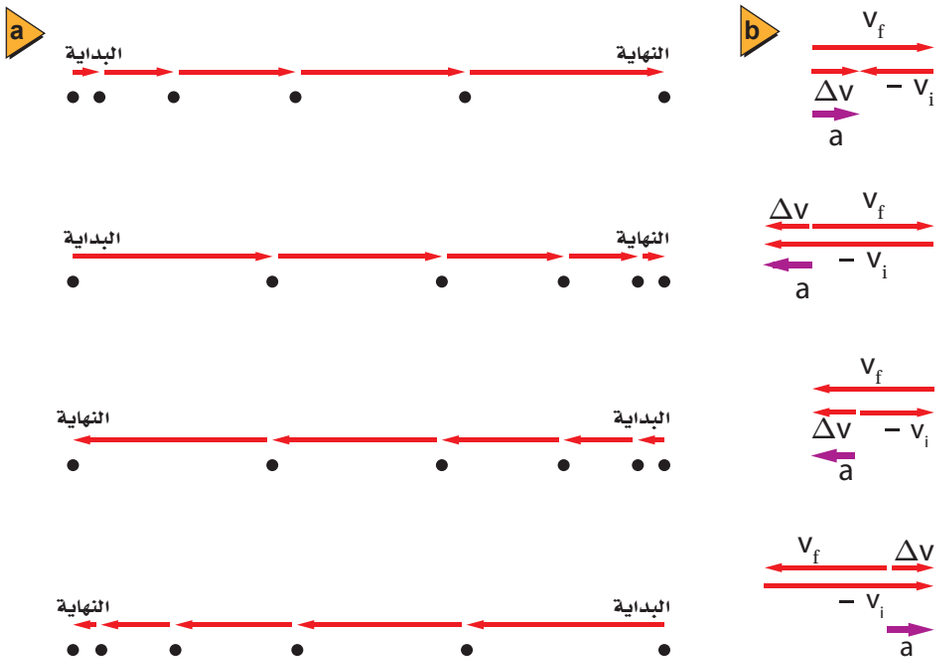
5. ارسم منحنى (السرعة المتجهة- الزمن) لحركة مصعد يبدأ من السكون عند الطابق الأرضي في بناية من ثلاثة طوابق، ثم يتسارع إلى أعلى مدة 2.0 s بمقدار $0.5\ m/s^2$. ويستمر في الصعود بسرعة منتظمة $1.0\ m/s$ مدة 12.0 s، وبعدئذ يتأثر بتسارع ثابت إلى أسفل مقداره $0.25\ m/s^2$ مدة 4.0 s حتى يصل إلى الطابق الثالث.

التسارع الموجب والتسارع السالب
Positive and Negative Acceleration

تأمل الحالات الأربع الموضحة في **الشكل 7a–3**؛ حيث يبين نموذج الجسيم النقطي الأول حركة جسم تزداد سرعته في الاتجاه الموجب، ويبين النموذج الثاني حركة جسم تتناقص سرعته في الاتجاه الموجب، يوضح **الشكل 7c–3** هذه الحالتين، ويبين النموذج الثالث حركة جسم تتزايد سرعته في الاتجاه السالب، بينما يبين النموذج الرابع حركة جسم تتناقص سرعته ويتحرك في الاتجاه السالب. ويبين **الشكل 7b–3** متجهات السرعة خلال الفترة الزمنية الثانية في كل نموذج للحركة، وبجانبها متجهات التسارع المتوافقة معها. لاحظ أن الفترة الزمنية Δt تساوي 1 s.

في الوضعين الأول والثالث عندما تزيد سرعة الجسم يكون لكل من متجهات السرعة والتسارع الاتجاه نفسه، كما في **الشكل 7b–3**. أما في الوضعين الآخرين عندما يكون متجه التسارع في الاتجاه المعاكس لمتجه السرعة فإن الجسم يتباطأ. وبمعنى آخر، عندما يكون تسارع الجسم وسرعته المتجهة في الاتجاه نفسه فإن سرعة الجسم تزداد. وعندما يكونان في اتجاهين متعاكسين تتناقص السرعة. ولكي تحدد ما إذا كان الجسم سيتسارع أو يتباطأ تحتاج إلى معرفة كل من اتجاه سرعة الجسم واتجاه تسارعه.

ويكون للجسم تسارع موجب عندما يكون اتجاه متجه التسارع في الاتجاه الموجب للحركة، ويكون للجسم تسارع سالب عندما يكون اتجاه متجه التسارع في الاتجاه السالب للحركة عند وجود تزايد في السرعة. لذا فإن إشارة التسارع لا تحدد ما إذا كان الجسم متسارعًا أم متباطئًا.



الشكل 7–3

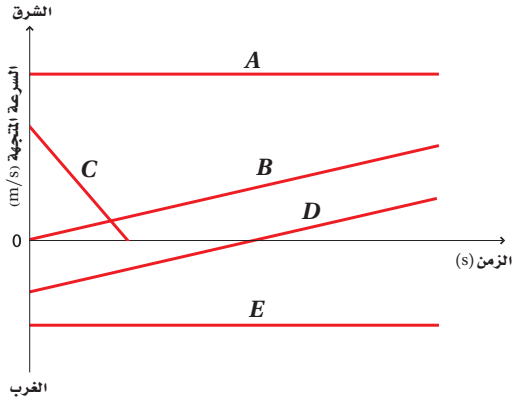
a. تمثل نماذج الجسيم النقطي أربع طرائق محتملة للحركة في مسار مستقيم بتسارع ثابت.

b. عندما تشير متجهات السرعة ومتجهات التسارع إلى الاتجاه نفسه تزداد سرعة الجسم. أما عندما تشير إلى اتجاهات متعاكسة فإن الجسم تتناقص سرعته.

c. تمثيل بمخططات الحركة التوضيحية والمنحنيات للحالتين الأولى والثانية.

حساب التسارع من منحنى السرعة المتجهة - الزمن
Determining Acceleration from a v–t Graph

إن منحنيات السرعة المتجهة- الزمن الممثلة لحركة خمسة عدائين (A,B,C,D,E) في **الشكل 8–3** تشتمل على معلومات عن سرعة وتسارع كل عدّاء، وقد اُختِير الاتجاه الموجب في اتجاه الشرق. وبملاحظة التغير في سرعة كل عدّاء، والمُمَثّلَة بخط مستقيم ستجد أن سرعتي العدَّاءين A وE ثابتتان في أثناء الحركة، مما يعني أن معدل التغير في السرعة يساوي صفرًا. هذا يعني أن تسارع كل منهما يساوي صفرًا. بينما سرعة كل من العدَّاءين B وD تتزايد بانتظام، أي أنهما يتحركان بتسارع؛ حيث إن السرعة والتسارع موجبان؛ أي أنهما في الاتجاه نفسه، بخلاف حركة العداء C الذي تلاحظ أن سرعته تتناقص بانتظام؛ أي أنه يتحرك بتسارع أيضًا؛ إلا أن اتجاهي التسارع والسرعة متعاكسان.



الشكل 8–3 الرسمان البيانيان A وE يبينان الحركة بسرعة متجهة ثابتة في اتجاهين متعاكسين، والرسم B يبين سرعةً متجهةً موجبةً وتسارعًا موجبًا. والرسم C يبين سرعةً متجهةً موجبةً وتسارعًا سالبًا. والرسم D يبين حركة بتسارع موجب ثابت، بحيث يقلّل السرعة المتجهة عندما تكون سالبةً، ويزيدها عندما تكون موجبةً.

حساب التسارع كيف يمكنك أن تحسب التسارع رياضيًّا؟ المعادلة الآتية تعبّر عن التسارع المتوسط باعتباره ميل الخط البياني لمنحنى (السرعة المتجهة–الزمن)، ويرمز له بالرمز $\bar{a}$.

التسارع المتوسط

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

التسارع المتوسط يساوي التغير في السرعة المتجهة مقسومًا على الزمن الذي حدث خلاله هذا التغير.

افترض أنك جريت بأقصى سرعة ذهابًا وإيابًا عبر صالة رياضية، حيث بدأتَ الجري في اتجاه الجدار بسرعة $4.0\ m/s$، وبعد مرور $10.0\ s$ كنت تجري بسرعة $4.0\ m/s$ مبتعدًا عن الجدار. ما تسارعك المتوسط إذا كان الاتجاه الموجب نحو الجدار؟

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

$$= \frac{(-4.0\ m/s) - (4.0\ m/s)}{10.0\ s} = \frac{-8.0\ m/s}{10.0\ s} = -0.80\ m/s^2$$

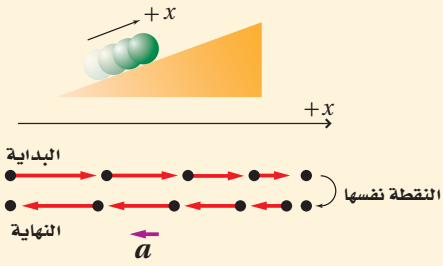
تشير الإشارة السالبة إلى أن اتجاه التسارع في عكس الاتجاه الذي يقربنا إلى الجدار. فبما أن السرعة المتجهة تتضمن اتجاه الحركة، فإنها تتغير عندما يتغير اتجاه الحركة. والتغير في السرعة المتجهة يسبب التسارع. لذا فإن التسارع أيضًا مرتبط بالتغير في اتجاه الحركة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

مثـــال 2

التسارع صف حركة كرة تتدحرج صاعدة مستوى مائلاً بسرعة ابتدائية 2.50 m /s وتتباطأ لمدة 5.00 s، ثم تقف لحظة، ثم تتدحرج هابطة المستوى المائل. فإذا تم اختيار الاتجاه الموجب في اتجاه المستوى المائل إلى أعلى ونقطة الأصل عند نقطة بدء الحركة، فما مقدار واتجاه تسارع الكرة عندما تتدحرج صاعدة المستوى المائل؟

1 تحليل المسألة ورسمها

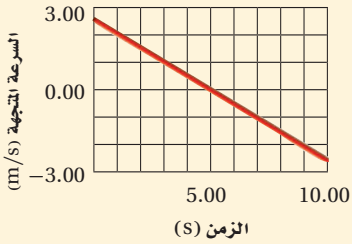


- ارسم مخططا توضيحيًا للحركة ونموذجا للجسيم النقطي.
- ارسم نظاما إحداثيًّا اعتماداً على نموذج الجسيم النقطي.

المعلوم	المجهول
$v_i = +2.5\ m/s$	$a = ?$
$t = 5.00\ s$ عندما $v_f = 0.00\ m/s$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد مقدار التسارع من ميل الخط البياني.



عوض لإيجاد التغير في السرعة والزمن المستغرق لحدوث هذا التغير.

بالتعويض $v_f = 0.00\ m/s$، $v_i = 2.50\ m/s$

$$\Delta v = v_f - v_i$$
$$= 0.00\ m/s - 2.50\ m/s$$
$$= -2.50\ m/s$$

بالتعويض $t_f = 5.00\ s$، $t_i = 0.00\ s$

$$\Delta t = t_f - t_i$$
$$= 5.00\ s - 0.00\ s$$
$$= 5.00\ s$$

أوجد قيمة التسارع

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 216، 217

بالتعويض $\Delta t = 5.00\ s$، $\Delta v = -2.50\ m/s$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$
$$= \frac{-2.5\ m/s}{5.00\ s}$$
$$= -0.500\ m/s^2$$

أو $0.500\ m/s^2$ في اتجاه أسفل المستوى المائل.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التسارع بوحدة m/s^2.
- **هل للاتجاهات معنى؟** خلال الثواني الخمس الأولى (0.00 s–5.00 s) كان اتجاه التسارع في عكس اتجاه السرعة المتجهة، والكرة تتباطأ.

مسائل تدريبية

6. سيارة سباق تزداد سرعتها من 4.0 m/s إلى 36 m/s خلال فترة زمنية مقدارها 4.0 s. أوجد تسارعها المتوسط.
7. إذا تباطأت سرعة سيارة سباق من 36 m/s إلى 15 m/s خلال 3.0 s فما تسارعها المتوسط؟
8. تتحرك سيارة إلى الخلف على منحدر بفعل الجاذبية الأرضية. استطاع السائق تشغيل المحرك عندما كانت سرعتها 3.0 m/s. وبعد مرور 2.50 s من لحظة تشغيل المحرك كانت السيارة تتحرك صاعدة المنحدر بسرعة 4.5 m/s. إذا اعتبرنا اتجاه المنحدر إلى أعلى هو الاتجاه الموجب فما التسارع المتوسط للسيارة؟
9. تسير حافلة بسرعة 25 m/s، ضغط السائق على الفرامل فتوقفت بعد 3.0 s.
   a. ما التسارع المتوسط للحافلة في أثناء الضغط على الفرامل؟
   b. كيف يتغير التسارع المتوسط للحافلة إذا استغرقت ضعف الفترة الزمنية السابقة للتوقف؟
10. كان خالد يعدو بسرعة 3.5 m/s نحو موقف حافلة لمدة 2.0 min، وفجأة نظر إلى ساعته فلاحظ أن لديه متسعًا من الوقت قبل وصول الحافلة، فأبطأ سرعة عدْوه خلال الثواني العشر التالية إلى 0.75 m/s. ما تسارعه المتوسط خلال هذه الثواني العشر؟
11. إذا تباطأ معدل الانجراف القاري على نحو مفاجئ من 1.0 cm/yr إلى 0.5 cm/yr خلال فترة زمنية مقدارها سنة، فكم يكون التسارع المتوسط للانجراف القاري؟

تتشابه السرعة المتجهة والتسارع في أن كليهما عبارة عن معدل تغير؛ فالتسارع هو المعدل الزمني لتغير السرعة المتجهة، والسرعة المتجهة هي المعدل الزمني لتغير الإزاحة. ولكل من السرعة المتجهة والتسارع قيم متوسطة وقيم لحظية. وستتعلم لاحقًا في هذا الفصل أن المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) تساوي إزاحة الجسم، وأن المساحة تحت منحنى (التسارع–الزمن) تساوي سرعة الجسم.

3–1 مراجعة

12. **منحنى (السرعة المتجهة-الزمن)** ما المعلومات التي يمكن استخلاصها من منحنى (السرعة المتجهة–الزمن)؟

13. **منحنيات الموقع-الزمن والسرعة المتجهة-الزمن** عدّاءان أحدهما على بُعد 15 m إلى الشرق من نقطة الأصل، والآخر على بُعد 15 m غربها، وذلك عند الزمن $t = 0$. إذا ركض هذان العدّاءان بسرعة منتظمة مقدارها 7.5 m/s في اتجاه الشرق فأجب عما يأتي:
   a. ما الفرق بين الخطين البيانيين الممثلين لحركتي العدّاءين في منحنى (الموقع–الزمن)؟
   b. ما الفرق بين الخطين البيانيين الممثلين لحركتي العدّاءين في منحنى (السرعة المتجهة –الزمن)؟

14. **السرعة المتجهة** وضح كيف يمكنك استخدام منحنى (السرعة المتجهة– الزمن)، لتحديد الزمن الذي يتحرك عنده الجسم بسرعة معينة.

15. **منحنى (السرعة المتجهة-الزمن)** مثّل بيانيًّا منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لحركة سيارة تسير في اتجاه الشرق بسرعة 25 m/s مدة 100 s، ثم في اتجاه الغرب بسرعة 25 m/s مدة 100 s أخرى.

16. **السرعة المتجهة المتوسطة والتسارع المتوسط** يتحرك قارب بسرعة 2 m/s في عكس اتجاه جريان نهر، ثم يدور حول نفسه وينطلق في اتجاه جريان النهر بسرعة 4.0 m/s. إذا كان الزمن الذي استغرقه القارب في الدوران 8.0 s :
   a. فما السرعة المتجهة المتوسطة للقارب؟
   b. وما التسارع المتوسط للقارب؟

17. **التفكير الناقد** ضبط رجل مرور سائقًا يسير بسرعة تزيد 32 km/h على حد السرعة المسموح به لحظة تجاوزه سيارة أخرى تنطلق بسرعة أقل. سجل رجل المرور على كلا السائقين إشعار مخالفة لتجاوز السرعة. وقد أصدر القاضي حكمًا على كلا السائقين. وتم اتخاذ الحكم استنادًا إلى فرضيةٍ تقول إن كلتا السيارتين كانتا تسيران بالسرعة نفسها؛ لأنه تم ملاحظتهما عندما كانت الأولى بجانب الثانية. هل كان كل من القاضي ورجل المرور على صواب؟ وضح ذلك باستخدام مخطط توضيحي للحركة، ورسم منحنى (الموقع–الزمن).

3–2 الحركة بتسارع ثابت Motion with Constant Acceleration

الأهداف

- **تفسر** منحنى (الموقع–الزمن) للحركة ذات التسارع الثابت.
- **تحدد** العلاقات الرياضية التي تربط بين كل من الموقع والسرعة والتسارع والزمن.
- **تطبق** علاقات بيانية ورياضية لحل المسائل التي تتعلق بالتسارع الثابت.

رابط الدرس الرقمي

يمكن معالجة المعادلات الرياضية لكل من السرعة المتوسطة والتسارع المتوسط لإيجاد الموقع الجديد والسرعة الجديدة على الترتيب بعد فترة زمنية ما، وذلك بدلالة بقية المتغيرات.

السرعة المتجهة بدلالة التسارع المتوسط
Velocity with Average Acceleration

يمكنك استخدام التسارع المتوسط لجسم خلال فترة زمنية لتعيين مقدار التغير في سرعته المتجهة خلال هذا الزمن. ويعرف التسارع المتوسط بـ $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ويمكن إعادة كتابته بالصورة:

$$\Delta v = \bar{a}\,\Delta t$$

$$v_f - v_i = \bar{a}\,\Delta t$$

لذا فإن العلاقة بين السرعة المتجهة النهائية والتسارع المتوسط يمكن كتابتها على النحو الآتي:

السرعة المتجهة النهائية بدلالة التسارع المتوسط $v_f = v_i + \bar{a}\,\Delta t$

السرعة المتجهة النهائية تساوي السرعة المتجهة الابتدائية مضافًا إليها حاصل ضرب التسارع المتوسط في الفترة الزمنية.

في الحالات التي يكون فيها التسارع ثابتًا يكون التسارع المتوسط $\bar{a}$ مساويًا للتسارع اللحظي a. ويمكن إعادة ترتيب هذه المعادلة لإيجاد الزمن أو السرعة الابتدائية لجسم.

مسائل تدريبية

18. تتدحرج كرة جولف إلى أعلى تل في اتجاه حفرة الجولف. افترض أن الاتجاه نحو الحفرة هو الاتجاه الموجب وأجب عما يأتي:

a. إذا انطلقت كرة الجولف بسرعة 2.0 m/s، وتباطأت بمعدل ثابت $0.50\ m/s^2$ فما سرعتها بعد مضي 2.0 s؟

b. ما سرعة كرة الجولف إذا استمر التسارع الثابت مدة 6.0 s؟

c. صف حركة كرة الجولف بالكلمات، ثم باستخدام نموذج الجسيم النقطي.

19. تسير حافلة بسرعة 30.0 km/h، فإذا زادت سرعتها بمعدل ثابت مقداره $3.5\ m/s^2$ فما السرعة التي تصل إليها الحافلة بعد 6.8 s؟

20. إذا تسارعت سيارة من السكون بمقدار ثابت $5.5\ m/s^2$ فما الزمن اللازم لتصل سرعتها إلى 28 m/s؟

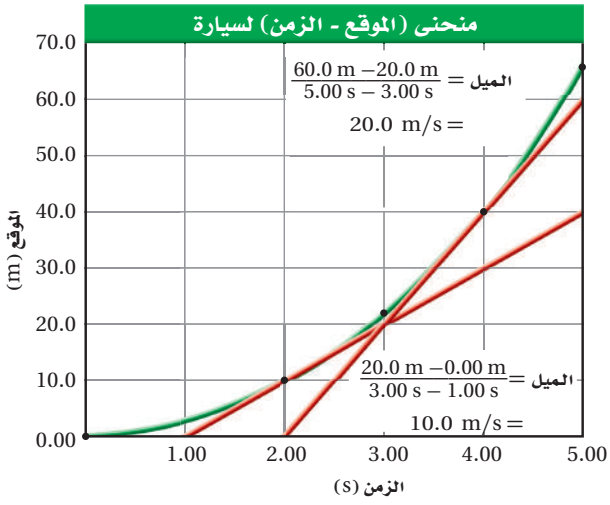
21. تتباطأ سيارة سرعتها 22 m/s بمعدل ثابت مقداره $2.1\ m/s^2$. احسب الزمن الذي تستغرقه السيارة لتصبح سرعتها 3.0 m/s.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الجدول 2–3

بيانات (الموقع-الزمن) لسيارة

الزمن (s)	الموقع (m)
0.00	0.00
1.00	2.50
2.00	10.0
3.00	22.5
4.00	40.0
5.00	65.0

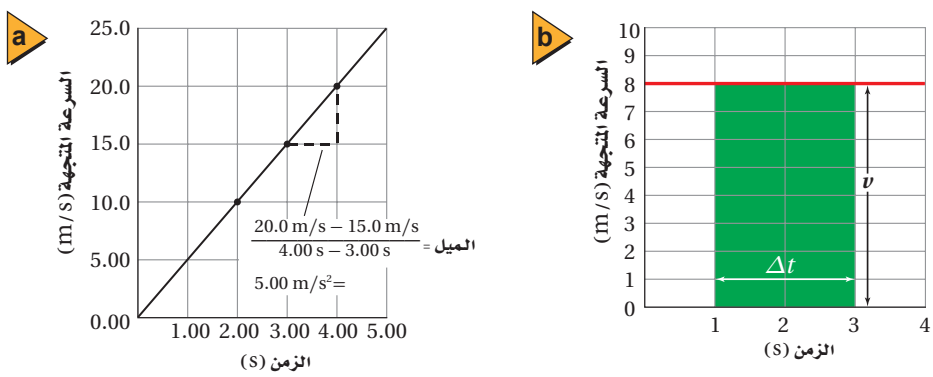


الشكل 9–3 يزداد ميل الخط البياني في منحنى (الموقع–الزمن) لسيارة تتحرك بتسارع ثابت كلما زاد زمن الحركة.

الموقع بدلالة التسارع الثابت
Position with Constant Acceleration

توصلت إلى أن الجسم الذي يتحرك بتسارع ثابت يغير سرعته المتجهة بمعدل ثابت. ولكن كيف يتغير موقع الجسم المتحرك بتسارع ثابت؟ يبين **الجدول 2–3** بيانات الموقع عند فترات زمنية مختلفة لسيارة تتحرك بتسارع ثابت، وقد مثلت بيانات **الجدول 2–3** بالرسم البياني الموضح في **الشكل 9–3**، حيث يظهر من الرسم البياني أن حركة السيارة غير منتظمة؛ فالإزاحات خلال فترات زمنية متساوية على الرسم تصبح أكبر فأكبر. لاحظ كذلك أن ميل الخط في **الشكل 9–3** يزداد كلما زاد الزمن. ويمكن استخدام ميل الخطوط من منحنى (الموقع–الزمن) لرسم منحنى (السرعة المتجهة –الزمن).

لاحظ أن ميل كل من الخطين الموضحين في **الشكل 9–3** يطابق السرعة المتجهة الممثلة بيانيًّا في **الشكل 10a–3**. لكن لا يمكنك رسم منحنى جيد للموقع–الزمن باستخدام منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) ؛لأن الأخير لا يحتوي على أي معلومات حول موقع الجسم. ومع ذلك فهو يحتوي على معلومات عن إزاحته. تذكر أن السرعة المتجهة لجسم يتحرك بسرعة منتظمة تحسب بالعلاقة: $\boldsymbol{v} = \overline{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t}$؛ أي أن $\boldsymbol{\Delta d} = \boldsymbol{v}\,\Delta t$. يوضح **الشكل 10b–3** منحنى (السرعة المتجهة– الزمن) لجسم يتحرك بسرعة منتظمة، وبدراسة الشكل تحت الخط البياني للمنحنى (المستطيل المظلل) تجد أن سرعة الجسم $\boldsymbol{v}$ تمثل طول المستطيل، بينما الفترة الزمنية



الشكل 10–3

a. يمثل ميل كل من مماسات منحنى (الموقع-الزمن) في **الشكل 9–3** قيم (السرعة المتجهة–الزمن).

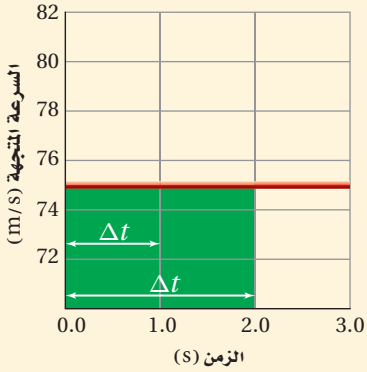
b. الإزاحة خلال فترة زمنية معينة تساوي عدديًّا المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة–الزمن).

لحركة الجسم Δt تمثل عرض المستطيل. لذا فإن مساحة المستطيل هي $\boldsymbol{v}\Delta t$ أو $\Delta \boldsymbol{d}$؛ أي أن المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) تساوي عدديًّا إزاحة الجسم.

مثـــال 3

إيجاد الإزاحة من منحنى (السرعة المتجهة - الزمن) يبين الرسم البياني أدناه منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) لحركة طائرة. أوجد إزاحة الطائرة خلال الفترة الزمنية $\Delta t = 1.0\ \text{s}$، ثم خلال الفترة الزمنية $\Delta t = 2.0\ \text{s}$.

1 تحليل المسألة ورسمها



- الإزاحة تساوي المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة -الزمن).
- تبدأ الفترة الزمنية من اللحظة $t = 0.0\ \text{s}$.

المعلوم	المجهول
$\boldsymbol{v} = +75\ \text{m/s}$ $\Delta t = 1.0\ \text{s}$ $\Delta t = 2.0\ \text{s}$	$\Delta \boldsymbol{d} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد الإزاحة خلال $1.0\ \text{s}$

بالتعويض $\boldsymbol{v} = +75\ \text{m/s}$، $\Delta t = 1.0\ \text{s}$

$$\begin{aligned}\Delta \boldsymbol{d} &= \boldsymbol{v}\Delta t \\ &= (+75\ \text{m/s})\ (1.0\ \text{s}) \\ &= +75\ \text{m}\end{aligned}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 216، 217

أوجد الإزاحة خلال $2.0\ \text{s}$

بالتعويض $\boldsymbol{v} = +75\ \text{m/s}$، $\Delta t = 2.0\ \text{s}$

$$\begin{aligned}\Delta \boldsymbol{d} &= \boldsymbol{v}\Delta t \\ &= (+75\ \text{m/s})\ (2.0\ \text{s}) \\ &= +150\ \text{m}\end{aligned}$$

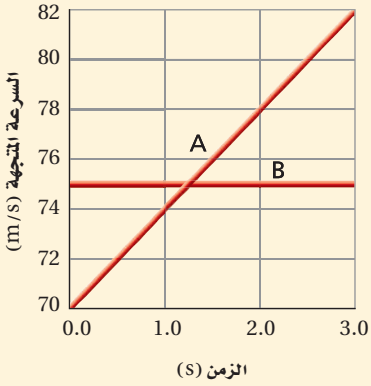
3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الإزاحة بالأمتار.
- **هل للإشارات معنى؟** تتفق الإشارات الموجبة مع الرسم البياني.
- **هل الجواب منطقي؟** قطع مسافة مساوية تقريبًا لطول ملعب كرة قدم خلال ثانيتين منطقي بالنسبة إلى سرعة الطائرة.

مسائل تدريبية

22. استخدم **الشكل 3–11** لتعيين السرعة المتجهة لطائرة تتزايد سرعتها عند كل من الأزمنة الآتية:

a. 1.0 s **b.** 2.0 s **c.** 2.5 s



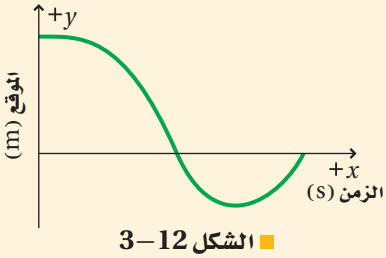
الشكل 3–11

23. تسير سيارة بسرعة منتظمة مقدارها 25 m/s لمدة 10.0 min، ثم ينفد منها الوقود، فيسير السائق على قدميه في الاتجاه نفسه بسرعة 1.5 m/s مدة 20.0 min ليصل إلى أقرب محطة وقود. وقد استغرق السائق 2.0 min لملء جالون من البنزين، ثم سار عائدًا إلى السيارة بسرعة 1.2 m/s، وأخيرًا تحرك بالسيارة إلى البيت بسرعة 25 m/s في اتجاه معاكس لاتجاه رحلته الأصلية.

a. ارسم منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) معتمدًا الثانية s وحدة للزمن.

إرشاد: *احسب المسافة التي قطعها السائق إلى محطة الوقود لإيجاد الزمن الذي استغرقه حتى يعود إلى السيارة.*

b. ارسم منحنى (الموقع–الزمن) باستخدام المساحات تحت منحنى (السرعة المتجهة –الزمن).



الشكل 3–12

24. يوضح **الشكل 3–12** منحنى (الموقع–الزمن) لحركة حصان في حقل. ارسم منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) المتوافق معه، باستخدام مقياس الزمن نفسه.

توصلت سابقًا إلى أنه يمكن إيجاد الإزاحة من منحنى (السرعة المتجهة– الزمن) لجسم يتحرك بتسارع ثابت مبتدئًا بسرعة ابتدائية v_i؛ وذلك بحساب المساحة تحت المنحنى. ففي **الشكل 3–13** تحسب الإزاحة بتقسيم المساحة تحت المنحنى إلى مستطيل ومثلث.

يمكن إيجاد مساحة المستطيل باستخدام العلاقة: $\Delta d_{\text{مستطيل}} = v_i \Delta t$

وإيجاد مساحة المثلث باستخدام العلاقة: $\Delta d_{\text{مثلث}} = \frac{1}{2} \Delta v \Delta t$

ولأن التسارع المتوسط يساوي: $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

لذا يمكن كتابة Δv في الصورة: $\Delta v = \bar{a} \Delta t$

وبالتعويض في معادلة مساحة المثلث تصبح المعادلة: $\Delta d_{\text{مثلث}} = \frac{1}{2} (\bar{a} \Delta t) \Delta t = \frac{1}{2} \bar{a} \Delta t^2$

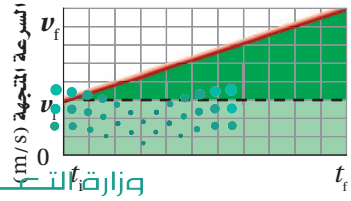
لذا فإن المساحة الكلية تحت المنحنى تساوي: $\Delta d = \Delta d_{\text{مستطيل}} + \Delta d_{\text{مثلث}}$

$$\Delta d = v_i \Delta t + \frac{1}{2} \bar{a} \Delta t^2$$

وعندما يكون الموقع الابتدائي d_i أو النهائي d_f للجسم معلومًا يمكن كتابة المعادلة في الصورة الآتية:

$$d_f - d_i = v_i \Delta t + \frac{1}{2} \bar{a} \Delta t^2$$

الشكل 3–13 يمكن إيجاد إزاحة جسم يتحرك بتسارع ثابت بحساب المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة –الزمن).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تطبيق الفيزياء

سباق رُبع الميل في سباق خاص يسمى رُبع الميل يسعى قائد سيارة السباق إلى تحقيق أكبر تسارع في مضمار السباق الذي طوله 402 m (ربع ميل). وقد سُجل أقصر زمن في هذا السباق ومقداره 4.480 s، وبلغت أكبر سرعة نهائية 147.63 m/s.

أو $\boldsymbol{d_f = d_i + v_i \Delta t + \frac{1}{2} \overline{a} \Delta t^2}$

فإذا كان الزمن الابتدائي $t_i = 0$ فإن التغير في الموقع بدلالة التسارع المتوسط يُحسب بالعلاقة الآتية:

التغير في الموقع بدلالة التسارع المتوسط $\boldsymbol{\Delta d = v_i t + \frac{1}{2} \overline{a} t^2}$

ويمكن ربط الموقع والسرعة المتجهة والتسارع الثابت في علاقة لا تتضمن الزمن، وذلك

بإعادة ترتيب المعادلة $\boldsymbol{v_f = v_i + \overline{a} t}$

لتعطي (t_f) : $\boldsymbol{t = \frac{v_f - v_i}{\overline{a}}}$

وبالتعويض عن قيمة (t) في المعادلة $\boldsymbol{\Delta d = v_i t + \frac{1}{2} \overline{a} t^2}$

تحصل على: $\boldsymbol{\Delta d = v_i \left(\frac{v_f - v_i}{\overline{a}}\right) + \frac{1}{2} \overline{a} \left(\frac{v_f - v_i}{\overline{a}}\right)^2}$

وهذه المعادلة يمكن حلها لإيجاد السرعة النهائية $\boldsymbol{v_f}$ عند أي زمن t؛ حيث إن السرعة بدلالة التسارع الثابت:

السرعة المتجهة بدلالة التسارع الثابت $\boldsymbol{v_f^2 = v_i^2 + 2 \overline{a} \Delta d}$

ويمكن تلخيص المعادلات الثلاث للحركة بتسارع ثابت كما في **الجدول 3–3**

الجدول 3–3

معادلات الحركة في حالة التسارع الثابت

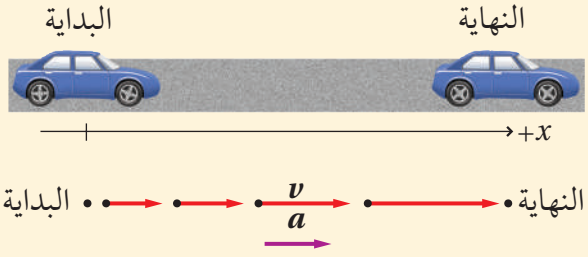
المعادلة	المتغيرات
$\boldsymbol{v_f = v_i + \overline{a} t}$	$\boldsymbol{v_i}$ ، $\boldsymbol{v_f}$ ، $\boldsymbol{\overline{a}}$ ، t
$\boldsymbol{\Delta d = v_i t + \frac{1}{2} \overline{a} t^2}$	$\boldsymbol{\Delta d}$ ، $\boldsymbol{v_i}$ ، t ، $\boldsymbol{\overline{a}}$
$\boldsymbol{v_f^2 = v_i^2 + 2 \overline{a} \Delta d}$	$\boldsymbol{\Delta d}$ ، $\boldsymbol{v_i}$ ، $\boldsymbol{v_f}$ ، $\boldsymbol{\overline{a}}$

مثـــال 4

انطلقت سيارة من السكون بتسارع ثابت مقداره $3.5\ m/s^2$. ما المسافة التي قطعتها عندما تصل سرعتهـا إلى $25\ m/s$؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثِّل المسألة بالرسم.
- عين محاور الإحداثيات.
- ارسم نموذج الجسيم النقطي للحركة.



المعلوم

$d_i = 0.00\ m$

$v_i = 0.00\ m/s$

$v_f = 25\ m/s$

$\overline{a} = a = 3.5\ m/s^2$

المجهول

$d_f = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

لإيجاد d_f نستخدم المعادلة:

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات 220، 221

$$v_f^2 = v_i^2 + 2\,a\,\Delta d$$

$$v_f^2 = v_i^2 + 2\,a\,(d_f - d_i)$$

$$d_f = d_i + \frac{v_f^2 - v_i^2}{2\,a}$$

بالتعويض $d_i = 0.00\ m$، $v_f = 25\ m/s$

$v_i = 0.00\ m/s$، $a = 3.5\ m/s^2$

$$= 0.00\ m + \frac{(25\ m/s)^2 - (0.00\ m/s)^2}{2(3.5\ m/s^2)}$$

$$= 89\ m$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الإزاحة بوحدة المتر m.
- **هل للإشارات معنى؟** الإشارة الموجبة تتفق مع كل من النموذج التصويري والنموذج الفيزيائي.
- **هل الجواب منطقي؟** تبدو الإزاحة كبيرةً، ولكن السرعة (25 m /s) كبيرة أيضًا، لذلك فالنتيجة منطقية.

تجربة عملية

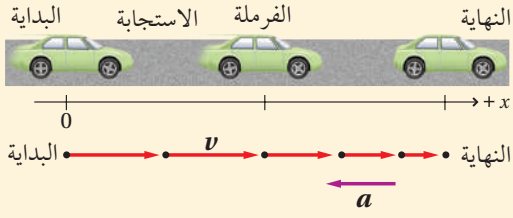
كيف تتدحرج الكرة؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين

مثـــال 5

مسافتا الاستجابة والفرملة يقود محمد سيارة بسرعة منتظمة مقدارها 25 m/s، وفجأة رأى طفلًا يركض في الشارع. فإذا كان زمن الاستجابة اللازم ليدوس الفرامل هو 0.45 s، وقد تباطأت السيارة بتسارع ثابت $8.5\ m/s^2$ حتى توقفت. ما المسافة الكلية التي قطعتها السيارة قبل أن تقف؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- مثِّل المسألة بالرسم.
- اعتبر أن اتجاه سير السيارة هو الاتجاه الموجب.
- ارسم مخططًا توضيحيًّا للحركة، وعيِّن عليه v و a.

المعلوم

$v_{i\ \text{الفرملة}} = 25\ m/s$ $\quad v_{\text{الاستجابة}} = 25\ m/s$

$v_{f\ \text{الفرملة}} = 0.00\ m/s$ $\quad t_{\text{الاستجابة}} = 0.45\ s$

$\bar{a} = a_{\text{الفرملة}} = (-8.5\ m/s^2)$

المجهول

$d_{\text{الاستجابة}} = ?$

$d_{\text{الفرملة}} = ?$

$d_{\text{الكلية}} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

الاستجابة: أوجد المسافة التي تتحركها السيارة بسرعة منتظمة.

$$d_{\text{الاستجابة}} = v_{\text{الاستجابة}}\, t_{\text{الاستجابة}}$$
$$= (25\ m/s)\ (0.45\ s) = 11\ m$$

الفرملة: أوجد المسافة التي تتحركها السيارة في أثناء عملية الفرملة حتى الوقوف.

$$v^2_{f\ \text{الفرملة}} = v^2_{\text{الاستجابة}} + 2a_{\text{الفرملة}}\,(d_{\text{الفرملة}})$$

$$d_{\text{الفرملة}} = \frac{v^2_{f\ \text{الفرملة}} - v^2_{\text{الاستجابة}}}{2a_{\text{الفرملة}}}$$
$$= \frac{(0.00\ m/s)^2 - (25\ m/s)^2}{2(-8.5\ m/s^2)}$$
$$= 37\ m$$

دليل الرياضيات
فصل المتغير 222

بالتعويض $v_{\text{الاستجابة}} = 25\ m/s$

$a_{\text{الفرملة}} = (-8.5\ m/s^2)$، $v_{f\ \text{الفرملة}} = 0.00\ m/s$

المسافة الكلية تساوي: مجموع مسافة الاستجابة ومسافة الفرملة.

أوجد المسافة الكلية ($d_{\text{الكلية}}$)

$$d_{\text{الكلية}} = d_{\text{الاستجابة}} + d_{\text{الفرملة}}$$
$$= 11\ m + 37\ m = 48\ m$$

بالتعويض $d_{\text{الفرملة}} = 37\ m$، $d_{\text{الاستجابة}} = 11\ m$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الإزاحة بوحدة المتر m.
- **هل للإشارات معنى؟** كل من $d_{\text{الاستجابة}}$ و $d_{\text{الفرملة}}$ موجبة؛ لأنها في اتجاه الحركة نفسه.
- **هل الجواب منطقي؟** مسافة الفرملة صغيرة، لكنها منطقية؛ لأن مقدار التسارع كبير.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

مسائل تدريبية

25. يتحرك متزلج بسرعة منتظمة 1.75 m/s، وعندما بدأ يصعد مستوى مائلاً تباطأت سرعته وفق تسارع ثابت $0.20\ m/s^2$. ما الزمن الذي استغرقه حتى توقف عند نهاية المستوى المائل؟

26. تسير سيارة سباق في حلبة بسرعة 44 m/s، وتتباطأ بمعدل ثابت، بحيث تصل سرعتها إلى 22 m/s خلال 11 s. ما المسافة التي قطعتها السيارة خلال هذا الزمن؟

27. تتسارع سيارة بمعدل ثابت من 15 m/s إلى 25 m/s لتقطع مسافة 125 m. ما الزمن الذي استغرقته السيارة لتصل إلى هذه السرعة؟

28. يتحرك راكب دراجة هوائية وفق تسارع ثابت ليصل إلى سرعة مقدارها 7.5 m/s خلال 4.5 s . إذا كانت إزاحة الدراجة خلال فترة التسارع تساوي 19 m، فأوجد السرعة الابتدائية.

29. يركض رجل بسرعة 4.5 m/s مدة 15.0 min، ثم يصعد تلًّا يتزايد ارتفاعه تدريجيًّا؛ حيث تتباطأ سرعته بمقدار ثابت $0.05\ m/s^2$ مدة 90.0 s حتى يتوقف. أوجد المسافة التي ركضها.

30. يتدرب خالد على ركوب الدراجة الهوائية؛ حيث يدفعه والده فيكتسب تسارعًا ثابتًا مقداره $0.50\ m/s^2$ لمدة 6.0 s، ثم يقود خالد الدراجة بمفرده بسرعة 3.0 m/s مدة 6.0 s قبل أن يسقط أرضًا. ما مقدار إزاحة خالد؟ ***إرشاد:*** *لحل هذه المسألة ارسم منحنى (السرعة المتجهة–الزمن)، ثم احسب المساحة المحصورة تحته.*

31. بدأت ركوب دراجتك الهوائية من قمة تل، ثم هبطت في اتجاه أسفل التل بتسارع ثابت $2.00\ m/s^2$ ، وعندما وصلت إلى أسفل التل كانت سرعتك قد بلغت 18.0 m/s. وواصلت استخدام دواسات الدراجة لتحافظ على هذه السرعة مدة 1.00 min. ما المسافة التي قطعتها عن قمة التل؟

32. يتدرب حسن استعدادًا للمشاركة في سباق الـ 5.0 km، فبدأ تدريباته بالركض بسرعة منتظمة مقدارها 4.3 m/s مدة 19 min، ثم تسارع بمعدل ثابت حتى اجتاز خط النهاية بعد مضي 19.4 s. ما مقدار تسارعه خلال الجزء الأخير من التدريب؟

كما تعلمت، هناك عدة وسائل يمكنك استخدامها في حل مسائل الحركة في بُعد واحد، منها: مخططات الحركة، والرسوم البيانية، والمعادلات الرياضية. وكلما اكتسبت المزيد من الخبرة سَهُل عليك أن تقرر أي هذه الوسائل أكثر ملاءمة لحل مسألة ما. وفي البند الآتي ستطبق هذه الوسائل لاستقصاء حركة الأجسام الساقطة سقوطًا حرًّا.

2–3 مراجعة

33. التسارع في أثناء قيادة رجل سيارته بسرعة 23 m/s شاهد غزالاً يقف وسط الطريق، فاستخدم الفرامل عندما كان على بُعد 210 m من الغزال. فإذا لم يتحرك الغزال، وتوقفت السيارة تمامًا قبل أن تمس جسمه، فما مقدار التسارع الذي أحدثته فرامل السيارة؟

34. الإزاحة إذا أُعطِيت السرعتين المتجهتين الابتدائية والنهائية، والتسارع الثابت لجسم، وطُلب إليك إيجاد الإزاحة، فما المعادلة التي ستستخدمها؟

35. المسافة بدأ متزلج حركته من السكون في خط مستقيم، وزادت سرعته إلى 5.0 m/s خلال 4.5 s، ثم استمر في التزلج بهذه السرعة المنتظمة مدة 4.5 s أخرى. ما المسافة الكلية التي تحركها المتزلج على مسار التزلج؟

36. السرعة النهائية تتسارع طائرة بانتظام من السكون بمقدار $5.0\ m/s^2$. ما سرعة الطائرة بعد قطعها مسافة $5.0 \times 10^2\ m$؟

37. السرعة النهائية تسارعت طائرة بانتظام من السكون بمقدار $5.0\ m/s^2$ لمدة 14 s. ما السرعة النهائية التي تكتسبها الطائرة؟

38. المسافة بدأت طائرة حركتها من السكون، وتسارعت بمقدار ثابت $3.00\ m/s^2$ لمدة 30.0 s قبل أن ترتفع عن سطح الأرض.

a. ما المسافة التي قطعتها الطائرة؟

b. ما سرعة الطائرة لحظة إقلاعها؟

39. الرسوم البيانية يسير عدّاء نحو خط البداية بسرعة منتظمة، ويأخذ موقعه قبل بدء السباق، وينتظر حتى يسمع صوت طلقة البداية، ثم ينطلق فيتسارع حتى يصل إلى سرعة منتظمة. فيحافظ على هذه السرعة حتى يجتاز خط النهاية، ثم يتباطأ إلى أن يمشي، فيستغرق في ذلك وقتًا أطول مما استغرقه لزيادة سرعته في بداية السباق. مثّل حركة العداء باستخدام الرسم البياني لكل من منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) ومنحنى (الموقع–الزمن). ارسم الرسمين أحدهما فوق الآخر باستخدام مقياس الزمن نفسه، وبيّن على منحنى (الموقع–الزمن) مكان كل من نقطة البداية وخط النهاية.

40. التفكير الناقد صف كيف يمكنك أن تحسب تسارع سيارة، مبينًا أدوات القياس التي ستستخدمها.

3–3 السقوط الحرّ Free Fall

أسقط ورقة صحيفة على الأرض، ثم لفها على شكل كرة متماسكة وأعد إسقاطها. أسقط حصاة بالطريقة نفسها. كيف تقارن بين حركة الأجسام الثلاثة؟ هل تسقط الأجسام جميعها بالسرعة نفسها؟

لا يسقط الجسم الخفيف والمنبسط– مثل ورقة الصحيفة المستوية أو ريشة الطائر– بالكيفية نفسها التي يسقط بها شيء ثقيل مساحة سطحه صغيرة، مثل الحصاة. لماذا؟ عندما يسقط جسم فإنه يتصادم بجزيئات الهواء، وتؤثر هذه التصادمات الضعيفة في سرعة هبوط الجسم الخفيف والمنبسط– مثل الريشة– بشكل أكبر من تأثيرها في سرعة هبوط أجسام أثقل نسبيًّا ومساحة سطحها أقل، مثل الحصاة. لفهم سلوك الأجسام الساقطة، نتناول الحالة الأبسط، وهي حركة جسم –كحجر مثلًا– بإهمال تأثير الهواء في حركته. إن المصطلح المستخدم لوصف حركة مثل هذه الأجسام هو **السقوط الحر**؛ وهو حركة جسم تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط، وبإهمال تأثير مقاومة الهواء.

الأهداف

- **تُعرّف** التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية.
- **تحل** مسائل تتضمن أجسامًا تسقط سقوطًا حرًّا.

المفردات

السقوط الحرّ

التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية

التسارع في مجال الجاذبية الأرضية
Acceleration Due to Gravity

قبل حوالي أربعمائة عام تقريبًا، أدرك جاليليو جاليلي أنه لكي يُحدث تقدمًا في دراسة حركة الأجسام الساقطة يجب عليه إهمال تأثيرات المادة التي يسقط الجسم خلالها. وفي ذلك الزمن لم يكن لدى جاليليو الوسائل التي تمكنه من أخذ بيانات موقع الأجسام الساقطة أو سرعتها، لذا قام بدحرجة كرات على مستويات مائلة. وبهذه الطريقة تمكّن من تقليل تسارع الأجسام، وهذا مكّنه من الحصول على قياسات دقيقة باستخدام أدواته البسيطة.

استنتج جاليليو أن جميع الأجسام التي تسقط سقوطًا حرًّا يكون لها التسارع نفسه، عند إهمال تأثير مقاومة الهواء، وأن هذا التسارع لا يتأثر بأي من نوع مادة الجسم الساقط، أو وزن هذا الجسم، أو الارتفاع الذي أسقط منه ، أو كون الجسم قد أسقط أو قذف. ويرمز لتسارع الأجسام الساقطة بالرمز $\boldsymbol{g}$، وتتغير قيمة $\boldsymbol{g}$ تغيرات طفيفة في أماكن مختلفة على الأرض، والقيمة المتوسطة لها $9.80\ m/s^2$.

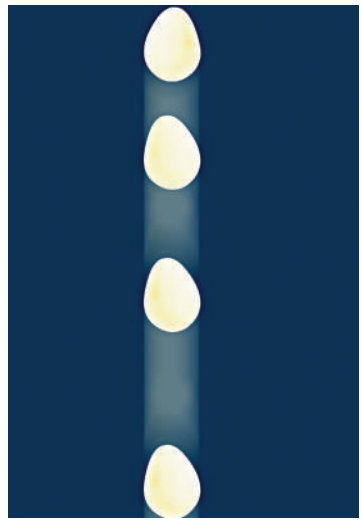
التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية هو تسارع جسم يسقط سقوطًا حرًّا نتيجة تأثير جاذبية الأرض فيه. افترض أنك أسقطت صخرة سقوطًا حرًّا. بعد مرور 1s تكون سرعتها المتجهة $9.80\ m/s$ إلى أسفل، وبعد مرور 1s أخرى تصبح سرعتها المتجهة $19.60\ m/s$ إلى أسفل، وفي كل ثانية تسقط خلالها الصخرة تزداد سرعتها المتجهة إلى أسفل بمعدل $9.80\ m/s$. ويعتمد اعتبار التسارع موجبًا أو سالبًا على النظام الإحداثي الذي يتم اتخاذه؛ فإذا كان النظام يعتبر الاتجاه إلى أعلى موجبًا فإن التسارع الناتج عن

الجاذبية الأرضية عندئذ يساوي $-g$، أما إذا اعتبر الاتجاه إلى أسفل هو الاتجاه الموجب فإن التسارع الناتج عن الجاذبية يساوي $+g$.

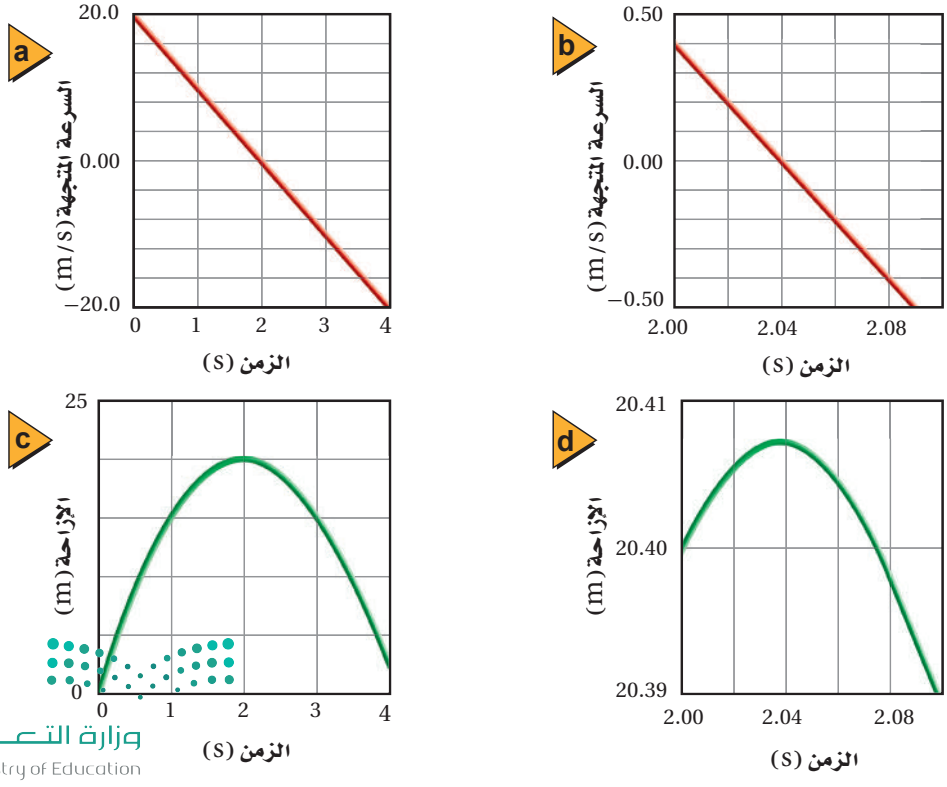
يبين **الشكل 14–3** مخطط توضيحي لحركة بيضة تسقط سقوطاً حرًّا التقطت باستخدام تقنية خاصة؛ حيث الفترة الزمنية بين اللقطات هي 0.06 s. ويظهر من الشكل أن الإزاحة بين كل زوج من اللقطات تزداد، وهذا يعني أن السرعة تزداد. فإذا اعتبر الاتجاه إلى أسفل هو الاتجاه الإحداثي الموجب فإن السرعة تزداد بقيمة موجبة أكثر فأكثر.

قذف كرة إلى أعلى بدلاً من بيضة ساقطة، هل يمكن لهذه الصورة أن تعبر عن حركة كرة مقذوفة رأسيًّا إلى أعلى؟ إذا اختير الاتجاه إلى أعلى على أنه الموجب فإن الكرة تغادر اليد بسرعة متجهة موجبة مثلاً 20.0 m/s، أما التسارع فيكون إلى أسفل؛ أي أن التسارع يكون سالبًا، وهو يساوي $a = (-g) = (-9.80\ m/s^2)$. ولأن السرعة المتجهة والتسارع في اتجاهين متعاكسين فإن سرعة الكرة تتناقص، وهذا يتفق مع الصورة.

يبيِّن منحنى (السرعة المتجهة – الزمن) في **الشكل 3–15a** تناقص السرعة المتجهة للكرة بمعدل 9.80 m/s كل 1 s، حتى تصل إلى الصفر عند 2.04 s، ثم يتحول اتجاه حركة الكرة إلى أسفل، وتزداد سرعتها المتجهة تدريجيًّا في الاتجاه السالب. ويظهر **الشكل 3–15b** لقطة مقربة لهذه الحركة . لكن ما العلاقة بين إزاحة الكرة وسرعتها المتجهة؟ يتبين من **الشكلين 3–15 c، d** أن الكرة تصل إلى أقصى ارتفاع لها في اللحظة التي تصبح فيها سرعتها المتجهة صفرًا. ماذا عن تسارعها؟ إن تسارع الكرة عند أي نقطة يساوي مقدارًا ثابتًا 9.80 m/s²، كما يتضح من ميل الخط البياني في **الشكلين 3–15 a، b**.



الشكل 14–3 صورة ستروبية (تصوير زمني سريع متتابع) لبيضة تتسارع بمقدار 9.80 m/s² في أثناء السقوط الحر. فإذا تم اختيار الاتجاه الموجب إلى أسفل فإن كلًّا من السرعة المتجهة والتسارع لهذه البيضة التي تسقط سقوطًا حرًّا يكون موجبًا.



الشكل 15–3 في نظام إحداثي اتجاهه الموجب إلى أعلى:

a و **b** تتناقص سرعة الكرة المقذوفة إلى أعلى حتى تصبح صفرًا بعد زمن 2.04 s ثم تتزايد سرعتها في الاتجاه السالب في أثناء سقوطها.

c و **d** يُظهر الرسمان البيانيان لمنحنى (الإزاحة – الزمن) ارتفاع الكرة في فترات زمنية مماثلة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

عندما يُسأل الناس عن تسارع جسم عند أقصى ارتفاع له في أثناء تحليقه فإنهم في العادة لا يأخذون وقتًا كافيًا لتحليل الموقف، فتكون إجابتهم أن التسارع يساوي صفرًا، وهذا ليس صحيحًا بالطبع. فعند أقصى ارتفاع تساوي السرعة المتجهة للكرة صفرًا، ولكن ماذا يحدث لو كان تسارعها أيضًا يساوي صفرًا؟ عندئذ لن تتغير السرعة المتجهة للكرة، وستبقى 0.0 m/s، وإذا كانت هذه هي الحالة فإن الكرة لن تكتسب أي سرعة متجهة إلى أسفل، بل ستبقى ببساطة معلقة في الهواء عند أقصى ارتفاع لها. ولأن الأجسام المقذوفة إلى أعلى لا تبقى معلقة، فسوف تستنتج أن تسارع الجسم عند نقطة أقصى ارتفاع لطيرانه يجب ألا يساوي صفرًا، وأن اتجاهه يجب أن يكون إلى أسفل.

عربات السقوط الحر يستخدم مفهوم السقوط الحر في تصميم ألعاب في مدن الألعاب، بحيث تعطي راكبيها الإحساس بالسقوط الحر. ويمر الراكب في مثل هذا النوع من الألعاب بثلاث مراحل، هي: الصعود، ثم التعليق لحظيًّا، ثم السقوط؛ حيث تعمل محركات على توفير القوة اللازمة لتحريك عربات لعبة السقوط الحر إلى أعلى المسار. وعند سقوط هذه العربات سقوطًا حرًّا يكون للشخص الأكبر كتلة والشخص الأقل كتلة التسارع نفسه. افترض أن إحدى عربات السقوط الحر في مدينة الألعاب سقطت سقوطًا حرًّا من السكون مدة 1.5 s، فما سرعتها المتجهة في نهاية هذه الفترة؟ اختر نظامًا إحداثيًّا يكون فيه الاتجاه إلى أعلى موجبًا ونقطة الأصل عند الموقع الابتدائي للعربة. بما أن العربة بدأت الحركة من السكون فإن $v_i = 0$.

استخدم معادلة السرعة المتجهة بدلالة التسارع الثابت لحساب السرعة المتجهة النهائية للعربة.

$$\begin{aligned} \boldsymbol{v}_f &= \boldsymbol{v}_i + \overline{\boldsymbol{a}} t_f \\ &= 0.00\ \text{m/s} + (-9.80\ \text{m/s}^2)(1.5\ \text{s}) \\ &= -15\ \text{m/s} \end{aligned}$$

ما الإزاحة التي قطعتها العربة خلال هذه الفترة؟ بما أن الزمن والإزاحة معلومان فإننا نستخدم معادلة الإزاحة.

$$\begin{aligned} \boldsymbol{d}_f &= \boldsymbol{d}_i + \boldsymbol{v}_i t_f + 1/2\, \overline{\boldsymbol{a}} t_f^2 \\ &= 0.00\ \text{m} + (0.00\ \text{m/s})(1.5\ \text{s}) + 1/2\, (-9.80\ \text{m/s}^2)(1.5\ \text{s})^2 \\ &= -11\ \text{m} \end{aligned}$$

مسألة تحفيز

شاهدت بالونًا مملوءًا بالماء يسقط أمام نافذة صفك. فإذا استغرق البالون t ثانية، ليسقط مسافة تساوي ارتفاع النافذة ومقدارها y متر. افترض أن البالون بدأ حركته من السكون، فما الارتفاع الذي يسقط منه قبل أن يصل إلى الحافة العليا للنافذة بدلالة كل من $\boldsymbol{g}$ و y و t وثوابت عددية؟

مسائل تدريبية

41. أسقط عاملُ بناءٍ عَرَضًا قطعةَ قرميد من سطح بناية.

a. ما سرعة القطعة بعد 4.0 s؟

b. ما المسافة التي تقطعها القطعة خلال هذا الزمن؟

c. كيف تختلف إجابتك عن المسألة إذا قمت باختيار النظام الإحداثي بحيث يكون الاتجاه المعاكس هو الاتجاه الموجب.

42. أسقط طالب كرة من نافذة ترتفع 3.5 m عن الرصيف. ما سرعتها لحظة ملامستها أرضية الرصيف؟

43. قذفت كرة تنس رأسيًّا إلى أعلى بسرعة ابتدائية 22.5 m/s، وتم الإمساك بها عند عودتها إلى الارتفاع نفسه الذي قذفت منه.

a. احسب الارتفاع الذي وصلت إليه الكرة.

b. ما الزمن الذي استغرقته الكرة في الهواء؟

إرشاد: الزمن الذي تستغرقه الكرة في الصعود يساوي الزمن الذي تستغرقه في الهبوط.

44. رميت كرة بشكل رأسي إلى أعلى. وكان أقصى ارتفاع وصلت إليه 0.25 m:

a. ما السرعة الابتدائية للكرة؟

b. إذا أمسكت الكرة عند عودتها إلى الارتفاع نفسه الذي أطلقت منه، فما الزمن الذي استغرقته في الهواء؟

3–3 مراجعة

45. **أقصى ارتفاع وزمن التحليق** إذا كان تسارع الجاذبية على سطح المريخ يساوي $\left(\frac{1}{3}\right)$ تسارع الجاذبية على سطح الأرض، ثم قذفت كرة إلى أعلى من فوق سطح كل من المريخ والأرض بالسرعة نفسها:

a. قارن بين أقصى ارتفاع تصله الكرة على سطح المريخ وسطح الأرض.

b. قارن بين زمني التحليق.

46. **السرعة والتسارع** افترض أنك قذفت كرة إلى أعلى. صف التغيرات في كل من سرعة الكرة المتجهة وتسارعها.

47. **السرعة النهائية** أسقط أخوك –بناء على طلبك– مفاتيح المنزل من نافذة الطابق الثاني. فإذا التقطتها على بُعد 4.3 m من نقطة السقوط، فاحسب سرعة المفاتيح عند التقاطك لها.

48. **السرعة المتجهة الابتدائية وأقصى ارتفاع** يتدرب طالب على ركل كرة القدم رأسيًّا إلى أعلى، وتعود الكرة إثر كل ركلة لتصطدم بقدمه. إذا استغرقت الكرة من لحظة ركلها حتى اصطدامها بقدمه 3.0 s:

a. فما السرعة المتجهة الابتدائية للكرة؟

b. ما الارتفاع الذي وصلت إليه الكرة بعد أن ركلها الطالب؟

49. **التفكير الناقد** عند قذف كرة رأسيًّا إلى أعلى، تستمر في الارتفاع حتى تصل إلى موقع معين، ثم تسقط إلى أسفل، وتكون سرعتها المتجهة اللحظية عند أقصى ارتفاع صفرًا. هل تتسارع الكرة عند أقصى ارتفاع؟ صمم تجربة لإثبات صحة أو خطأ إجابتك.

تمدد الزمن عند السرعات العالية
Time Dilation at High Velocities

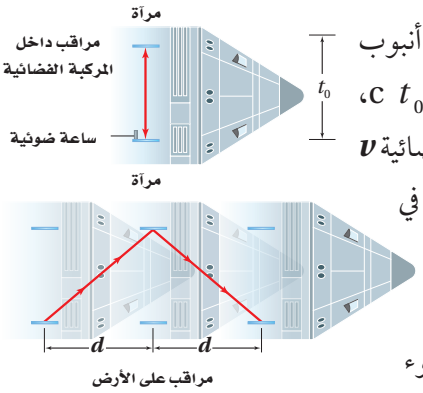
هل يمكن أن يمر الزمن بشكل مختلف في إطارين مرجعيين؟ وكيف يمكن أن يكون عمر أحد توأمين أكبر من عمر الآخر؟

الساعة الضوئية Light Clock تأمل فكرة التجربة الآتية باستعمال الساعة الضوئية. الساعة الضوئية عبارة عن أنبوب رأسي، في كل من طرفيه مرآة مستوية. يتم إطلاق نبضة ضوئية قصيرة في إحدى نهايتي الأنبوب، بحيث ترتد داخله ذهابًا وإيابًا منعكسة عن المرآتين. ويقاس الزمن بتحديد عدد ارتدادات النبضة. الساعة الضوئية مضبوطة لأن سرعة النبضة الضوئية (c) منتظمة دائمًا، وهي تساوي $3\times10^8 m/s$ بغض النظر عن سرعة المصدر الضوئي أو المراقب.

افترض أن هذه الساعة الضوئية وضعت في مركبة فضائية سريعة جدًّا. عندما تسير المركبة بسرعات قليلة، يرتد الشعاع الضوئي رأسيًّا داخل الأنبوب. وإذا تحركت المركبة بسرعة أكبر، فسيستمر الشعاع الضوئي في الارتداد رأسيًّا كما يراه المراقب في المركبة.

أما بالنسبة إلى مراقب يقف ساكنًا على سطح الأرض فإن النبضة الضوئية تتحرك وفق مسار مائل بسبب حركة المركبة الفضائية. لذا فإن الشعاع الضوئي – بالنسبة إلى هذا المراقب – يتحرك مسافة أكبر. ولما كانت المسافة تعطى بالعلاقة: المسافة = السرعة × الزمن، وسرعة النبضة الضوئية c (أو سرعة الضوء) منتظمة دائمًا بالنسبة إلى أي مراقب، فإن ازدياد المسافة بالنسبة إلى المراقب الأرضي الساكن تعني أن الزمن هو الذي يجب أن يزداد في الطرف الثاني للمعادلة حتى تبقى صحيحة. أي أن هذا المراقب يرى أن الساعة في المركبة المتحركة تسير أبطأ من الساعة نفسها على الأرض!

افترض أن زمن نبضة (دَقة) الساعة الضوئية – كما يراها المراقب على الأرض – هو t_s، وكما يراها المراقب في المركبة الفضائية t_0، وطول أنبوب الساعة الضوئية t_0 c، وسرعة المركبة الفضائية v وسرعة الضوء c. في كل نبضة تتحرك المركبة مقدار vt_s، وتتحرك نبضة الضوء مقدار ct_0، وهذا يقود إلى المعادلة الآتية:



$$t_s = \frac{t_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

بالنسبة إلى المراقب الساكن، كلما اقتربت قيمة v من c أصبح زمن النبضة أبطأ. أما بالنسبة إلى المراقب الذي في المركبة فإن الساعة تحافظ على وقتها الصحيح (المضبوط).

تمدد الزمن Time Dilation تسمّى هذه الظاهرة تمدد الزمن، وتنطبق على كل العمليات المرتبطة مع الزمن على متن السفن الفضائية. فمثلاً يمضي العمر الحيوي بشكل أكثر بطئًا في المركبة الفضائية مما على الأرض. لذا، فإذا كان المراقب في المركبة الفضائية هو أحد توأمين فسيكون عمره أقل من عمر التوأم الآخر على الأرض، وتسمى هذه الظاهرة معضلة التوائم.

لقد أوحت ظاهرة التمدد الزمني بأفكار خيالية كثيرة حول السفر في الفضاء، فإذا كان بإمكان سفينة فضائية السفر بسرعات قريبة من سرعة الضوء فإن الرحلات إلى النجوم البعيدة جدًّا قد تصبح ممكنة لأنها ستستغرق بضع سنوات فقط من عمر رواد الفضاء الذين على متنها.

التوسّع

1. **احسب** أوجد تمدد الزمن $\frac{t_s}{t_0}$ لزمن دوران الأرض حول الشمس إذا علمت أن $v_{earth} = 10889\ km/s$.
2. **احسب** اشتق معادلة حساب تمدد الزمن t_s.
3. **ناقش** ما الفرق بين تمدد الزمن وزمن الحركة؟

مختبر الفيزياء

التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية

تحدث تغيرات طفيفة في مقدار التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية g في مواقع مختلفة على سطح الأرض، حيث تتغير قيمة g بحسب بُعد الموقع عن مركز الأرض. وتُعطى الإزاحة في حالة الحركة وفق تسارع ثابت بالمعادلة الآتية:

$$\Delta d = v_i \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2$$

$$d_f - d_i = v_i (t_f - t_i) + \frac{1}{2} a (t_f - t_i)^2$$

فإذا كانت $t_i = 0$ و$d_i = 0$ فإن الإزاحة تعطى بالمعادلة: $d_f = v_i t_f + \frac{1}{2} a t_f^2$

وبقسمة طرفي المعادلة على t_f تؤول إلى: $\frac{d_f}{t_f} = v_i + \frac{1}{2} a t_f$

إن ميل المنحنى البياني $\frac{d_f}{t_f}$ مقابل t_f يساوي $\frac{1}{2}a$، والسرعة المتجهة الابتدائية v_i يتم تحديدها بتعيين نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الرأسي. في هذه التجربة ستستخدم المؤقت ذا الشريط لجمع بيانات عن السقوط الحر، والتي ستستعملها في تعيين التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية g.

سؤال التجربة

كيف تتغير قيمة g من مكان إلى آخر؟

الأهداف

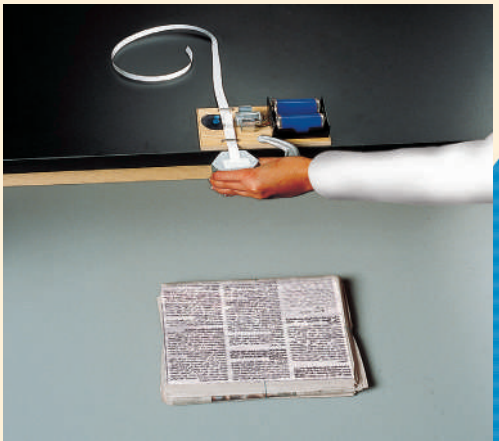
- **تقيس** بيانات عن السقوط الحر.
- **ترسم** منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) وتستخدمه.
- **تقارن** بين قيم g في مواقع مختلفة.

احتياطات السلامة

- **ابتعد عن الأجسام أثناء سقوطها.**

المواد والأدوات

شريط ورقي للمؤقت	ورق جرائد
شريط لاصق	مؤقت ذو شريط
كتلة 1 kg	ماسك على شكل حرف C



الخطوات

1. ثبِّت المؤقت في حافة طاولة المختبر بالماسك C.
2. إذا كان المؤقت يحتاج إلى معايرة فاتبع تعليمات المعلم أو ورقة التعليمات الخاصة بالجهاز. عين الزمن الدوري للمؤقت ثم سجّله في جدول البيانات.
3. ضع كومة من ورق الجرائد على أرضية المختبر مباشرة تحت المؤقت بحيث تصطدم بها الكتلة عندما تسقط سقوطًا حرًّا؛ وذلك حتى لا تتلف الأرضية.
4. اقطع 70 cm تقريبًا من شريط المؤقت، وأدخل طرفه في المؤقت، واربط الطرف الآخر بالكتلة 1 kg باستخدام الشريط اللاصق.
5. أمسك الكتلة عند حافة الطاولة بمحاذاة المؤقت.
6. شغل المؤقت واترك الكتلة تسقط سقوطًا حرًّا.
7. افحص الشريط الورقي للمؤقت للتأكد من وجود نقاط ظاهرة عليه، ومن عدم وجود انقطاعات (فراغات) في النقاط المتسلسلة المطبوعة عليه. إذا ظهر في الشريط أي خلل، فكرّر الخطوات 6–4 باستعمال قطعة أخرى من شريط المؤقت.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

جدول البيانات			
الزمن الدوري (s)			
الفترة الزمنية	المسافة (cm)	الزمن (s)	السرعة (cm/s)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

8. اختر نقطة بالقرب من بداية الشريط على بُعد بضعة سنتمترات من النقطة التي بدأ المؤقت عندها تسجيل النقاط، واكتب عندها الرقم صفر "0". أكمل ترقيم النقاط على التوالي بالأرقام 1, 2, 3, 4, 5 حتى تصل قرب نهاية الشريط، حيث توقفت الكتلة عن السقوط الحر. (إذا توقف ظهور النقاط أو بدأت المسافة بينها بالتناقص فهذا يعني أن الكتلة اصطدمت بالأرض).

9. قس المسافة الكلية إلى أقرب ملمتر من نقطة الصفر إلى كل نقطة مرقمة، وسجلها في الجدول. وباستخدام الزمن الدوري للمؤقت، سجل الزمن الكلي المرتبط مع كل قياس للمسافة.

التحليل

1. **استعمل الأرقام** احسب قيم السرعة وسجلها في جدول البيانات.

2. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** ارسم منحنى (السرعة المتجهة–الزمن)، ثم ارسم الخط البياني الأكثر ملاءمة لبياناتك.

3. احسب ميل الخط البياني، وحوّل النتيجة إلى وحدة m/s^2.

الاستنتاج والتطبيق

1. تذكّر أن ميل خط منحنى (السرعة المتجهة– الزمن) يساوي $\frac{1}{2}a$، واحسب التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية.

2. أوجد الخطأ النسبي في القيمة التجريبية لـ g مقارنة بالقيمة المقبولة لها $9.80\ m/s^2$. علمًا بأن:

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

3. كم كان مقدار السرعة الابتدائية v_i للكتلة عندما بدأت قياس المسافة والزمن؟

التوسع في البحث

ما الفائدة من بدء القياس من نقطة تبعد بضعة سنتمترات عن بداية شريط المؤقت بدلاً من بدئه من أول نقطة على الشريط؟

الفيزياء في الحياة

لماذا يقوم مصممو عربات السقوط الحر في مدن الألعاب (الملاهي) بتصميم مسارات خروج تنحني تدريجيًّا في اتجاه الأرض؟ لماذا يكون هناك امتداد للمسار المستقيم؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 3
دليل مراجعة الفصل

3–1 التسارع (العجلة) Acceleration

المفردات

- منحنى (السرعة المتجهة –الزمن)
- التسارع
- التسارع المتوسط
- التسارع اللحظي

المفاهيم الرئيسة

- يمكن استخدام منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لإيجاد سرعة جسم وتسارعه.
- يمكن استخدام كلٍّ من منحنيات (السرعة المتجهة–الزمن) والمخططات التوضيحية للحركة لتحديد إشارة تسارع الجسم.
- عندما تتغير سرعة جسم بمعدل منتظم يكون له تسارع ثابت.
- التسارع المتوسط لجسم يساوي ميل الخط البياني لمنحنى السرعة المتجهة–الزمن. $\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{\boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i}{t_f - t_i}$
- تدل متجهات التسارع المتوسط في مخطط الحركة على مقدار واتجاه التسارع المتوسط خلال فترة زمنية ما.
- عندما يكون التسارع والسرعة في الاتجاه نفسه تزداد سرعة الجسم، وعندما يكونان متعاكسين في الاتجاه تتناقص سرعته.
- التسارع اللحظي هو التغير في السرعة عند لحظة زمنية محددة.

3–2 الحركة بتسارع ثابت Motion with Constant Acceleration

المفاهيم الرئيسة

- إذا عُلم التسارع الثابت لجسم خلال فترة زمنية ما أمكن إيجاد التغير في السرعة المتجهة خلال هذا الزمن. $\boldsymbol{v}_f = \boldsymbol{v}_i + \boldsymbol{a}\,\Delta t$
- المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة –الزمن) لجسم متحرك تساوي مقدار إزاحته.
- في الحركة بتسارع ثابت، تربط العلاقة $\boldsymbol{d}_f = \boldsymbol{d}_i + \boldsymbol{v}_i\, t_f + \frac{1}{2}\boldsymbol{a}\,\Delta t_f^{\,2}$ بين الموقع والسرعة المتجهة والتسارع والزمن.
- يمكن إيجاد السرعة المتجهة لجسم يتحرك بتسارع ثابت باستخدام المعادلة:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2\,\boldsymbol{a}\,(\boldsymbol{d}_f - \boldsymbol{d}_i)$$

3–3 السقوط الحر Free Fall

المفردات

- التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية
- السقوط الحر

المفاهيم الرئيسة

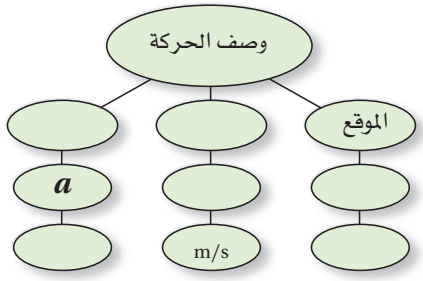
- التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية يساوي $9.80\ \text{m/s}^2$ في اتجاه الأسفل، وتعتمد إشارته في المعادلات على النظام الإحداثي الذي تم اختياره.
- تستخدم معادلات الحركة بتسارع ثابت في حل مسائل تتضمن الأجسام التي تسقط سقوطًا حرًّا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 3
التقويم

خريطة المفاهيم

50. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام الرموز والمصطلحات المناسبة:



إتقان المفاهيم

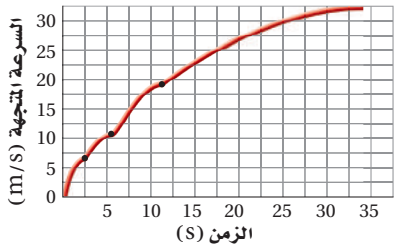
51. ما العلاقة بين السرعة المتجهة والتسارع؟(3-1)

52. أعط مثالاً على كل مما يأتي: (3-1)

a. جسم تتناقص سرعته وله تسارع موجب.

b. جسم تتزايد سرعته، و له تسارع سالب.

53. يبين **الشكل 3-16** منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) لسيارة تتحرك على طريق. صف كيف تتغير السرعة المتجهة مع الزمن. (3-1)



الشكل 3-16

54. ماذا يمثل ميل المماس لمنحنى (السرعة المتجهة-الزمن)؟ (3-1)

55. هل يمكن أن يكون لسيارة تتحرك على طريق عام سرعة متجهة سالبة وتسارع موجب في الوقت نفسه؟ وضح ذلك. وهل يمكن أن تتغير إشارة السرعة المتجهة لسيارة في أثناء حركتها بتسارع ثابت؟ وضح ذلك. (3-1)

56. هل يمكن أن تتغير السرعة المتجهة لجسم عندما يكون تسارعه ثابتًا؟ إذا أمكن ذلك فأعط مثالًا، وإذا لم يمكن فوضح ذلك. (3-1)

57. إذا كان منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) لجسم ما خطًّا مستقيمًا يوازي محور الزمن t، فماذا يمكن أن تستنتج عن تسارع الجسم؟ (3-1)

58. ماذا تمثل المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة-الزمن)؟ (3-2)

59. اكتب معادلات كل من الموقع والسرعة المتجهة والزمن لجسم يتحرك وفق تسارع ثابت. (3-2)

60. عند إسقاط كرتين متماثلتين في الحجم إحداهما من الألومنيوم والأخرى من الفولاذ، من الارتفاع نفسه، فإنهما تصلان سطح الأرض عند اللحظة نفسها. لماذا؟ (3-3)

61. اذكر بعض الأمثلة على أجسام تسقط سقوطًا حرًّا ولا يمكن إهمال تأثير مقاومة الهواء فيها. (3-3)

62. اذكر بعض الأمثلة لأجسام تسقط سقوطًا حرًّا ويمكن إهمال تأثير مقاومة الهواء عليها. (3-3)

تطبيق المفاهيم

63. هل للسيارة التي تتباطأ تسارع سالب دائمًا؟ فسر إجابتك.

64. تتدحرج كرة كريكيت بعد ضربها بالمضرب، ثم تتباطأ وتتوقف. هل لسرعة الكرة المتجهة وتسارعها الإشارة نفسها؟

65. إذا كان تسارع جسم يساوي صفرًا فهل هذا يعني أن سرعته المتجهة تساوي صفرًا؟ أعط مثالًا.

66. إذا كانت السرعة المتجهة لجسم عند لحظة ما تساوي صفرًا فهل من الضروري أن يتساوى تسارعه صفرًا؟ أعط مثالًا.

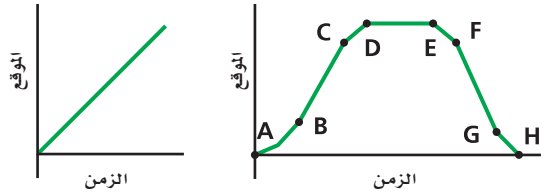
تقويم الفصل 3

67. إذا أعطيت جدولاً يبين السرعة المتجهة لجسم عند أزمنة مختلفة فكيف يمكنك أن تكتشف ما إذا كان التسارع ثابتًا أم غير ثابت؟

68. تظهر في منحنى (السرعة المتجهة – الزمن) في **الشكل 16–3** ثلاثة مقاطع نتجت عندما غير السائق ناقل الحركة. صف التغيرات في السرعة المتجهة للسيارة وتسارعها في أثناء المقطع الأول. هل التسارع قبل لحظة تغيير الناقل أكبر أم أصغر من التسارع في اللحظة التي تلي التغيير؟ وضح إجابتك.

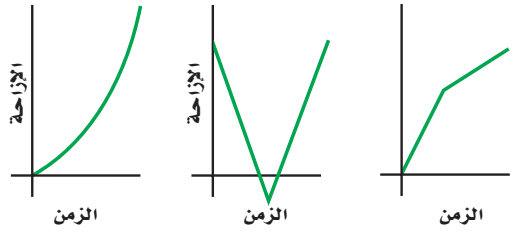
69. استخدم الرسم البياني في **الشكل 16–3** لتعيين الفترة الزمنية التي يكون التسارع خلالها أكبر ما يمكن، والفترة الزمنية التي يكون التسارع خلالها أصغر ما يمكن.

70. وضح كيف تسير بحيث تمثل حركتك كلًّا من منحنيي (الموقع–الزمن) الموضحين في **الشكل 17–3**.



الشكل 17–3

71. ارسم منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) لكل من الرسوم البيانية في **الشكل 18–3**.



الشكل 18–3

72. قذف جسم رأسيًّا إلى أعلى فوصل أقصى ارتفاع له بعد مضي 7.0 s، وسقط جسم آخر من السكون فاستغرق 7.0 s للوصول إلى سطح الأرض. قارن بين إزاحتي الجسمين خلال هذه الفترة الزمنية.

73. التسارع الناتج عن جاذبية القمر ($g_{\text{القمر}}$) يساوي $\frac{1}{6}$ التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية (g).

a. إذا أسقطت كرة من ارتفاع ما على سطح القمر، فهل تصطدم بسطح القمر بسرعة أكبر أم مساوية أم أقل من سرعة الكرة نفسها إذا أسقطت من الارتفاع نفسه على سطح الأرض؟

b. هل الزمن الذي تستغرقه الكرة لتصل إلى سطح القمر أكبر، أم أقل، أم مساوٍ للزمن الذي تستغرقه للوصول إلى سطح الأرض؟

74. لكوكب المشتري ثلاثة أمثال التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية تقريبًا. افترض أن كرة قذفت رأسيًّا بالسرعة المتجهة الابتدائية نفسها على كل من الأرض والمشتري، مع إهمال تأثير مقاومة الغلاف الجوي للأرض وللمشتري، وبافتراض أن قوة الجاذبية هي القوة الوحيدة المؤثرة في الكرة:

a. قارن بين أقصى ارتفاع تصله الكرة على كل من المشتري والأرض.

b. إذا قذفت الكرة على المشتري بسرعة متجهة ابتدائية تساوي ثلاثة أمثال السرعة المتجهة في الفقرة **a**، فكيف يؤثر ذلك في إجابتك؟

75. أسقطت الصخرة A من تل، وفي اللحظة نفسها قذفت الصخرة B إلى أعلى من الموقع نفسه:

a. أي الصخرتين ستكون سرعتها المتجهة أكبر لحظة الوصول إلى أسفل التل؟

b. أي الصخرتين لها تسارع أكبر؟

c. أيهما تصل أولًا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تقويم الفصل 3

إتقان حل المسائل

3–1 التسارع

76. تحركت سيارة مدة 2.0 h بسرعة 40.0 km/h، ثم تحركت مدة 1.5 h بسرعة 60.0 km/h وفي الاتجاه نفسه.

a. ما السرعة المتوسطة للسيارة؟

b. ما السرعة المتوسطة للسيارة إذا قطعت مسافة 1.0×10^2 km بسرعة 40.0 km/h ومسافة 1.0×10^2 km أُخرى بسرعة 60.0 km/h؟

77. أوجد التسارع المنتظم الذي يسبب تغيرًا في سرعة سيارة من 32 m/s إلى 96 m/s خلال فترة زمنية مقدارها 8.0 s.

78. سيارة سرعتها المتجهة 22 m/s تسارعت بانتظام بمقدار $1.6\ m/s^2$ مدة 6.8 s. ما سرعتها المتجهة النهائية؟

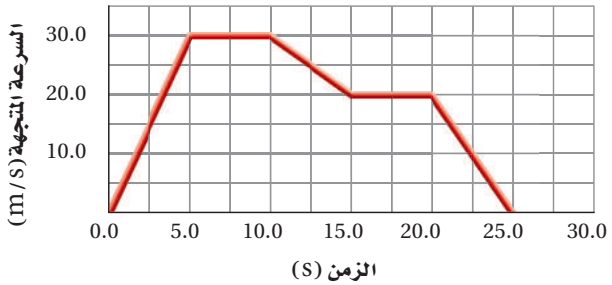
79. بالاستعانة **بالشكل 19–3** أوجد تسارع الجسم المتحرك في الأزمنة الآتية:

a. خلال الثواني الخمس الأولى من الرحلة (5.0 s).

b. بين 5.0 s و 10.0 s

c. بين 10.0 s و 15.0 s

d. بين 20.0 s و 25.0 s



الشكل 19–3

80. احسب السرعة المتجهة النهائية لبروتون سرعته المتجهة الابتدائية 2.35×10^5 m/s تم التأثير فيه بمجال كهربائي، بحيث يتسارع بانتظام بمقدار $(-1.10 \times 10^{12}\ m/s^2)$ مدة 1.50×10^{-7} s.

81. ارسم منحنى (السرعة المتجهة–الزمن) باستخدام البيانات في **الجدول 4–3**، وأجب عن الأسئلة الآتية:

a. خلال أي الفترات الزمنية:

- تزداد سرعة الجسم.
- تقل سرعة الجسم.

b. متى يعكس الجسم اتجاه حركته؟

c. كيف يختلف التسارع المتوسط للجسم في الفترة الزمنية بين 0.0 s و 2.0 s عن التسارع المتوسط في الفترة الزمنية بين 7.0 s و 12.0 s؟

الجدول 4–3

السرعة المتجهة - الزمن

الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.00	4.00
1.00	8.00
2.00	12.0
3.00	14.0
4.00	16.0
5.00	16.0
6.00	14.0
7.00	12.0
8.00	8.00
9.00	4.00
10.0	0.00
11.0	−4.00
12.0	−8.00

82. يمكن زيادة سرعة السيارة A من 0 m/s إلى 17.9 m/s خلال 4.0 s، والسيارة B من 0 m/s إلى 22.4 m/s خلال 3.5 s، والسيارة C من 0 m/s إلى 26.8 m/s خلال 6.0 s. رتب السيارات الثلاث من الأكبر إلى الأقل تسارعًا، مع الإشارة إلى العلاقة التي قد تربط بين تسارع كل منها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

83. تطير طائرة نفاثة بسرعة 145 m/s وفق تسارع ثابت مقداره $23.1\ m/s^2$ لمدة 20.0 s.

a. ما سرعتها النهائية؟

b. إذا كانت سرعة الصوت في الهواء 331 m/s فما سرعة الطائرة بدلالة سرعة الصوت؟

3–2 الحركة بتسارع ثابت

84. استعن **بالشكل 19–3** لإيجاد الإزاحة المقطوعة خلال الفترات الزمنية الآتية:

a. $t = 0.0\ s$ إلى $t = 5.0\ s$

b. $t = 5.0\ s$ إلى $t = 10.0\ s$

c. $t = 10.0\ s$ إلى $t = 15.0\ s$

d. $t = 0.0\ s$ إلى $t = 25.0\ s$

85. بدأ متزلج حركته من السكون بتسارع مقداره $49\ m/s^2$، ما سرعته عندما يقطع مسافة 325 m؟

86. تتحرك سيارة بسرعة متجهة 12 m/s صاعدة تلًّا بتسارع ثابت $(-1.6\ m/s^2)$. ما إزاحتها بعد 6 s وبعد 9 s؟

87. تتباطأ سيارة سباق بمقدار ثابت $(11\ m/s^2)$. أجب عما يأتي:

a. إذا كانت السيارة منطلقة بسرعة 55 m/s، فما المسافة التي تقطعها بالأمتار قبل أن تقف؟

b. ما المسافة التي تقطعها السيارة قبل أن تقف إذا كانت سرعتها مثلَي السرعة السابقة؟

88. ما المسافة التي تطيرها طائرة خلال 15 s، بينما تتغير سرعتها المتجهة بمعدل منتظم من 145 m/s إلى 75 m/s؟

89. تتحرك سيارة شرطة من السكون بتسارع ثابت مقداره $7.0\ m/s^2$، لتلحق بسيارة تتجاوز حد السرعة المسموح به وتسير بسرعة منتظمة مقدارها 30.0 m/s. كم تكون سرعة سيارة الشرطة عندما تلحق بالسيارة المخالفة؟

90. شاهد سائقُ سيارةٍ تسير بسرعة 90.0 km/h فجأة أضواءَ حاجز على بُعد 40.0 m أمامه. فإذا استغرق السائق 0.75 s حتى يضغط على الفرامل، وكان التسارع المتوسط للسيارة في أثناء ضغطه على الفرامل $(-10.0\ m/s^2)$:

a. فحدد ما إذا كانت السيارة ستصطدم بالحاجز أم لا؟

b. ما أقصى سرعة يمكن أن تسير بها السيارة دون أن تصطدم بالحاجز؟ (بافتراض أن التسارع لم يتغير).

3–3 السقوط الحر

91. أسقط رائد فضاء ريشة من نقطة على ارتفاع 1.2 m فوق سطح القمر. إذا كان تسارع الجاذبية على سطح القمر $1.62\ m/s^2$، فما الزمن الذي تستغرقه الريشة حتى تصطدم بسطح القمر؟

92. يسقط حجر سقوطًا حرًّا. ما سرعته بعد 8.0 s؟ وما إزاحته؟

93. قذفت كرة بسرعة 2.0 m/s رأسيًّا إلى أسفل من نافذة منزل. ما سرعتها حين تصل إلى رصيف المشاة الذي يبعد 2.5 m أسفل نقطة القذف؟

94. في السؤال السابق، إذا قذفت الكرة رأسيًّا إلى أعلى بدلاً من الأسفل فما السرعة التي تصل بها الكرة إلى الرصيف؟

95. إذا قذفت كرة مضرب في الهواء والتقطتها بعد 2.2 s، فأجب عما يأتي:

a. ما الارتفاع الذي وصلت إليه الكرة؟

b. ما السرعة المتجهة الابتدائية للكرة؟

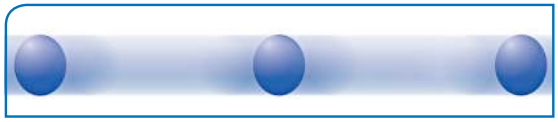
وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تقويم الفصل 3

مراجعة عامة

96. تتحرك سفينة فضائية بتسارع ثابت وتتغير سرعتها من 65.0 m/s إلى 162.0 m/s خلال 10.0 s. ما المسافة التي ستقطعها؟

97. يبين **الشكل 20–3** صورة ستروبية لكرة تتحرك أفقيًّا. لتقدير قيمة تقريبية للتسارع، ما المعلومات التي تحتاج إليها حول الصورة؟ وما القياسات التي ستجريها؟



الشكل 20–3

98. يطير بالون أرصاد جوية على ارتفاع ثابت فوق سطح الأرض. سقطت منه بعض الأدوات واصطدمت بالأرض بسرعة متجهة (−73.5 m/s). ما الارتفاع الذي سقطت منه هذه الأدوات؟

99. يبين **الجدول 5–3** المسافة الكلية التي تتدحرجها كرة إلى أسفل مستوى مائل في أزمنة مختلفة.

الجدول 5–3

المسافة - الزمن

الزمن (s)	المسافة (m)
0.0	0.0
1.0	2.0
2.0	8.0
3.0	18.0
4.0	32.0
5.0	50.0

a. مثِّل بيانيًّا العلاقة بين الموقع والزمن.

b. احسب المسافة التي تدحرجتها الكرة بعد مرور 2.2 s.

100. تتغير سرعة سيارة خلال فترة زمنية مقدارها 8.0 s كما يبين **الجدول 6–3**.

a. مثّل بيانيًّا العلاقة بين السرعة المتجهة–الزمن.

b. ما إزاحة السيارة خلال ثماني ثوان ؟

c. أوجد ميل الخط البياني بين الثانية $t = 0.0\ s$ و $t = 4.0\ s$. ماذا يمثل هذا الميل؟

d. أوجد ميل الخط البياني بين $t = 5.0\ s$ و $t = 7.0\ s$. ما الذي يدل عليه هذا الميل؟

الجدول 6–3

السرعة المتجهة - الزمن

الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.0	0.0
1.0	4.0
2.0	8.0
3.0	12.0
4.0	16.0
5.0	20.0
6.0	20.0
7.0	20.0
8.0	20.0

101. توقفت شاحنة عند إشارة ضوئية، وعندما تحولت الإشارة إلى اللون الأخضر تسارعت الشاحنة بمقدار $2.5\ m/s^2$، وفي اللحظة نفسها تجاوزتها سيارة تتحرك بسرعة منتظمة 15 m/s. أين ومتى ستلحق الشاحنة بالسيارة؟

102. ترتفع طائرة مروحية رأسيًّا بسرعة 5.0 m/s عندما سقط كيس من حمولتها. إذا وصل الكيس سطح الأرض خلال 2 s فاحسب:

a. سرعة الكيس المتجهة لحظة وصوله الأرض.

b. المسافة التي قطعها الكيس.

c. بُعد الكيس عن الطائرة لحظة وصوله سطح الأرض.

تقويم الفصل 3

التفكير الناقد

103. صمم تجربة لقياس المسافة التي يتحركها جسم متسارع خلال فترات زمنية متساوية باستخدام الأدوات الآتية: كاشف للحركة (CBL) (أو بوابة ضوئية)، وعربة مختبر، وخيط، وبكرة، وماسك على شكل حرف C. ثم ارسم منحنى (السرعة المتجهة- الزمن) ومنحنى (الموقع - الزمن) باستخدام أثقال مختلفة. وضح كيف يؤثر تغيير الثقل في رسمك البياني.

104. أيهما له تسارع أكبر: سيارة تزيد سرعتها من 50 km/h إلى 60 km/h، أم دراجة هوائية تنطلق من 0 km/h إلى 10 km/h خلال الفترة الزمنية نفسها؟ وضح إجابتك.

105. يتحرك قطار سريع بسرعة 36.0 m/s، ثم طرأ ظرف اقتضى تحويل مساره إلى سكة قطار محلي. اكتشف سائق القطار السريع أن أمامه (على السكة نفسها) قطارًا محليًّا يسير ببطء في الاتجاه نفسه وتفصله عن القطار السريع مسافة قصيرة (1.00×10^2 m). لم ينتبه سائق القطار المحلي للكارثة الوشيكة وتابع سيره بالسرعة نفسها، فضغط سائق القطار السريع على الفرامل، وأبطأ سرعة القطار بمعدل ثابت مقداره 3.00 m/s^2. إذا كانت سرعة القطار المحلي 11.0 m/s فهل يتوقف القطار السريع في الوقت المناسب أم سيتصادمان؟

لحل هذه المسألة اعتبر موقع القطارِ السريع لحظة اكتشاف سائقه القطارَ المحلي نقطةَ أصلٍ. وتذكر دائمًا أن القطار المحلي كان يسبق القطار السريع بمسافة 1.00×10^2 m بالضبط، واحسب بُعد كل من القطارين عن نقطة الأصل في نهاية الـ 12.0 s التي يستغرقها القطار السريع حتى يتوقف (التسارع = -3.00 m/s^2، والسرعة تتغير من 36 m/s إلى 0 m/s).

a. استنادًا إلى حساباتك، هل سيحدث تصادم؟

b. احسب موقع كل قطار عند نهاية كل ثانية بعد المشاهدة. اعمل جدولاً تبين فيه بُعدَ كل من القطارين عن نقطة الأصل في نهاية كل ثانية، ثم اعمل رسمًا بيانيًّا لمنحنى (الموقع- الزمن) لكل من القطارين (رسمين بيانيين على النظام الإحداثي نفسه). استخدم رسمك البياني للتأكد من صحة جوابك في **a**.

الكتابة في الفيزياء

106. ابحث في مساهمات هبة الله بن ملك البغدادي في الفيزياء.

107. ابحث في الحد الأقصى للتسارع الذي يتحمله الإنسان دون أن يفقد وعيه. ناقش كيف يؤثر هذا في تصميم ثلاثٍ من وسائل التسلية أو النقل.

مراجعة تراكمية

108. تصف المعادلة الآتية حركة جسم:

$$d = (35.0 \text{ m/s})\,t - 5.0 \text{ m}$$

ارسم منحنى (الموقع - الزمن) والمخطط التوضيحي للحركة، ثم اكتب مسألة فيزياء يمكن حلها باستخدام المعادلة.

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. تتدحرج كرة إلى أسفل تلّ بتسارع ثابت $2.0\ m/s^2$. فإذا بدأت الكرة حركتها من السكون واستغرقت 4.0 s قبل أن تتوقف، فما المسافة التي قطعتها الكرة قبل أن تتوقف؟

Ⓐ 8.0 m Ⓒ 16 m

Ⓑ 12 m Ⓓ 20 m

2. ما سرعة الكرة قبل أن تتوقف مباشرة؟

Ⓐ 2.0 m/s Ⓒ 12 m/s

Ⓑ 8.0 m/s Ⓓ 16 m/s

3. تتحرك سيارة بسرعة ابتدائية 80 km /h ، ثم تزداد سرعتها لتصل إلى 110 km /h بعد أن تقطع مسافة 500 m. ما تسارعها المتوسط؟

Ⓐ $0.44\ m/s^2$ Ⓒ $0.60\ m/s^2$

Ⓑ $8.4\ m/s^2$ Ⓓ $9.80\ m/s^2$

4. سقط أصيص أزهار من شرفة ترتفع 85 m عن أرضية الشارع. ما الزمن الذي استغرقه في السقوط قبل أن يصطدم بالأرض؟

Ⓐ 4.2 s Ⓒ 8.7 s

Ⓑ 8.3 s Ⓓ 17 s

5. أسقط متسلق جبال حجرًا، ولاحظ زميله الواقف أسفل الجبل أن الحجر يحتاج إلى 3.20 s حتى يصل إلى سطح الأرض. ما الارتفاع الذي كان عنده المتسلق لحظة إسقاطه الحجر؟

Ⓐ 15.0 m Ⓒ 50.0 m

Ⓑ 31.0 m Ⓓ 100.0 m

6. اقتربت سيارة منطلقة بسرعة 91.0 km /h من مطعم على بُعد 30 m أمامها. فإذا ضغط السائق بقوة على الفرامل واكتسبت السيارة تسارعًا مقداره $-6.40\ m/s^2$، فما المسافة التي تقطعها السيارة حتى تتوقف؟

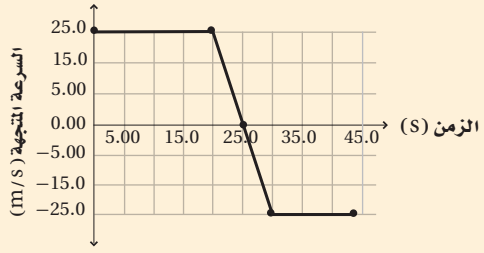
Ⓐ 14.0 m Ⓒ 50.0 m

Ⓑ 29.0 m Ⓓ 100.0 m

7. يمثل الرسم البياني الآتي حركة شاحنة. ما الإزاحة الكلية للشاحنة؟ افترض أن الاتجاه الموجب نحو الشمال.

Ⓐ 150 m جنوبًا Ⓒ 300 m شمالا

Ⓑ 125 m شمالًا Ⓓ 600 m جنوبًا



8. يمكن حساب التسارع اللحظي لجسم يتحرك وفق تسارع متغير بحساب:

Ⓐ ميل مماس منحنى (المسافة–الزمن) عند نقطة ما.

Ⓑ المساحة تحت منحنى (المسافة–الزمن).

Ⓒ المساحة تحت منحنى (السرعة المتجهة–الزمن).

Ⓓ ميل المماس لمنحنى (السرعة المتجهة–الزمن).

الأسئلة الممتدة

9. مثِّل النتائج في الجدول أدناه بيانيًّا، ثم أوجد من الرسم كلًّا من التسارع والإزاحة بعد 12.0 s:

الزمن (s)	السرعة المتجهة (m/s)
0.00	8.10
6.00	36.9
9.00	51.3
12.00	65.7

إرشاد

الجداول

إذا اشتمل سؤال امتحان على جدول فعليك قراءته. اقرأ العنوان ورؤوس الأعمدة وبدايات الصفوف، ثم اقرأ السؤال وفسّر البيانات الموجودة في الجدول.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 4

القوى في بُعد واحد
Forces in One Dimension

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- استخدام قوانين نيوتن في حل مسائل.
- تحديد مقدار واتجاه القوة المحصلة التي تسبب تغيرًا في حركة الجسم.
- تصنيف القوى وفق العوامل المسببة لها.

الأهمية

في كل لحظة، تؤثر فيك وفي كل الأشياء المحيطة بك قوى.

رياضة يقوم اللاعب بضرب الكرة برأسه فتتقافز؛ أي تتحرك وتقف ويتغير اتجاهها.

فكِّر ◄

ما الذي يجعل كرة القدم، أو أي جسم آخر يتوقف أو يبدأ الحركة أو يغير اتجاهه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تجربة استهلالية

ما القوة الكبرى؟

سؤال التجربة ما القوى التي يمكن أن تؤثر في جسم معلق بخيط؟

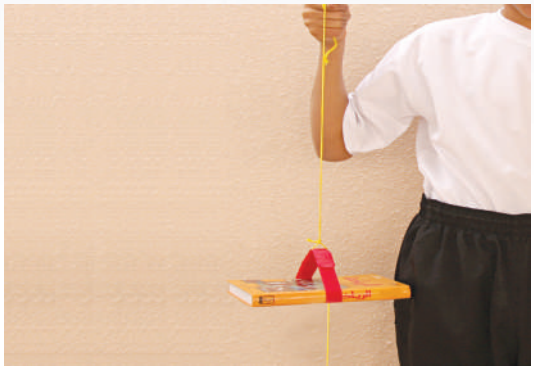
الخطوات

1. ثبّت شريط بلاستيكي لاصق حول منتصف الكتاب، ثم اربط خيطًا في منتصف الحبل في الجهة العلوية للكتاب، واربط خيطًا آخر من الجهة السفلية للكتاب كما هو موضح في الشكل المجاور.
2. أمسك نهاية الخيط العلوي ودع الكتاب يتدلى في الهواء، ثم اطلب إلى زميلك أن يسحب ببطء وثبات نهاية الخيط السفلي. سجل ملاحظاتك. ***تحذير: قف بحيث تكون قدماك بعيدتين عن مكان سقوط الكتاب.***
3. استخدم خيطًا بدل الذي انقطع، وكرّر الخطوة 2، لكن في هذه المرة اسحب الخيط السفلي بسرعة وبقوة أكبر. سجل ملاحظاتك.

التحليل

أي الخيطين انقطع في الخطوة 2؟ لماذا؟ وأي الخيطين انقطع في الخطوة 3؟ لماذا؟

التفكير الناقد ارسم مخططًا توضيحيًّا للتجربة، واستخدم الأسهم لتوضيح القوى المؤثرة في الكتاب.



رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–1 القوة والحركة Force and Motion

تصور قطارًا يتحرك بسرعة 80 km/h، وفجأةً شاهد السائق شاحنة متوقفة على سكة الحديد، فاستعمل الفرامل في محاولة لإيقاف القطار قبل أن يصطدم بالشاحنة. ولأن الفرامل تسبب تسارعًا معاكسًا لاتجاه السرعة المتجهة فإن القطار سيتباطأ. افترض أن السائق نجح في أن يوقف القطار قبل أن يصطدم بالشاحنة بمسافة قصيرة جدًّا. ماذا يحدث لو كان القطار يسير بسرعة 100 km/h بدلاً من 80 km/h؟ ما الذي يجب عمله حتى لا يصطدم بالشاحنة؟ الجواب هو أن التسارع الذي تحدثه فرامل القطار يجب أن يكون أكبر، بحيث يقف خلال زمن أقل، وهذا الاحتمال يشبه الحالة التي يسير فيها القطار بسرعة 80 km/h، ويكون أكثر قربًا من الشاحنة عندما يبدأ سائقه استعمال الفرامل.

الأهداف

- **تُعرِّف** القوة.
- **تُطبِّق** قانون نيوتن الثاني في حل مسائل.
- **تشرح** معنى قانون نيوتن الأول.

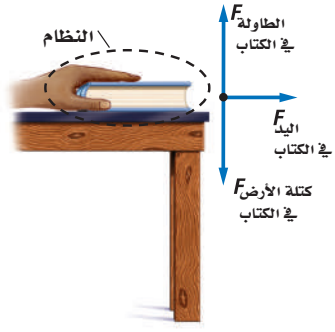
المفردات

القوة
قوة التلامس (التماس)
قوة المجال
مخطط الجسم الحر
القوة المحصلة
قانون نيوتن الثاني
قانون نيوتن الأول
القصور الذاتي
الاتزان

القوة والحركة Force and Motion

ما الذي جعل القطار يبطئ حركته؟ لأنه تأثر بقوة، و**القوة** هي سحب أو دفع يؤثر في جسم ما. وتؤدي هذه القوة المؤثرة إلى زيادة سرعة الجسم أو إبطائها أو تغيير اتجاه حركته. وعندما يستخدم سائق القطار الفرامل فإنها تؤثر في عجلات القطار بقوة تجعله يتباطأ. وبناءً على تعريف كلٍّ من السرعة المتجهة والتسارع يمكن التعبير عما سبق كما يأتي: عندما تؤثر قوة في جسم ما فإنها تغير سرعته المتجهة؛ أي تُكْسبه تسارعًا.

إذا وضع كتاب على سطح طاولة فكيف يمكنك أن تحركه؟ هناك احتمالان: أن تدفعه، أو تسحبه. الدفع أو السحب قوتان تؤثران في الكتاب، وكلما زاد الدفع عليه أثّر بشكل أكبر في حركته. ولاتجاه القوة المؤثرة أيضًا تأثير رئيس في حركة الجسم؛ فإذا دفعت الكتاب إلى اليمين فإنه يتحرك في اتجاه يختلف عمّا إذا دفعته إلى اليسار. وسوف نستخدم الرمز ***F*** للتعبير عن القوة المتجهة (مقدار القوة واتجاهها).



الشكل 1–4 يُمثل الكتاب هنا النظام، وتؤثر كل من الطاولة واليد وكتلة الأرض (من خلال الجاذبية الأرضية) بقوى في الكتاب.

من الضروري عند دراسة تأثير قوة في حركة جسم ما، تحديد هذا الجسم. ويُطلق على هذا الجسم اسم "النظام"، وكل ما يحيط به ويؤثر فيه بقوة يسمى المحيط الخارجي. فالكتاب المبين في **الشكل 1–4** يمثل النظام، في حين تمثل اليد والجاذبية الأرضية أجزاءً من المحيط الخارجي الذي يمكن أن يتفاعل مع الكتاب عن طريق الدفع أو السحب، ويؤدي إلى احتمال تغيير حركته.

قوى التلامس (التماس) وقوى المجال
Contact Forces and Field Forces

تتولد **قوة التلامس (التماس)** عندما يلامس جسم من المحيط الخارجي النظام، ويؤثر فيه بقوة. فعندما تحمل كتاب الفيزياء تؤثر يدك فيه بقوة تلامس، أما إذا وضعته على الطاولة فإن قوة التلامس بين يدك والكتاب تتلاشى، بينما الطاولة الآن هي التي تؤثر في الكتاب بقوة تلامس.

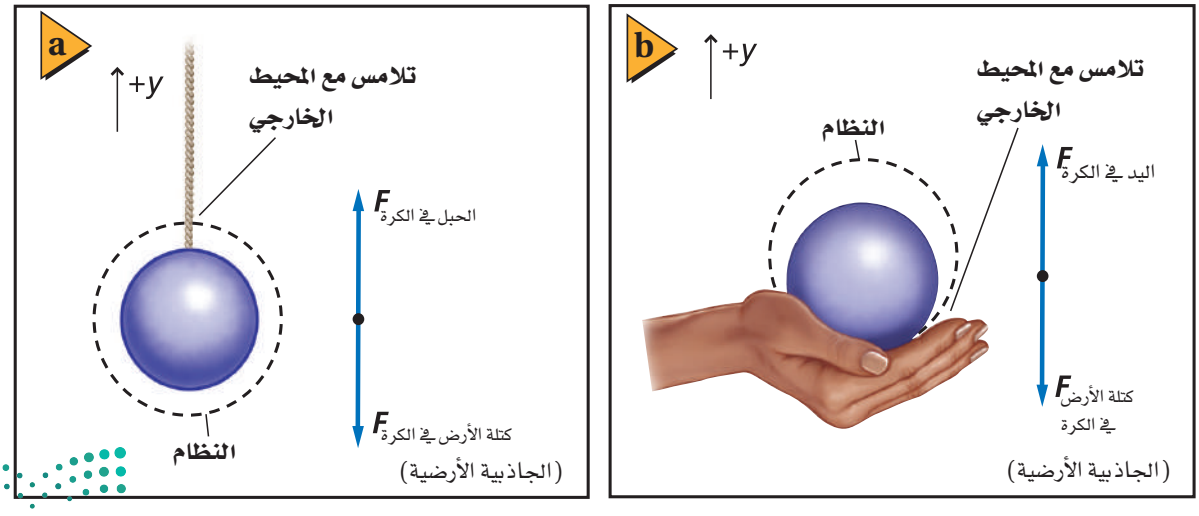
وهناك طُرق أخرى لتغيير حركة الكتاب؛ فمن الممكن أن تجعله يسقط في اتجاه الأرض، وفي هذه الحالة يتسارع بسبب الجاذبية الأرضية، كما درست في الفصل الثالث. إن قوة الجاذبية الأرضية هي التي تسبب هذا التسارع، وتؤثر في الكتاب سواء كان في حالة تلامس مع الأرض أم لا، ويطلق على مثل هذه القوة ومثيلاتها اسم **قوة المجال**، وهي تؤثر في الأجسام بغض النظر عن وجود تلامس فيما بينها من عدمه. وهناك أمثلة أخرى على هذا النوع من القوى كالقوى المغناطيسية.

ولكل قوة سبب معين يمكن تحديده يسمى المسبب. وحتى يمكن تحديد القوة يجب معرفة المسبب الذي يولدها، والنظام الذي تؤثر فيه هذه القوة.

فعلى سبيل المثال، عندما تدفع الكتاب فإن يدك (المسبب) تؤثر بقوة في الكتاب (النظام). وفي حالة عدم وجود كل من المسبب والنظام فإن هذا يعني عدم وجود قوة. ماذا عن الجاذبية الأرضية؟ إذا تركت الكتاب يسقط من يدك فإن المسبب هو كتلة الأرض التي تؤثر بقوة مجال في الكتاب.

مخططات الجسم الحر إذا كان استخدام النماذج التصويرية والمخططات التوضيحية للحركة مهمًّا في حل مسائل الحركة فإنه مهم أيضًا في تحليل الكيفية التي تؤثر بها القوى في حركة الأجسام. وأولى الخطوات في حل أي مسألة هي عمل نموذج تصويري. فعلى سبيل المثال، لتمثيل القوى المؤثرة في كرة مربوطة بخيط، أو تستند إلى راحة يدك، ارسم مخططات توضح كل حالة، كما في **الشكلين 2a–4** و **2b–4**، ثم ارسم دائرة حول النظام وحدد المواقع التي تؤثر فيها قوة التلامس، وقوى المجال.

ولتمثيل القوى المؤثرة في الكرة الموضحة في **الشكلين 2a–4** و **2b–4** فيزيائيًّا، استخدم مخطط الجسم الحر: مثّل الجسم بنقطة، ثم مثّل كل قوة بسهم أزرق يشير إلى الاتجاه الذي تؤثر فيه هذه القوة، مراعيًا أن يكون طول كل سهم متناسبًا مع مقدار القوة. وغالبًا يتم رسم هذه المخططات قبل معرفة مقدار جميع القوى. ويمكنك اللجوء إلى التقدير في مثل هذه الحالات. ارسم الأسهم دائمًا بحيث تشير اتجاهاتها بعيدًا عن الجسم، حتى عندما تمثل قوة دفع، واحرص على تسمية كل منها. استعمل الرمز ***F*** مع تحديد كل من المسبب والجسم الذي تؤثر فيه القوة أسفل الرمز، واختر اتجاهًا موجبًا تشير إليه بوضوح في مخططك. يتم اختيار الاتجاه الموجب عادة في اتجاه القوة الكبرى؛ فهذا يُسهِّل حل المسألة؛ وذلك بتقليل عدد القيم السالبة في عملية الحساب. ويسمى مثل هذا النموذج الفيزيائي الذي يمثل القوى المؤثرة في جسم ما **مخطط الجسم الحر**.



الشكل 2–4 لعمل نموذج فيزيائي للقوى المؤثرة في جسم، استخدم مخطط الجسم الحر، وارسم سهمًا لتمثيل كل قوة من القوى المؤثرة في الجسم، ثم سمِّ القوة ومسببها.

مسائل تدريبية

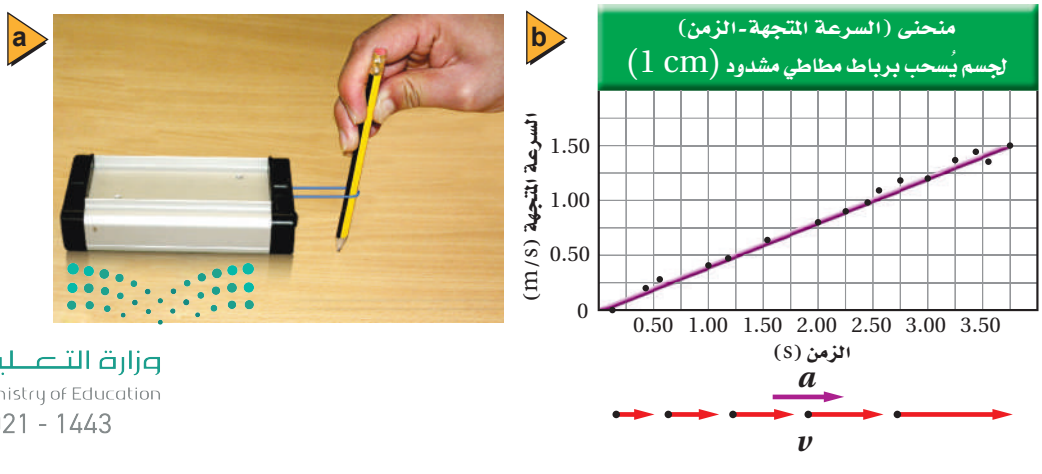
حدد النظام، وارسم مخطط الحركة، ومخطط الجسم الحر لكل من الحالات الآتية بتمثيل جميع القوى ومسبباتها، وتعيين اتجاه التسارع والقوة المحصلة، مراعيًا رسم المتجهات بأطوال مناسبة:

1. سقوط أصيص أزهار سقوطًا حرًّا (أهمل أي قوى تنشأ عن مقاومة الهواء).
2. هبوط مظلي خلال الهواء، وبسرعة متجهة منتظمة (يؤثر الهواء في المظلي بقوة إلى أعلى).
3. سلك يسحب صندوقًا بسرعة منتظمة على سطح أفقي (يؤثر السطح بقوة تقاوم حركة الصندوق).
4. رفْع دلو بحبل بسرعة منتظمة (أهمل مقاومة الهواء).
5. إنزال دلو بحبل بسرعة منتظمة (أهمل مقاومة الهواء).

القوة والتسارع Force and Acceleration

كيف يتحرك الجسم عندما تؤثر فيه قوة أو أكثر؟ من طُرق الإجابة عن هذا السؤال إجراء التجارب. ابدأ دائمًا بالحالة البسيطة، وعندما تستوعب هذه الحالة تمامًا يمكنك الانتقال إلى الحالات الأكثر تعقيدًا. ابدأ بقوة واحدة تؤثر أفقيًّا في جسم. يمكنك أيضًا تقليل التعقيدات الناتجة عن احتكاك الجسم مع السطح، وذلك بإجراء التجربة على سطح أملس مثل الجليد أو طاولة ذات سطح أملس، واستعمال جسم ذي إطارات تدور بسهولة، مما يقلل من مقاومة الحركة.

لتحديد العلاقة بين كل من القوة والتسارع والسرعة المتجهة تحتاج إلى التأثير في جسم ما بقوة ثابتة في اتجاه معين. لكن كيف يمكنك التأثير بمثل هذه القوة ؟ يؤثر الرباط المطاطي المشدود بقوة سحب، وكلما شددته أكثر زادت القوة التي يؤثر بها. وإذا كنت تشده دائمًا بالمقدار نفسه فإنك تؤثر بالقوة نفسها. يبين **الشكل 3a–4** رباطًا مطاطيًّا مشدودًا بمقدار ثابت 1 cm، يسحب جسمًا ذا مقاومة (احتكاك) قليلة. بإجراء هذه التجربة وتحديد السرعة المتجهة للجسم خلال فترة زمنية محددة، تستطيع إعداد رسم بياني يشبه ذلك الموضح في **الشكل 3b–4**. هل يختلف هذا الرسم البياني عما توقعته؟ ماذا تلاحظ على السرعة المتجهة؟ لاحظ أن الزيادة الثابتة في السرعة المتجهة هي نتيجة للتسارع الثابت الذي أكسبه الرباط المطاطي المشدود للجسم.

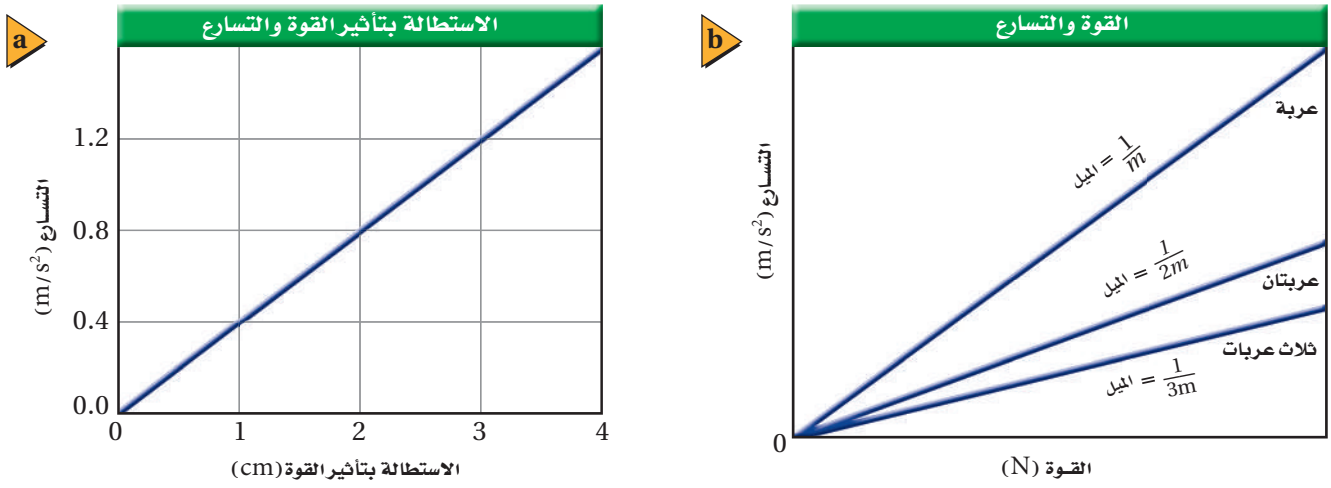


الشكل 3–4

a. يؤثر الرباط المطاطي المشدود بقوة ثابتة في الجسم الذي صُمِّمَ لتكون مقاومته قليلة.

b. يمكنك تمثيل حركة الجسم بيانيًّا والتي يتضح أنها علاقة خطية.

كيف يعتمد هذا التسارع على القوة؟ للإجابة عن ذلك؛ أعد التجربة بحيث يكون الرباط المطاطي مشدودًا بمقدار ثابت 2 cm. ثم كرّر التجربة مع شد الرباط المطاطي أكثر في كل مرة. مثّل بيانيًّا منحنى (السرعة المتجهة– الزمن) لكل من التجارب السابقة، ستلاحظ أن تلك المخططات تشبه ذاك المبين في **الشكل 3b–4**. احسب التسارع، ثم مثّل بيانيًّا قيمة كل من التسارع والقوة لكل المحاولات التي قمت بها، وبذلك تحصل على الرسم البياني للقوة–التسارع، كما في **الشكل 4a–4**. ما العلاقة بين القوة والتسارع؟ العلاقة خطية؛ فكلما كانت القوة أكبر كان التسارع الناتج أكبر. ويمكن التعبير عن هذه العلاقة باستخدام معادلة الخط المستقيم: $y = mx + b$.



الشكل 4–4

a. يبين الرسم البياني أنه كلما زادت القوة زاد التسارع.

b. ميل الرسم البياني (التسارع–القوة) يعتمد على عدد العربات.

ما المعنى الفيزيائي لميل كل من الخطوط البيانية في **الشكل 4b–4**؟ ربما تصف شيئًا يتعلق بالجسم المتسارع. ماذا يحدث إذا تغير الجسم؟ لنفترض أننا وضعنا عربة ثانية مماثلة فوق العربة الأولى، ثم وضعنا عربة ثالثة فوق العربتين، يبين **الشكل 4b–4** العلاقة البيانية بين القوة والتسارع لعربة واحدة، ولعربتين، ولثلاث عربات. ويظهر الرسم البياني أنه إذا لم تتغير القوة المؤثرة فإن تسارع العربتين سيقل إلى $\frac{1}{2}$ تسارع العربة الواحدة، وتسارع العربات الثلاث إلى $\frac{1}{3}$ تسارع العربة الواحدة. وهذا يعني أنه كلما زاد عدد العربات احتجنا إلى قوةٍ أكبر للحصول على التسارع نفسه. ويعتمد ميل كل من الخطوط في **الشكل 4b–4** على عدد العربات؛ أي يعتمد على مجموع كتلها. فإذا عُرِّف الميل k (بحسب الرسم البياني أعلاه) بأنه مقلوب الكتلة $\frac{1}{m}$، فإن $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{F}/m$ أو $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$. ومن العلاقة الخطية بين القوى والتسارع نجد أن:

$$\boldsymbol{a} \propto \boldsymbol{F}$$

وبالتعويض عن قيمة k

$$\boldsymbol{a} = k \times \boldsymbol{F}$$

$$\boldsymbol{a} = \frac{1}{m} \times \boldsymbol{F}$$

أي أن

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

ما الوحدات الدولية المستخدمة لقياس القوة؟ تعلم أن $F = ma$، وهذا يعني أن وحدة واحدة من القوة تجعل 1 kg من الكتلة يتسارع بمقدار $1\ m/s^2$؛ أي أن وحدة القوة هي $1\ kg.m/s^2$، أو ما اصطلح على تسميته "نيوتن"، ويرمز لها بالرمز N، ويعرف بالقوة التي تؤثر في جسم كتلته 1 kg فتكسبه تسارعًا مقداره $1\ m/s^2$ في اتجاهها. ويوضح **الجدول 1–4** مقادير بعض القوى الشائعة.

الجدول 1–4

القوى الشائعة	
الوصف	F (N)
قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في قطعة نقود معدنية من النيكل	0.05
قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في 0.45 kg من السكر	4.5
قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في شخص كتلته 70 kg	686
القوة المؤثرة في سيارة تتسارع	3000
قوة محرك صاروخ	5,000,000

جمع القوى Combining Forces

إذا دفعت أنت وزميلك طاولة في الاتجاه نفسه فإنها تكتسب تسارعًا أكبر مما لو دفعها كل منكما في اتجاه معاكس لاتجاه دفع الآخر. ماذا يحدث إذا دُفعت الطاولة بحيث أثر كلٌّ منكما فيها بقوة مقدارها 100 N؟ عندما تدفعان الطاولة في الاتجاه نفسه فإنها تكتسب ضعف التسارع الذي يمكن أن تكتسبه لو أثر فيها أحدكما بمفرده بقوة 100 N. أما عندما تدفعان الطاولة في اتجاهين متعاكسين، وبالمقدار نفسه من القوة، كما هو موضح في **الشكل 4–5a**، فإنها لن تتحرك.

ويبين كل من **الشكلين 4–5b** و **4–5c** مخطط الجسم الحر لكلتا الحالتين السابقتين، في حين يبين **الشكل 4–5d** مخطط الجسم الحر للحالة التي يقوم فيها زميلك بدفع الطاولة في الاتجاه المعاكس، بقوة تعادل ضعفي قوتك. لاحظ المتجه في أسفل كل مخطط، والذي يمثل القوة المحصلة للقوتين . عندما يكون متجهَا القوة في الاتجاه نفسه فإنه يمكن أن يحل محلهما متجه واحد، بحيث يساوي طوله مجموع طوليهما. وعندما يكون متجهَا القوة في اتجاهين متعاكسين فإن طول المتجه الناتج يساوي الفرق بين طولي المتجهين. ويطلق على مجموع المتجهات لجميع القوى التي تؤثر في جسم اسم **القوة المحصلة** ($F_{\text{المحصلة}}$).

الشكل 5–4

a. دفع الطاولة بقوتين متساويتين ومتعاكستين في الاتجاه.

b. القوة المحصلة لقوتين متساويتين في اتجاهين متعاكسين = صفر.

c. القوة المحصلة لقوتين متساويتين في الاتجاه نفسه = مجموعهما.

d. القوة المحصلة لقوتين غير متساويتين في اتجاهين متعاكسين = الفرق بينهما.

يمكنك كذلك تحليل الحالة رياضيًّا. افترض أنك دفعت الطاولة في الاتجاه الموجب بقوة 100 N في الحالات السابقة؛ ففي الحالة الأولى يقوم زميلك بالدفع بقوة سالبة مقدارها 100 N، وبجمع القوتين نحصل على قوة محصلة مقدارها 0 N، وهذا يعني أن الجسم لا يتحرك (لا يتسارع). أما في الحالة الثانية فإن قوة الدفع التي يؤثر بها كل منكما تساوي 100 N، لذا فإن القوة المحصلة تساوي 200 N، وهي تؤثر في الاتجاه الموجب، فتتسارع الطاولة في الاتجاه الموجب.

أما في الحالة الثالثة فإن القوة التي يؤثر بها زميلك تساوي (200 N−)، ولذلك فإن القوة المحصلة تساوي (100 N−)، لذا فإن الطاولة ستتسارع في الاتجاه السالب.

قانون نيوتن الثاني Newton's Second Law

يمكنك إجراء سلسلة من التجارب تقوم فيها أنت وزميلك بتغيير القوة المحصلة التي تؤثر في الطاولة وقياس التسارع في كل حالة. ستجد أن تسارع الطاولة يتناسب طرديًّا مع القوة المحصلة المؤثرة فيها، وعكسيًّا مع كتلتها $\boldsymbol{a} = \frac{\boldsymbol{F}_{\text{المحصلة}}}{m}$. فإذا كانت القوة المحصلة التي تؤثران بها معًا في الطاولة تساوي 100 N، فإن الطاولة ستتسارع بالمقدار نفسه الذي كانت ستتسارع به لو أثرت فيها وحدك بقوة تساوي 100 N. واستنادًا إلى ذلك يمكن إعادة كتابة العلاقة الرياضية بين كل من القوة والكتلة والتسارع بدلالة القوة المحصلة،

وهو ما يُعرف **بقانون نيوتن الثاني**، الذي يُمثل بالمعادلة الآتية:

قانون نيوتن الثاني $\boldsymbol{a = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m}}$

تسارع جسم يساوي محصلة القوى المؤثرة فيه مقسومة على كتلة الجسم.

لاحظ أن قانون نيوتن الثاني يمكن إعادة صياغته بالشكل: $\boldsymbol{F_{\text{المحصلة}} = ma}$ والـذي درسته سـابقًا. إذا كانت كتلة الطاولـــة التي دفعتهـــا أنت وزميلك 15.0 kg، ودفع كل منكما بقوة 50.0 N في الاتجاه نفسـه، فما تسـارع الطاولة؟ لإيجاد ذلك، احسـب القوة المحصلة 50.0 N + 50.0 N = 100.0 N، ثـم طبـق قانـون نيوتـن الثاني بقسـمة القوة المحصلة 100.0 N على كتلة الطاولة 15.0 kg، تحصل على تسارع يساوي $6.67\ m/s^2$.

هناك اسـتراتيجية مفيدة لتحديد كيف تعتمد حركة جسـم ما على القوى المؤثرة فيه. حدد أولاً جميع القوى التي تؤثر في الجسـم، ثم ارسـم مخطط الجسـم الحر مبينًـا الاتجاه والمقدار لـكل قـوة تؤثر في النظام، ثـم اجمع القوى لإيجـاد القوة المحصلة، واسـتعمل قانون نيوتن الثاني لحسـاب التسارع، وعند الضرورة استعمل الكينماتيكا (علم الحركة) لإيجاد السرعة المتجهـة أو موقع الجسـم. عندما تعلمـت الكينماتيكا في الفصلين الثاني والثالث، درسـت حركـة الأجسـام من دون اعتبار لمسـببات الحركة. أمـا الآن فتعلم أن القـوة المحصلة هي سبب تغير السرعة المتجهة؛ أي سبب التسارع.

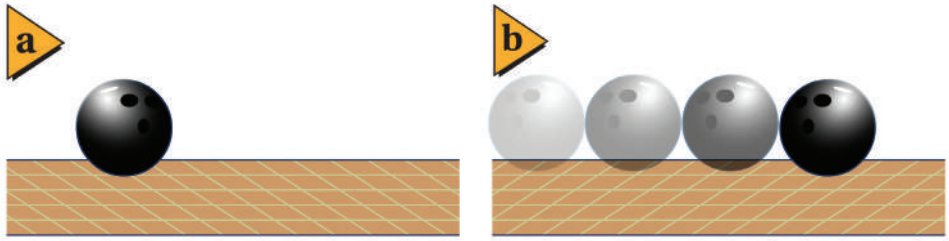
مسائل تدريبية

6. قوتـان أفقيتان إحداهما 225 N والأخـرى 165 N، تؤثران في قارب في الاتجاه نفسه. أوجد القوة الأفقية المحصلة التي تؤثر في القارب مقدارًا واتجاهًا.
7. إذا أثـرت القوتان السـابقتان في القارب في اتجاهين متعاكسـين فما القوة الأفقية المحصلة التي تؤثر فيه؟ تأكد من تحديد اتجاه القوة المحصلة.
8. تحاول ثلاثة خيول سحب عربة؛ أحدها يسحب إلى الغرب بقوة 35 N، والثاني يسـحب إلى الغـرب أيضًـا بقـوة 42 N، أمـا الأخير فيسـحب إلى الـشرق بقوة 53 N. احسب القوة المحصلة التي تؤثر في العربة.

قانون نيوتن الأول Newton's First Law

كيف تكون حركة الجسم عندما تؤثر فيه قوة محصلة مقدارها صفر؟ من المعروف أن الجسم الساكن يبقى في موقعه لأن القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا.

افترض أن كرة تتدحرج على سطح أفقي، فما الفترة الزمنية التي تستمر فيها بالتدحرج؟ تعتمد هذه الفترة على نوع السطح، فإذا دُحرجت الكرة على سطح أملس ذي مقاومة (احتكاك) قليلة مثل أرضية لعبة البولنج فسوف تتدحرج فترة زمنية طويلة، مع تناقص تدريجي في سرعتها المتجهة. أما إذا دُحرجت على سطح خشن كسجادة مقاومتها كبيرة، فسرعان ما تتوقف الكرة عن الحركة، وتصبح في حالة سكون كما هو موضح في **الشكل 6–4**. وقد صاغ نيوتن ما سبق فيما يسمّى **قانون نيوتن الأول**، وينص على أن الجسم يبقى على حالته من حيث السكون أو الحركة المنتظمة في خط مستقيم ما لم تؤثر فيه قوة محصلة تغير من حالته.



الشكل 6–4 الكرة الساكنة تبقى ساكنة (a) الكرة المتدحرجة بسرعة ثابتة وعلى خط مستقيم تبقى على دحرجتها دون توقف ما لم تؤثر عليها قوى خارجية (b).

القصور الذاتي يسمى قانون نيوتن الأول أحيانًا قانون القصور، فهل القصور قوة؟ لا؛ **فالقصور** هو ممانعة الجسم لأي تغيير في حالته من حيث السكون أو الحركة. فإذا كان الجسم ساكنًا فإنه يميل إلى أن يبقى كذلك، وإذا كان متحركا بسرعة متجهة ثابتة فإنه يميل إلى الاستمرار في اتجاه حركته نفسه وبالسرعة نفسها، كما يتضح في **الشكل 7–4**

الشكل 7–4 يندفع قائد المركبة بشدة نحو الأمام في السيارة التي تسير بسرعة متجهة ثابتة في حالة التوقف المباشر.

الاتزان وفقًا لقانون نيوتن الأول، فإن القوة المحصلة هي السبب في تغيير السرعة المتجهة لجسم ما، فإذا كانت القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما تساوي صفرًا كان الجسم في حالة **اتزان**. وهكذا يكون الجسم في حالة اتزان إذا كان ساكنًا، أو متحركًا بسرعة منتظمة. لاحظ أن سكون الجسم هو حالة خاصة من حركته بسرعة منتظمة تكون سرعته فيها صفرًا. يُعرِّف قانون نيوتن الأول القوة المحصلة على أنها كل ما يُحدث اضطرابًا في حالة الاتزان. لذلك فإنه إذا كان مقدار القوة المحصلة التي تؤثر في جسم يساوي صفرًا فإنه لن يتعرض لأي تغيير في مقدار سرعته أو اتجاهه، ومن ثم يبقى في حالة اتزان.

عند فهم وتطبيق قانوني نيوتن الأول والثاني ستتمكن من تحديد مقادير القوى التي تتعامل معها نسبيًّا، حتى في الحالات التي لا يوجد فيها أرقام. راجع **الجدول 2–4** الذي يحتوي على بعض أنواع القوى التي ستتعامل معها في دراستك للفيزياء.

تطبيق الفيزياء

دفع محرك المكوك كلّ محرك من محركات مكوك الفضاء الرئيسة يزوّد المكوك بقوة دفع تقدر بـ 1.6 million N، وتستمد هذه المحركات طاقتها من عملية احتراق الهيدروجين والأكسجين.

الجدول 2–4

بعض أنواع القوى

القوة	الرمز	التعريف	الاتجاه
الاحتكاك (*Friction*)	f_f	قوة تلامُس تؤثر في اتجاه معاكس للحركة الانزلاقية بين السطوح.	موازية للسطح في عكس اتجاه الحركة الانزلاقية.
العمودية (*Normal*)	F_N	قوة تلامُس يؤثر بها سطح في جسم ما.	عمودية على سطحي التلامس بين السطح والجسم في اتجاه الخارج.
النابض (*Spring*)	F_{sp}	قوة النابض (الإرجاع) : أي قوة الدفع أو السحب التي يؤثر بها نابض في جسم ما.	في عكس اتجاه إزاحة الجسم.
الشد (*Tension*)	F_T	قوة يؤثر بها خيط أو حبل أو سلك في جسم متصل به، وتؤدي إلى سحبه.	تؤثر عند نقطة الاتصال في اتجاه مواز للخيط أو الحبل أو السلك، ومبتعدة عن الجسم.
الدفع (*Thrust*)	F_{thrust}	قوى تحرك أجسامًا مثل الصاروخ والطائرة والسيارة والأشخاص.	في اتجاه تسارع الجسم عند إهمال المقاومة.
الوزن (*Weight*)	F_g	قوة مجال تنتج عن الجاذبية الأرضية بين جسمين.	إلى أسفل في اتجاه مركز الأرض.
المحصلة (*Net Force*)	F_r	مجموع المتجهات لجميع القوى التي تؤثر في جسم.	المتجه من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الأخير.

4–1 مراجعة

9. القوة صنّف كلا من: الوزن، الكتلة، القصور الذاتي، الدفع باليد، الدفع، مقاومة الهواء، قوة النابض، والتسارع إلى :

a. قوة تلامس **b.** قوة مجال **c.** ليست قوة

10. القصور الذاتي هل يمكن أن تشعر بالقصور الذاتي لقلم رصاص أو كتاب؟ إذا كنت تستطيع فصف ذلك.

11. مخطط الجسم الحر ارسم مخطط الجسم الحر لكيس مليء بالسكر ترفعه بيدك بسرعة منتظمة. حدد النظام، وسمّ جميع القوى مع مسبباتها، وارسم أسهمًا بأطوال صحيحة.

12. مخطط الجسم الحر ارسم مخطط الجسم الحر لدلو ماء تُرفع بحبل بسرعة متناقصة. حدد النظام، وسمّ جميع القوى مع مسبباتها، وارسم أسهمًا بأطوال صحيحة.

13. اتجاه السرعة المتجهة إذا دفعت كتابًا إلى الأمام، فهل يعني هذا أن سرعته المتجهة ستكون في الاتجاه نفسه؟

14. التفكير الناقد تؤثر قوة مقدارها 1 N في مكعب خشبي فتكسبه تسارعًا معلومًا. عندما تؤثر القوة نفسها في مكعب آخر فإنها تكسبه ثلاثة أمثال تسارعه. ماذا تستنتج حول كتلة كل من هذين المكعبين؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–2 استخدام قوانين نيوتن Using Newton's laws

يربط قانون نيوتن الثاني بين السبب في تغير السرعة المتجهة للجسم ومقدار الإزاحة الناتجة، ويحدد كذلك العلاقة بين القوة المحصلة التي تؤثر في جسم وتسارع هذا الجسم.

الأهداف

- **تصف** العلاقة بين وزن الجسم وكتلته.
- **تقارن** بين الوزن الحقيقي والوزن الظاهري.

المفردات

الوزن الظاهري
القوة المعيقة
السرعة الحدية

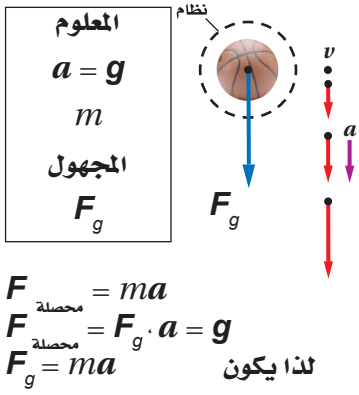
استخدام قانون نيوتن الثاني Using Newton's Second Law

تأمَّل كلًّا من النموذجين: التصويري والفيزيائي لكرة تسقط سقوطًا حرًّا في **الشكل 8–4**. ما القوى التي تؤثر في الكرة؟ بما أن الكرة لا تلمس أي شيء، ولأن مقاومة الهواء مهملة فإن القوة الوحيدة التي تؤثر فيها هي F_g، وحيث إن تسارع الكرة هو g (كما درست في الفصل الثالث) فإن القانون الثاني لنيوتن يصبح $F_g = mg$. ولعلك تلاحظ من خلال العلاقة السابقة أن القوة والتسارع يؤثران إلى أسفل، وأن مقدار وزن الجسم يساوي كتلته مضروبة في التسارع الذي يكتسبه نتيجةً للسقوط الحر. ومن الضروري أن تدرك أن قوة الجاذبية الأرضية تؤثر في الجسم حتى لو لم يسقط سقوطًا حرًّا.

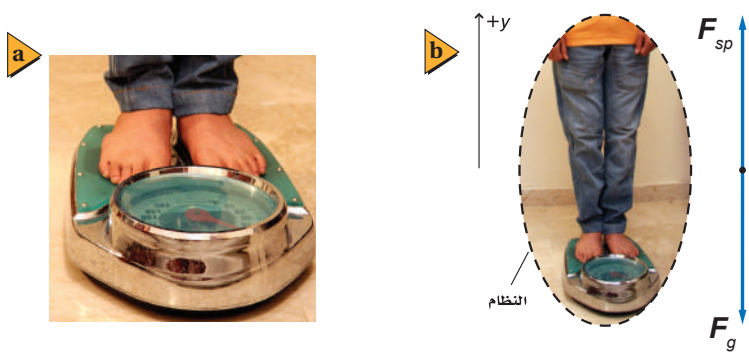
هذه النتيجة صحيحة على الأرض، وعلى أي كوكب آخر، بالرغم من أن مقدار g يختلف على الكواكب الأخرى. وبسبب أن قيمة g على سطح القمر أقل كثيرًا من قيمتها على سطح الأرض، لذا فإن وزن أي جسم على سطح القمر يصبح أقل إلى السدس منه على سطح الأرض رغم أن الكتلة لم تتغير.

الموازين تحتوي بعض الموازين المنزلية على نوابض، وعندما تقف على الميزان يؤثر فيك بقوة إلى أعلى لأنك تلامسه. ولأنك لا تتسارع فإن القوة المحصلة المؤثرة فيك تساوي صفرًا، وهذا يعني أن قوة النابض F_{sp} التي تدفعك إلى أعلى تساوي مقدار قوة وزنك F_g التي تؤثر فيك إلى أسفل، كما هو مبين في **الشكل 9–4**. وتُحدد قراءة الميزان بواسطة القوة التي تؤثر بها نوابضه فيك. لذا فإن ما يقيسه الميزان المنزلي هو الوزن، وليست الكتلة، ولسهولة التحويل بين الكتلة والوزن فإن الميزان يُدرّج بحيث يُعطينا الكتلة. أما إذا كنت على كوكب آخر فإن مقدار انضغاط النابض سيختلف، وستكون قراءته مختلفة. تذكر أن الكيلوجرام هو الوحدة الدولية للتعبير عن الكتلة، ولأن الوزن قوة فإن الوحدة الدولية المستخدمة للتعبير عنه هي النيوتن.

الشكل 8–4 القوة المحصلة المؤثرة في الكرة هي قوة الوزن F_g.



$$F_{\text{محصلة}} = ma$$
$$F_{\text{محصلة}} = F_g \cdot a = g$$
$$F_g = ma$$ لذا يكون



الشكل 9–4

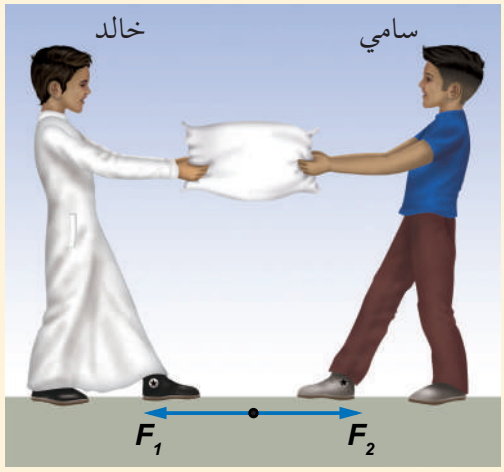
a. إن قوة النابض التي تؤثر إلى أعلى في الميزان المنزلي تساوي مقدار قوة وزنك عندما تقف فوقه.

b. يبين مخطط الجسم الحر أن النظام متزن؛ لأن قوة النابض تساوي وزنك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

مثـــال 1

كان خالد يمسك وسادة كتلتها 0.30 kg عندما حاول سامي أن يأخذها منه. فإذا سحب سامي الوسادة أفقيًّا بقوة 10.0 N، وسحبها خالد بقوة أفقية تساوي 11.0 N، فما التسارع الأفقي للوسادة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطط الحالة.
- حدد الوسادة باعتبارها "النظام"، واعتبر الاتجاه الذي يسحبها فيه خالد هو الاتجاه الموجب.
- ارسم مخطط الجسم الحر، وسمّ جميع القوى.

المعلوم	المجهول
$m = 0.30\ \text{kg}$	$a = ?$
$F_{\text{خالد في الوسادة}} = 11.0\ \text{N}$	
$F_{\text{سامي في الوسادة}} = 10.0\ \text{N}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$F_{\text{المحصلة}} = F_{\text{خالد في الوسادة}} + (-F_{\text{سامي في الوسادة}})$$

استخدم قانون نيوتن الثاني

$$a = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m}$$

بالتعويض $F_{\text{خالد في الوسادة}} = 11.0\ \text{N}$، $m = 0.30\ \text{kg}$، $F_{\text{سامي في الوسادة}} = 10.0\ \text{N}$

$$= \frac{11.0\ \text{N} - 10.0\ \text{N}}{0.30\ \text{kg}}$$

$$= 3.3\ \text{m/s}^2 \quad \text{في الاتجاه الموجب}$$

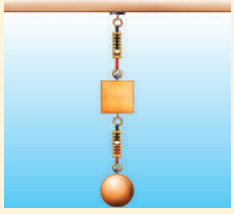
دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 216، 217

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** m/s^2 هي الوحدة الصحيحة للتسارع.
- **هل للإشارات معنى؟** التسارع في الاتجاه الموجب، وهو متوقع لأن خالدًا يسحب نحو الاتجاه الموجب بقوة أكبر من القوة التي يسحب فيها سامي نحو اليمين.
- **هل الجواب منطقي؟** إن مقدار التسارع منطقي بالنسبة إلى وسادة خفيفة.

مسائل تدريبية


الشكل 10–4

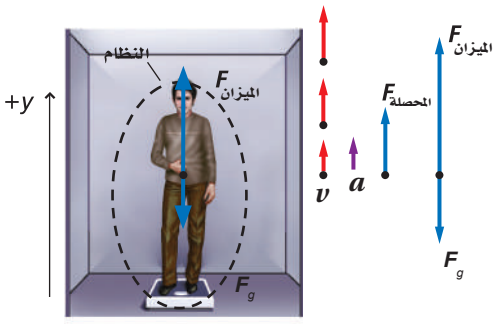
15. ما وزن بطيخة كتلتها 4.0 kg؟

16. يتعلم أحمد التزلج على الجليد، ويساعده أبوه بأن يسحبه بحيث يكتسب تسارعًا مقداره $0.80\ \text{m/s}^2$. فإذا كانت كتلة أحمد 27.2 kg فما مقدار القوة التي يسحبه بها أبوه؟ (أهمل المقاومة بين الجليد وحذاء التزلج).

17. تمسك أمل وسارة معًا بقطعة حبل كتلتها 0.75 kg، وتشد كل منهما في الاتجاه المعاكس للأخرى. فإذا سحبت أمل بقوة 16.0 N، وتسارع الحبل بالمقدار $1.25\ \text{m/s}^2$ مبتعدًا عنها، فما القوة التي تسحب بها سارة الحبل؟

18. يبين الشكل 10–4 مكعبًا خشبيًّا كتلته 1.2 kg، وكرة كتلتها 3.0 kg. ما قراءة كل من الميزانين؟ (أهمل كتلة الميزانين).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443



الشكل 11–4 إذا وقفت على ميزان داخل مصعد يتسارع إلى أعلى فإن الميزان يؤثر إلى أعلى بقوة أكبر من قوة وزنك التي تكون إلى أسفل.

الوزن الظاهري ما الوزن؟ تُعرف قوة الوزن على أنها $F_g = mg$، وتتغير F_g كلما تغيرت g. وتعد قيمة g ثابتة تقريبًا على سطح الأرض أو بالقرب منه، ولذلك فإن وزن جسم ما لا يتغير كثيرًا من مكان إلى آخر على سطح الأرض. تعلمت أن الميزان المنزلي يقرأ وزنك بشكل صحيح إذا كانت القوة الوحيدة التي تؤثر فيك إلى أعلى ناتجة عنه. لكن، ماذا يقرأ الميزان لو وقفت عليه بقدم واحدة بينما القدم الأخرى على الأرض، أو إذا ضغط زميلك على كتفيك إلى أسفل، أو ضغط على مرفقيك إلى أعلى؟ في هذه الحالات ستكون هناك قوى تلامس أخرى تؤثر فيك، لذا فإن الميزان لن يقرأ وزنك الحقيقي. ماذا يحدث إذا وقفت على ميزان داخل مصعد؟ ما دام المصعد متزنًا فإن الميزان يقرأ وزنك، وماذا يقرأ الميزان إذا تسارع المصعد إلى أعلى؟ يبين **الشكل 11–4** النموذجين التصويري والفيزيائي لهذه الحالة، فأنت تمثل النظام، والاتجاه الموجب إلى أعلى.

ولأن النظام يتسارع إلى أعلى فإن القوة التي يؤثر بها الميزان إلى أعلى يجب أن تكون أكبر من وزنك، وستكون قراءة الميزان أكبر من وزنك وستشعر بأنك أثقل، وأن أرضية المصعد تضغط على قدميك. من جهة أخرى إذا ركبت في مصعد يتسارع إلى أسفل فستشعر أنك أخف، وستكون قراءة الميزان أقل من وزنك. وتسمى القوة التي يؤثر بها الميزان **الوزن الظاهري**.

استراتيجيات حل المسألة

القوة والحركة

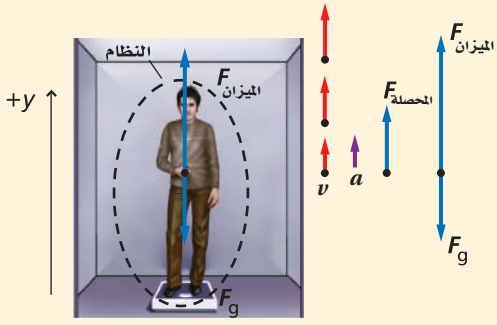
عند حل مسائل القوة والحركة استخدم الاستراتيجيات الآتية:

1. اقرأ المسألة بعناية وارسم نموذجًا تصويريًّا.
2. ضع دائرة حول النظام واختر نظامًا إحداثيًّا.
3. حدد الكميات المعلومة والمجهولة.
4. اعمل نموذجًا فيزيائيًّا؛ وذلك برسم مخطط توضيحي للحركة يبين اتجاه التسارع، وارسم مخطط الجسم الحر لبيان القوة المحصلة.
5. استخدم قوانين نيوتن للربط بين كل من التسارع والقوة المحصلة.
6. أعد ترتيب المعادلة لحل المسألة وإيجاد المجهول.
7. عوض الكميات المعلومة مع وحداتها في المعادلة، وأوجد الإجابة.
8. اختبر نتائجك للتأكد من أنها منطقية.

مثـــــال 2

الوزن الحقيقي والوزن الظاهري افترض أن شـخصًا ما يقف على ميزان في مصعد، وأن كتلته تسـاوي 75.0 kg. في البداية كان المصعد ساكنًا، ثم تسارع إلى أعلى بمقدار $2.00\ m/s^2$ لمدة 2.00 s، ثم تابع حركته إلى أعلى بسرعة منتظمة. هل تكون قراءة الميزان في أثناء تسارع المصعد أكبر، أم مساوية، أم أقل من القراءة التي سجلها عندما كان المصعد ساكنًا؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم مخطط الحالة للمسألة.
- اختر نظامًا إحداثيًّا يكون فيه الاتجاه الموجب كما هو موضح في الرسم.
- ارسم نموذج الجسم النقطي لكل من a و v.
- ارسم مخطط الجسم الحر. لاحظ أن اتجاه القوة المحصلة في اتجاه التسارع نفسه، وهذا يعني أن القوة إلى أعلى أكبر من القوة إلى أسفل.

المعلوم	المجهول
$m = 75.0\ kg$ $\boldsymbol{a} = 2.00\ m/s^2$	$F_{\text{الميزان}} = ?$
$t = 2.00\ s$ $\boldsymbol{g} = 9.80\ m/s^2$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$F_{\text{المحصلة}} = ma$$

$$F_{\text{المحصلة}} = F_{\text{الميزان}} + (-F_g)$$

$$F_{\text{الميزان}} = F_{\text{المحصلة}} + F_g$$

F_g سالبة لأنها في الاتجاه السالب للنظام الإحداثي

لحساب $F_{\text{الميزان}}$ نستخدم

عندما يكون المصعد في حالة سكون

$$F_{\text{الميزان}} = F_{\text{المحصلة}} + F_g$$

المصعد لا يتسارع لذلك $F_{\text{المحصلة}} = 0.00\ N$

$$= F_g$$

بالتعويض $F_{\text{المحصلة}} = 0.0\ N$

$$= mg$$

بالتعويض $F_g = mg$

$$= (75.0\ kg)\ (9.80\ m/s^2)$$

بالتعويض $m = 75.0\ kg$ ، $g = 9.80\ m/s^2$

$$= 735\ N$$

عندما يتسارع المصعد

$$F_{\text{الميزان}} = F_{\text{المحصلة}} + F_g$$

$$= ma + mg$$

$$= m\ (a + g)$$

$$= 75.0\ kg\ (2.00\ m/s^2 + 9.80\ m/s^2)$$

$$= 885\ N$$

قراءة الميزان في أثناء تسارع المصعد أكبر من قراءته عندما كان المصعد ساكنًا.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $kg.m/s^2$ هي وحدة القوة (النيوتن).
- **هل للإشارات معنى؟** تتفق الإشارة الموجبة مع النظام الإحداثي.
- **هل الجواب منطقي؟** إن قراءة الميزان $F_{\text{الميزان}}$ في أثناء تسارع المصعد أكبر من قيمتها عندما يكون المصعد ساكنًا، لذلك فإن الجواب منطقي.

مسائل تدريبية

19. يبين ميزانك المنزلي أن وزنك 585 N.

a. ما كتلتك؟

b. كيف تكون قراءة الميزان نفسه على سطح القمر؟ (تسارع الجاذبية على القمر $= 1.6\ m/s^2$).

20. استخدم نتائج **المثال 2** للإجابة عن مسائل حول ميزان داخل مصعد. ما القوة التي يؤثر بها الميزان في شخص يقف داخله في الحالات الآتية؟

a. يتحرك المصعد بسرعة منتظمة.

b. يتباطأ المصعد بمقدار $2.00\ m/s^2$ في أثناء حركته إلى أعلى.

c. تزداد سرعته بمقدار $2.00\ m/s^2$ في أثناء حركته إلى أسفل.

d. يتحرك المصعد إلى أسفل بسرعة منتظمة.

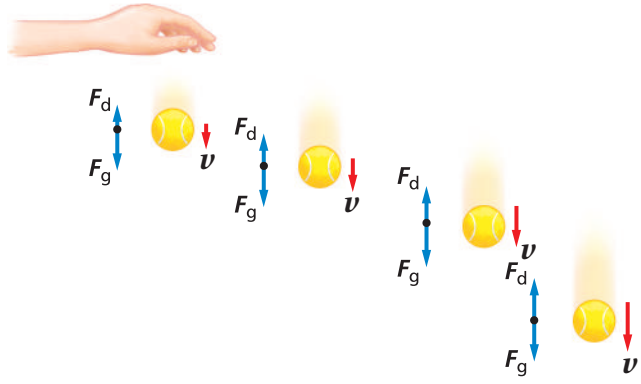
e. يتباطأ المصعد بمقدار ثابت حتى يتوقف.

القوة المعيقة والسرعة الحدّية
Drag Force and Terminal Velocity

تؤثر دقائق الهواء في الأجسام التي تتحرك خلاله. وفي الحقيقة يؤثر الهواء بقوة كبيرة في الأجسام المتحركة، ونظرًا لأنه في أكثر الحالات يؤثر في جميع جوانب الجسم بقوة متوازنة فإن تأثيره يكون غير واضح.

من باب التبسيط أهملنا تأثير قوة الهواء في جسم يتحرك خلاله، إلاّ أنه في الواقع عندما يتحرك جسم خلال وسط مائع مثل الهواء أو الماء، فإن المائع يؤثر فيه بقوة معيقة في اتجاه يعاكس حركته. ويمكن تعريف **القوة المعيقة** بأنها قوة الممانعة التي يؤثر بها مائع في جسم يتحرك خلاله. وتعتمد هذه القوة على حركة الجسم؛ فكلما زادت سرعة الجسم زاد مقدار هذه القوة، كما تعتمد على خصائص الجسم، ومنها شكله وحجمه، وخصائص المائع، ومنها لزوجته ودرجة حرارته.

إذا سقطت كرة تنس الطاولة، كما هو موضح في **الشكل 12–4**، فإن سرعتها المتجهة تكون صغيرة في البداية، لذا تكون القوة المعيقة F_d المؤثرة فيها صغيرة. ولأن قوة الجاذبية الأرضية (اتجاهها إلى أسفل) أكبر كثيرًا من القوة المعيقة (اتجاهها إلى أعلى) فإن الكرة تتسارع إلى أسفل. وكلما ازدادت السرعة المتجهة للكرة ازدادت معها القوة المعيقة، إلى أن تتساوى القوتان فتصبح القوة المحصلة المؤثرة في الكرة مساوية صفرًا، وكذلك تسارعها، وهنا تتابع الكرة هبوطها بسرعة منتظمة. وهذه السرعة المتنظمة التي تصل إليها الكرة عندما تتساوى القوة المعيقة مع قوة الجاذبية الأرضية تسمى **السرعة الحدّية**.



الشكل 12–4 تزداد القوة المعيقة للجسم الذي يسقط سقوطًا حرًّا كلما زادت سرعته. وعندما تصل القوة المعيقة إلى الحد الذي تصبح فيه مساوية لقوة الجاذبية يصبح تسارع الجسم صفرًا.

وفي حالات سقوط الأجسام الخفيفة ذات السطوح الكبيرة يكون للقوة المعيقة تأثير ملحوظ في حركتها، وسرعان ما تصل هذه الأجسام إلى السرعة الحدّية.

أما الأجسام الثقيلة ذات السطوح الصغيرة فيكون تأثرها بالقوة المعيقة أقل كثيرًا. فعلى سبيل المثال تكون السرعة الحدّية لكرة تنس في الهواء 9 m/s، ولكرة السلة 20 m/s، أما في حالة كرة البيسبول فتصل إلى 42 m/s. ولا بد أنك قد لاحظت كيف يقوم المظليون بزيادة أو تقليل سرعتهم الحدية قبل أن تُفتح مظلاتهم، من خلال تغيير اتجاه حركة أجسامهم وهيئاتها.

أما الجسم الذي يتخذ هيئة الصقر المجنح فله سرعة حدّية صغيرة جدًّا قد تصل إلى 6 m/s. وعندما يفتح المظلي مظلته فإن هيئته تتغير، ويصير جزءًا من جسم كبير (المظلي + المظلة)، وتؤثر فيه قوة معيقة كبيرة، وتصبح سرعته الحدية قليلة (5 m/s تقريبًا).

مسألة تحفيز

تنطلق عربة كتلتها 0.50 kg، وتعبر من خلال بوابة كهروضوئية (PHOTOELECTRIC GATE) بسرعة ابتدائية مقدارها 0.25 m/s، وتؤثر فيها لحظة عبورها قوة ثابتة مقدارها 0.40 N في اتجاه حركتها نفسه.

1. ما تسارع العربة؟
2. إذا استغرقت العربة 1.3 s حتى عبورها إلى البوابة الثانية، فما المسافة بين البوابتين؟
3. إذا أثرت القوة 0.40 N في العربة عن طريق ربط خيط بالعربة، ومُرّر طرف الخيط الآخر فوق بكرة عديمة الاحتكاك، ثم ربط بكتلة تعليق m، فما مقدار كتلة التعليق m؟
4. اشتق معادلة الشد في الخيط بدلالة كل من كتلة العربة M، وكتلة التعليق m، وتسارع الجاذبية الأرضية g.

4–2 مراجعة

21. **جاذبية القمر** قارن بين القوة اللازمة لرفع صخرة كتلتها 10 kg على سطح الأرض، وتلك اللازمة لرفع الصخرة نفسها على سطح القمر. علمًا بأن تسارع الجاذبية على القمر يساوي $1.62\ m/s^2$.

22. **الوزن الحقيقي والظاهري** إذا كنت تقف على ميزان في مصعد سريع يصعد بك إلى أعلى بناية، ثم يهبط بك إلى حيث انطلقت. خلال أي مراحل رحلتك كان وزنك الظاهري مساويًا لوزنك الحقيقي، أكثر من وزنك الحقيقي، أقل من وزنك الحقيقي؟ ارسم مخطط الجسم الحر لكل حالة لدعم إجاباتك.

23. **التسارع** يقف شخص كتلته 65 kg فوق لوح تزلج على الجليد. إذا اندفع هذا الشخص بقوة 9.0 N فما تسارعه؟

24. **حركة المصعد** ركبت مصعدًا وأنت تمسك بميزان علّق فيه جسم كتلته 1 kg، وعندما نظرت إلى الميزان كانت قراءته 9.3 N. ماذا تستنتج بشأن حركة المصعد في تلك اللحظة؟

25. **كتلة** تلعب نورة مع زميلتها لعبة شد الحبل مستخدمةً دميةً. في لحظة ما خلال اللعبة سحبت نورة الدمية بقوة 22 N وسحبت زميلتها الدمية بقوة معاكسة مقدارها 19.5 N، فكان تسارع الدمية $6.25\ m/s^2$. ما كتلة الدمية؟

26. **تسارع** هبط مظلّي بسرعة منتظمة متخذًا هيئة الصقر المجنح. هل يتسارع المظلي بعد فتح مظلته؟ إذا كانت إجابتك نعم ففي أي اتجاه؟ فسر إجابتك باستخدام قوانين نيوتن.

27. **التفكير الناقد** يعمل حسن في مستودع، ومهمته تحميل المخزون في شاحنات حمولة كل منها 10000 N. يتم وضع الصناديق الواحد تلو الآخر فوق حزام متحرك قليل الاحتكاك لينقلها إلى الميزان، وعند وضع أحد الصناديق الذي يزن 1000 N تعطَّل الميزان. اذكر طريقة يمكن بها تطبيق قوانين نيوتن لتحديد الكتل التقريبية للصناديق المتبقية.

4–3 قوى التأثير المتبادل Interaction Forces

الأهداف

- **تُعرّف** قانون نيوتن الثالث.
- **تُوضّح** قوى الشد التي تنشأ في الخيوط والحبال من خلال قانون نيوتن الثالث.
- **تُعرّف** القوة العمودية.
- **تُحدّد** مقدار القوة العمودية من خلال تطبيق قانون نيوتن الثاني.

المفردات

أزواج التأثير المتبادل
قانون نيوتن الثالث
قوة الشد
القوة العمودية

عرفتَ أنه إذا أثر مسبّب بقوة محصلة في جسم فإن الجسم يتسارع. وعرفتَ أيضًا أن هذه القوة يمكن أن تكون قوة مجال أو قوة تلامس. لكن ما الذي يسبب القوة؟ إذا قربت مغناطيسين أحدهما إلى الآخر فإنك تشعر بأن كلًّا منهما يسحب الآخر أو يدفعه، وكذلك إذا ضغطت بقدمك على عتلة فإنها تضغط على قدمك في الاتجاه المعاكس، لكن أيهما المسبب وأيهما الجسم؟

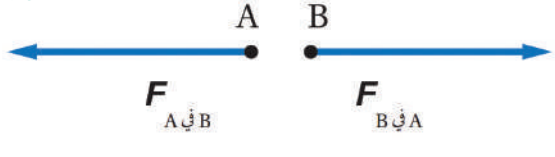
تمييز قوى التأثير المتبادل
Identifying Interaction Forces

تصور أنك ارتديت حذاء التزلج بالإضافة إلى جميع ملابس الأمان المناسبة، وكذلك فعلَ صديقك. فإذا دفعت ظهره بيديك لكي يبدأ التزلج إلى الأمام، فما الذي يحدث لك؟ سوف تتحرك إلى الخلف. لماذا؟ تذكر أن القوة تنتج عن تأثير متبادل بين جسمين، فأنت حين تدفع صديقك تتلامس معه وتؤثر فيه بقوة تجعله يتحرك إلى الأمام. لأنه في حالة تلامس معك فإنه يؤثر فيك بقوة تؤدي إلى تغير في حركتك.

تكون القوى دائمًا على شكل أزواج. اعتبر نفسك (الطالب A) تمثل نظامًا، وأن صديقك (الطالب B) يمثل نظامًا آخر. ما القوى الأفقية التي تؤثر في كل من هذين النظامين؟ يبين **الشكل 13–4** مخطط الجسم الحر للنظامين. وبتأمل هذا المخطط ستلاحظ أن كل نظام يتلقى من النظام الآخر قوة تؤثر فيه.

القوتان $F_{\text{A في B}}$ و $F_{\text{B في A}}$ نسميهما **زوجي التأثير المتبادل**، وهما قوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، ويطلق عليهما أحيانًا قوتا الفعل ورد الفعل؛ حيث لا يمكن أن تظهر إحداهما دون الأخرى. وقد يشير ظاهر هذه العبارة إلى أن أحدهما يسبب الآخر، لكن هذا غير صحيح. فعلى سبيل المثال، لم تُنتج القوة التي دفعت بها صديقك القوةَ التي أثرت فيك ودفعتك إلى الخلف؛ فكلتا القوتين نتجت عن التلامس بينكما.

الشكل 13–4 عندما تؤثر بقوة في صديقك لتدفعه إلى الأمام فإنه يؤثر فيك بقوة مساوية ومعاكسة تدفعك إلى الخلف.



قانون نيوتن الثالث Newton's Third Law

إن القـوة التـي تؤثّر في صديقك تسـاوي في المقدار وتعاكس في الاتجاه القـوة التي يؤثّر بها صديقك فيك، وهذا يتلخص في **قانون نيوتن الثالث** الذي ينص على أن جميع القوى تظهر على شـكل أزواج، وتؤثر قوتا كل زوج في جسـمين مختلفين، وهما متسـاويتان في المقدار، ومتضادتان في الاتجاه.

قانون نيوتن الثالث

$$F_{\text{A في B}} = -F_{\text{B في A}}$$

القوة التي يؤثر بها A في B تسـاوي في المقدار وتعاكس في الاتجاه القوة التي يؤثر بها B في A.

افـترض أنـك تمسـك كتابًا بيدك، وارسـم مخطط الجسـم الحـر الخاص بـك، ومخططًا آخر للكتاب. هل هناك أزواج تأثير متبادل؟ عند تمييز أزواج التأثير المتبادل في مخططات الجسم الحـر يجـب أن تدرك أن كلًّا منها يؤثر في جسـم مختلف. ففي هذه الحالـة هناك فقط زوجا تفاعل هما: الكتاب في اليد F و اليد في الكتاب F.

الشـكل 14–4 كـرة قـدم على طاولـة موضوعة على الأرض. لاحظ أن الكـرة والطاولـة تشـكلان زوجـي تأثـير متبـادل وكذلك الطاولـة والأرض والكرة والأرض.

لاحـظ أيضًا أن لكل جسـم وزنًا. فـإذا كانت قوة الوزن نتيجة للتأثـير المتبادل بين كل من الجسم وكتلة الأرض فلا شك أن الجسم يؤثر بقوة في الأرض، وإذا كان الأمر كذلك أفلا يجب أن تتسارع الأرض؟

ضـع كـرة قدم بحيث تسـتقر فوق الطاولة، والطاولة بدورها تسـتقر عـلى الأرض، كما في **الشـكل 14–4**. حلـل أولاً القـوى المؤثرة في الكرة: تؤثر الطاولـة في الكرة بقوة إلى أعلى، وتؤثـر كتلـة الأرض في الكـرة بقوة الجاذبيـة الأرضية. وعلى الرغم مـن أن هاتين القوتين متعاكستان في الاتجاه، وتؤثران في الجسم نفسه، إلا أنهما ليستا زوجي تأثير متبادل، بل مجرد قوتين تؤثران في الجسم نفسه.

لننظر الآن إلى الكرة والطاولة، فبالإضافة إلى القوة التي تؤثر بها الطاولة في الكرة إلى أعلى، فـإن الكرة تؤثر في الطاولة بقوة إلى أسـفل، وهذا يشـكل زوجي تأثير متبادل، كما تشـكل الكرة والأرض زوجي تأثير متبادل. لذلك فإن أزواج التأثير المتبادل للكرة في الطاولة هي:

$$F_{\text{الكرة في الطاولة}} = -F_{\text{الطاولة في الكرة}}$$

كذلك

$$F_{\text{الكرة في الأرض}} = -F_{\text{الأرض في الكرة}}$$

إن التسارع الذي تكتسبه الكرة الأرضية من قوة جسم يتفاعل معها يكون عادة متناهيًا في الصغر بحيث يتم التعامل مع الأرض باعتبارها جزءًا من المحيط الخارجي لذلك الجسم، لا باعتبارها نظامًا آخر.

تجـربـة

لعبة شد الحبل

إذا كنـت تلعب لعبة شد الحبل، وكان خصمـك يكتفـي بالإمسـاك بطرف الحبـل دون أن يشـده، فكم تتوقع أن يكون مقدار القـوة التي تؤثر بها في الحبل مقارنة بقوة خصمك؟

1. **توقع** كيـف تقارن بـين القوتين إذا تحرك الحبل في اتجاهك؟
2. **اختـبر توقعـك. تحذيـر: لا** *تترك الحبل فجأة.*

التحليل والاستنتاج

3. **قـارن** بـين القـوة عنـد طـرف الحبـل مـن جهتـك، والقـوة في طـرف الحبـل الـذي يمسـك بـه خصمك. مـا الـذي حدث عندما بدأت بتحريك خصمك؟

استراتيجيات حل المسألة

أزواج التأثير المتبادل

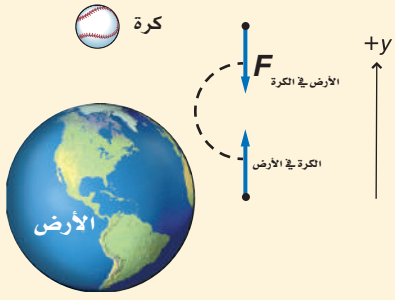
يمكنك الاستعانة بالاستراتيجيات الآتية في حل مسائل التأثير المتبادل بين نظامين مختلفين:

1. اعزل النظام أو الأنظمة عن المحيط الخارجي.
2. ارسم لكل نظام نموذجًا تصويريًّا، ونموذجًا فيزيائيًّا يشتمل على مخطط الجسم الحر، مع تحديد النظام الإحداثي.
3. صل بين كل زوجين من أزواج التأثير المتبادل بخط متقطع.
4. لإيجاد الإجابة، استخدم قانون نيوتن الثاني الذي يربط بين كل من القوة المحصلة والتسارع لكل نظام.
5. استخدم قانون نيوتن الثالث لكتابة معادلة تجمع بين مقادير قوى التأثير المتبادل، وبيّن اتجاه كل قوة.
6. حل المسألة واختبر الوحدات والإشارات والمقادير؛ للتأكد من أنها منطقية.

مثال 3

تسارع الأرض عندما تسقط كرة كتلتها 0.18 kg يكون تسارعها في اتجاه الأرض مساويًا لتسارع الجاذبية الأرضية. ما القوة التي تؤثر بها الكرة في الأرض؟ وما التسارع الذي تكتسبه الأرض، علمًا بأن كتلة الأرض 6.0×10^{24} kg ؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم مخطط الجسم الحر لكلا النظامين: الكرة والأرض.
- صل بين زوجي التأثير المتبادل بخط متقطع.

المعلوم	المجهول
$m_{\text{الكرة}} = 0.18\ \text{kg}$	$F_{\text{الكرة في الأرض}} = ?$
$m_{\text{الأرض}} = 6.0 \times 10^{24}\ \text{kg}$	$a_{\text{الأرض}} = ?$
$g = 9.80\ \text{m/s}^2$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم القانون الثاني لنيوتن لإيجاد القوة التي تؤثر بها الأرض في الكرة:

$$F_{\text{الأرض في الكرة}} = m_{\text{الكرة}}\, a$$

بالتعويض $a = -g$

$$= m_{\text{الكرة}}\,(-g)$$

بالتعويض $m_{\text{الكرة}} = 0.18\ \text{kg}$ ، $g = 9.80\ \text{m/s}^2$

$$= (0.18\ \text{kg})(-9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= -1.8\ \text{N}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

استخدم القانون الثالث لنيوتن لإيجاد القوة التي تؤثر بها الكرة في الأرض:

بالتعويض $F_{\text{الأرض في الكرة}} = -1.8\ \text{N}$

دليل الرياضيات
إجراء العمليات الرياضية بدلالتها العلمية 219، 220

$$F_{\text{الكرة في الأرض}} = -F_{\text{الأرض في الكرة}}$$
$$= -(-1.8\ \text{N})$$
$$= +1.8\ \text{N}$$

استخدم القانون الثاني لنيوتن لإيجاد التسارع الذي تكتسبه الأرض:

بالتعويض $m_{\text{الأرض}} = 6.0 \times 10^{24}\ \text{kg}$، $F_{\text{المحصلة}} = 1.8\ \text{N}$

$$a_{\text{الأرض}} = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m_{\text{الأرض}}}$$
$$= \frac{1.8\ \text{N}}{6.0 \times 10^{24}\ \text{kg}}$$
$$= 2.9 \times 10^{-25}\ \text{m/s}^2 \quad \text{في اتجاه الكرة}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يثبت تحليل الوحدات أن القوة تقاس بـ N والتسارع بـ m/s^2.
- **هل للإشارات معنى؟** يجب أن تكون إشارة كل من القوة والتسارع موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** بما أن كتلة الأرض كبيرة فالتسارع يجب أن يكون قليلاً.

مسائل تدريبية

28. ترفع بيدك كرة بولنج خفيفة نسبيًّا وتُسارعها إلى أعلى. ما القوى المؤثرة في الكرة؟ وما القوى التي تؤثر بها الكرة؟ وما الأجسام التي تؤثر فيها هذه القوى؟

29. تسقط طوبة من فوق سقالة بناء. حدد القوى التي تؤثر في الطوبة، وتلك التي تؤثر بها الطوبة، ثم حدد الأجسام التي تؤثر فيها هذه القوى (مع إهمال تأثير مقاومة الهواء).

30. قذفت كرة إلى أعلى في الهواء. ارسم مخطط الجسم الحر الذي يمثل الكرة في أثناء حركتها إلى أعلى، وحدد القوى التي تؤثر في الكرة، والقوى التي تؤثر بها الكرة، والأجسام التي تؤثر فيها هذه القوى.

31. وضعت حقيبة سفر على عربة أمتعة ساكنة، كما في **الشكل 15–4**. ارسم مخطط الجسم الحر لكل جسم، وبيّن أزواج التأثير المتبادل حيثما وجدت.

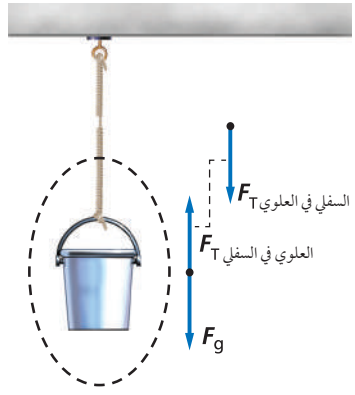
الشكل 15–4

قوى الشد في الحبال والخيوط
Forces of Ropes and Strings

قوة الشد اسم يطلق على القوة التي يؤثر بها خيط أو حبل. وللتبسيط سنفترض في هذا الكتاب أن كتل الحبال والخيوط مهملة.

ومن أجل فهم أكثر عمقًا لمصطلح الشد سندرس الحالة المبينة في **الشكل 16–4**؛ حيث يعلّق دلو في نهاية حبل مثبت في السقف. تلاحظ أن الحبل يوشك أن ينقطع عند المنتصف، وإذا انقطع الحبل فسوف يسقط الدلو. وهذا يعني وجود قوى تجعل طرف الحبل العلوي (قبل أن ينقطع) متماسكًا مع طرفه السفلي.

نرمز إلى القوة التي يؤثر بها الطرف العلوي للحبل في الطرف السفلي بـ $F_{\text{العلوي في السفلي}}$، وهي بحسب قانون نيوتن الثالث جزء من زوجي تأثير متبادل، أما الزوج الآخر فهو القوة التي يؤثر بها الطرف السفلي للحبل في الطرف العلوي: $F_{\text{السفلي في العلوي}}$، وهاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، كما هو موضح في **الشكل 16–4**.



الشكل 16–4 الشد في الحبل يساوي مجموع أوزان جميع الأجسام المعلقة به.

يمكن أن تفكر في هذه الحالة بطريقة أخرى، فقبل أن ينقطع الحبل كان الدلو متزنًا، وهذا يعني أن قوة وزنه إلى أسفل يجب أن تساوي في المقدار وتعاكس في الاتجاه قوة الشد فيه إلى أعلى. الآن دعنا ننظر إلى تلك النقطة من الحبل التي تقع مباشرة فوق الدلو، وهي أيضًا في حالة اتزان. قوة الشد في الحبل أسفل هذه النقطة تسحب في اتجاه الأسفل، وهي تساوي قوة الشد فيه أعلى هذه النقطة، وهي في اتجاه الأعلى. وينطبق هذا على أي نقطة في الحبل. ولأن الشد في الطرف السفلي للحبل يساوي وزن الدلو، فإن الشد في كل مكان في الحبل يساوي وزن الدلو كذلك. وهكذا فإن الشد في الحبل يساوي وزن جميع الأجسام التي تعلق في أسفله. ولأن كتلة الحبل مهملة لذلك فإن الشد في أي مكان في الحبل يساوي وزن الدلو.

توجد قوى الشد أيضًا في لعبة شد الحبل، مثل تلك المبينة في **الشكل 17–4**. فإذا أثر الفريق (A) الذي عن اليسار بقوة 500 N ولم يتحرك الحبل (R) فهذا يعني أن الفريق (B) الذي عن اليمين يسحب الحبل أيضًا بقوة 500 N. ما الشد في الحبل في مثل هذه الحالة؟ وإذا سحب كل فريق بقوة 500 N، فهل سيكون الشد الكلي في الحبل 1000 N؟ للإجابة عن ذلك سندرس كلًّا من نصفي الحبل على حدة. الطرف الأيسر لا يتحرك، وهذا يعني أن القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا، لذلك فإن:

$$F_{\text{R في A}} = F_{\text{اليسار في اليمين}} = 500\ \text{N}$$

كما أن:

$$F_{\text{R في B}} = F_{\text{اليمين في اليسار}} = 500\ \text{N}$$

ولكن

$$F_{\text{اليسار في اليمين}} = F_{\text{اليمين في اليسار}}$$

تمثل كل من $F_{\text{اليسار في اليمين}}$، $F_{\text{اليمين في اليسار}}$ أحد زوجي التأثير المتبادل، لذلك فهما متساويان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه؛ أي أن الشد الكلي في الحبل يساوي القوة التي يسحب بها كل فريق، وتساوي 500 N.

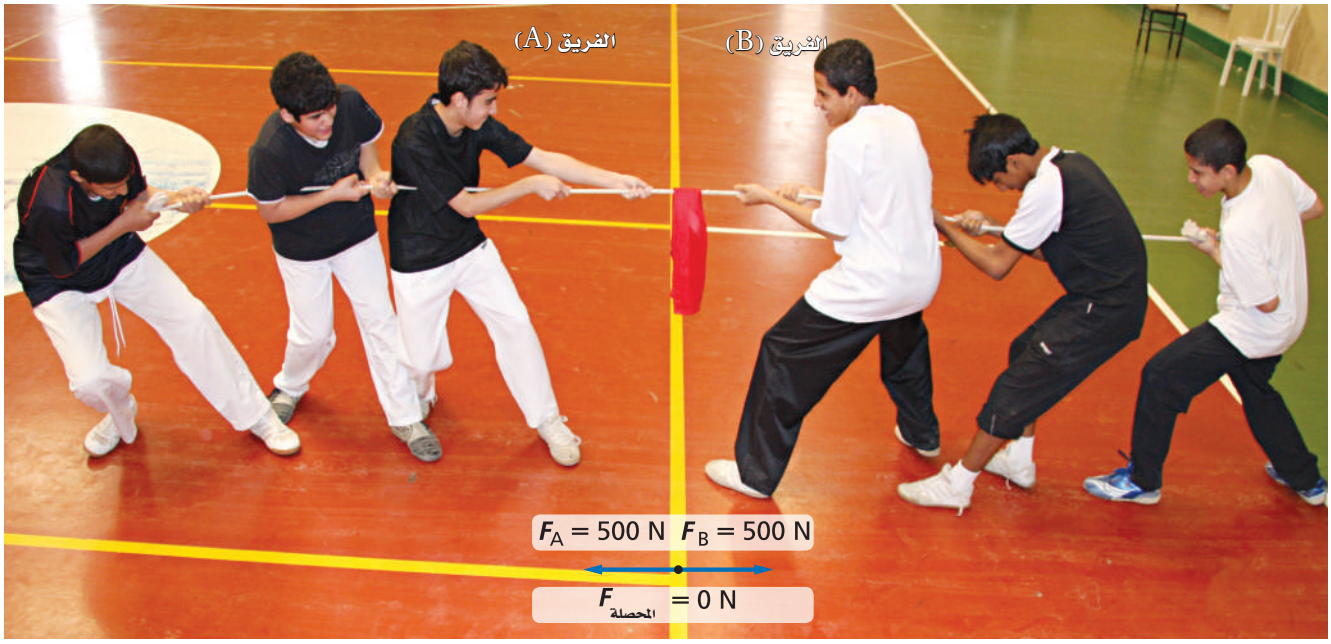
تجربة عملية

ما القوى المؤثرة في القطار؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

■ **الشكل 17–4** في لعبة شد الحبل يؤثر كل فريق (من خلال الشد في الحبل) بقوة مساوية ومعاكسة للقوة التي يؤثر بها الفريق الآخر.

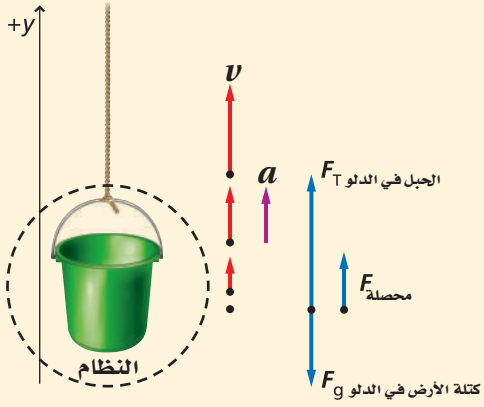


مثـــــال 4

يُرفع دلو كتلته 50.0 kg بحبل يتحمّل قوة شد قصوى مقدارها 525 N. وبدأ الدلو حركته من السكون، وعندما كان على ارتفاع 3.0 m كانت سرعته 3.0 m /s. إذا كان التسارع ثابتًا، فهل هناك احتمال أن ينقطع الحبل؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطط الحالة وبيّن القوى التي تؤثر في النظام.
- كوّن نظامًا إحداثيًّا يكون فيه الاتجاه الموجب إلى أعلى.
- ارسم نموذج الجسم النقطي يشمل كل من a وv.
- ارسم مخطط الجسم الحر، وسمّ القوى.



المعلوم	المجهول
$m = 50.0\ kg$ $v = 3.0\ m/s$	$F_T = ?$
$v_i = 0.0\ m/s$ $d = 3.0\ m$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

تمثل $F_{\text{المحصلة}}$ مجموع القوة الموجبة (F_T) التي يسحب بها الحبل إلى أعلى، وقوة الوزن السالبة ($-F_g$) التي تؤثر إلى أسفل.

$$F_{\text{المحصلة}} = F_T + (-F_g)$$

$$F_T = F_{\text{المحصلة}} + F_g$$

بالتعويض $F_g = mg$، $F_{\text{المحصلة}} = ma$

$$= ma + mg$$

$$= m(a + g)$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

وبما أن قيم كل من v_i و v_f و d معلومة فإنه يمكننا استخدام معادلة الحركة الآتية لإيجاد التسارع a:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ad$$

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2d}$$

$$= \frac{v_f^2}{2d}$$

$$F_T = m(a + g)$$

$$= m\left(\frac{v_f^2}{2d} + g\right)$$

$$= (50.0\ \text{kg})\left(\frac{(3.0\ \text{m/s})^2}{2(3.0\ \text{m})} + (9.80\ \text{m/s}^2)\right)$$

$$= 565\ \text{N}$$

دليل الرياضيات

فصل المتغير 222

بالتعويض $v_i = 0.0\ \text{m/s}$

بالتعويض $a = \frac{v_f^2}{2d}$

بالتعويض $m = 50.0\ \text{kg}$، $v_f = 3.0\ \text{m/s}$
$d = 3.0\ \text{m}$، $g = 9.80\ \text{m/s}^2$

سوف ينقطع الحبل؛ لأن قوة الشد أكبر من 525 N.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة القوة هي kg.m/s^2، وهي وحدة N.
- **هل للإشارات معنى؟** نعم؛ إذ يجب أن تكون القوة المؤثرة إلى أعلى موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** المقدار أكثر قليلاً من 490 N الذي يمثل وزن الدلو.

$$F_g = mg = (50.0\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2) = 490\ \text{N}$$

مسائل تدريبية

32. وضعت معدات في دلو، فأصبحت كتلته 42 kg، فإذا رفع الدلو إلى سطح منزل بحبل يتحمل شدًّا لا يتجاوز 450 N، فما أقصى تسارع يمكن أن يكتسبه الدلو في أثناء سحبه إلى أعلى السطح؟

33. حاول سالم وأحمد إصلاح إطار السيارة، لكنهما واجها صعوبة كبيرة في نزع الإطار المطاطي عن الدولاب، فقاما بسحبه معًا؛ حيث سحب أحمد بقوة 23 N، وسالم بقوة 31 N، وعندئذٍ تمكنا من زحزحة الإطار. ما مقدار القوة بين الإطار المطاطي والدولاب؟

القوة العمودية The Normal Force

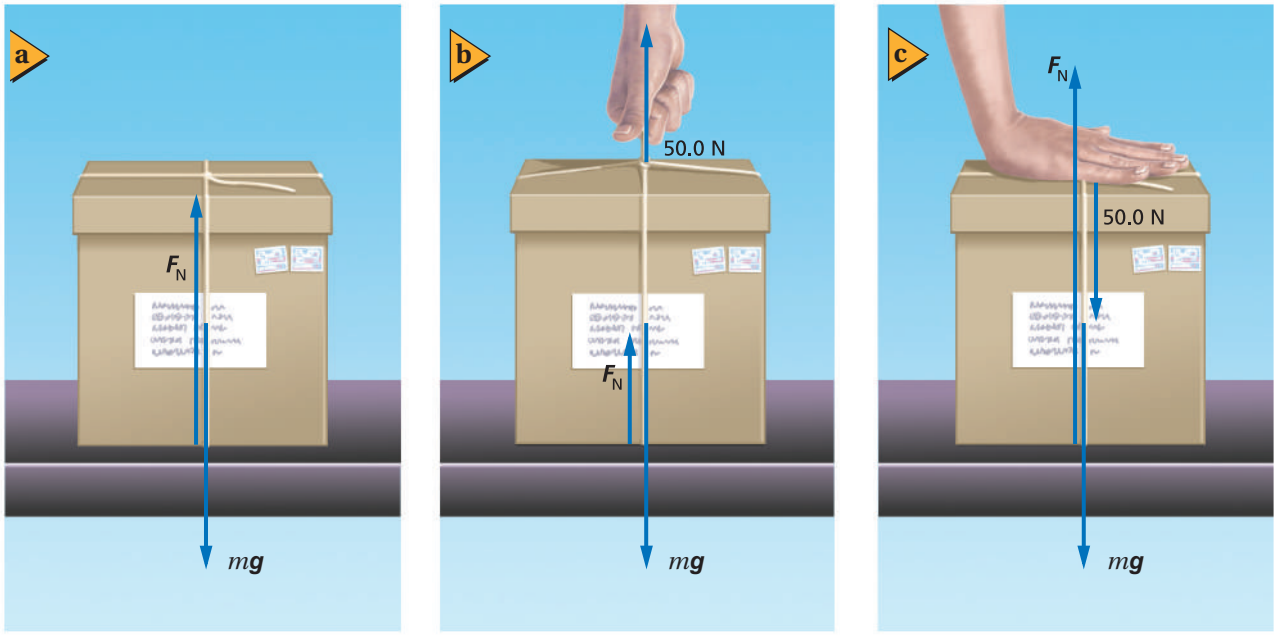
عندما يتلامس جسمان يؤثر كل منهما في الآخر بقوة؛ فالصندوق الموضوع على سطح الطاولة تؤثر فيه الجاذبية الأرضية بقوة إلى أسفل، وفي المقابل تؤثر فيه الطاولة بقوة إلى أعلى، وهذه القوة موجودة بالضرورة؛ لأن الصندوق متزن. إن **القوة العمودية** هي قوة تلامس يؤثر بها سطح في جسم آخر، وتكون دائمًا عمودية على مستوى التلامس بين الجسمين. ولكن هل تكون هذه القوة دائمًا مساوية لوزن الجسم، كما هو موضح في **الشكل 18a–4**؟ ماذا يحدث إذا ربطت الصندوق بخيط وسحبته قليلاً إلى أعلى بقوة شد لاتكفي لرفع الصندوق عن الطاولة؟ انظر **الشكل 18b–4**. بتطبيق قانون نيوتن الثاني على الصندوق نجد أن:

$$F_N + F_{\text{الخيط في الصندوق}} - F_g = ma = 0$$

وبترتيب المعادلة نجد أن:

$$F_N = F_g - F_{\text{الخيط في الصندوق}}$$

تلاحظ في هذه الحالة أن القوة العمودية التي تؤثر بها الطاولة في الصندوق أقل من وزن الصندوق F_g، أما إذا ضغطت على الصندوق إلى أسفل، كما في **الشكل 18c–4**، فستصبح القوة العمودية أكبر من وزن الصندوق.



الشكل 18–4 القوة العمودية المؤثرة في جسم لا تساوي دائمًا وزنه.
a. القوة العمودية تساوي وزن الجسم.
b. القوة العمودية أقل من وزن الجسم.
c. القوة العمودية أكبر من وزن الجسم.

34. **القوة** مُدّ ذراعك أمامك في الهواء، وأسند كتابًا إلى راحة يدك بحيث يكون مستقرًّا. حدد القوى، وأزواج التأثير المتبادل التي تؤثر في الكتاب.

35. **القوة** إذا خفضتَ الكتاب الوارد في المسألة السابقة بتحريك يدك إلى أسفل بسرعة متزايدة، فهل يتغير أي من القوى، أو أزواج التأثير المتبادل المؤثرة في الكتاب؟ وضح ذلك.

36. **قوة الشد** تتدلى من السقف قطعة طوب مربوطة بحبل مهمل الكتلة، ومربوط بها من أسفل قطعة طوب أخرى بحبل مهمل الكتلة أيضًا. ما قوة الشد في كل من الحبلين إذا كانت كتلة كل قطعة 5.0 kg؟

37. **قوة الشد** إذا كانت كتلة قطعة الطوب السفلية الواردة في المسألة السابقة 3.0 kg، وقوة الشد في الحبل العلوي 63.0 N، فاحسب كلًّا من قوة الشد في الحبل السفلي، وكتلة قطعة الطوب.

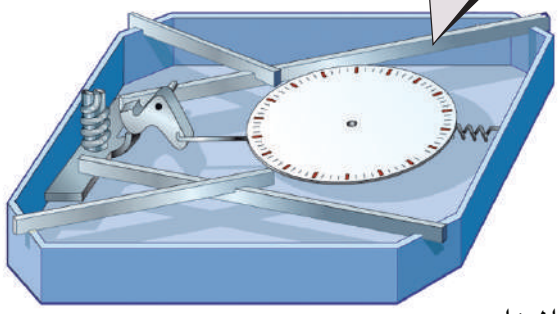
38. **القوة العمودية** يُسلم صالح صندوقًا كتلته 13 kg إلى شخص كتلته 61 kg يقف على منصة. ما القوة العمودية التي تؤثر بها المنصة في هذا الشخص؟

39. **التفكير الناقد** توضع ستارة بين فريقين لشد الحبل بحيث تمنع كل فريق من رؤية الفريق الآخر. فإذا ربط أحد الفريقين طرف الحبل الذي من جهته بشجرة، فما قوة الشد المتولدة في الحبل إذا سحب الفريق الآخر بقوة 500 N؟ وضِّح ذلك.

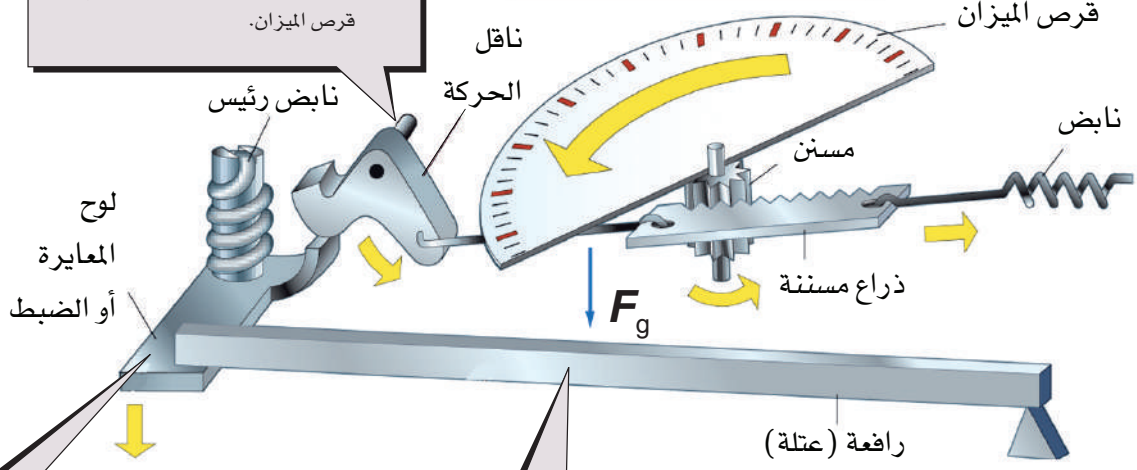
How it Works

Bathroom Scale? الميزان المنزلي؟

1 هناك رافعتان (عتلتان) طويلتان وأخريان قصيرتان توصلان معًا، وهناك مساند في غطاء الميزان فوق العتلات لتوزيع الوزن عليها.



3 عندما يُدفع لوح المعايرة إلى أسفل من خلال الوزن الموجود على الميزان يدور ناقل الحركة، مما يحرك الذراع المسننة التي تدير أسطوانة مسننة، ومن ثم يدور قرص الميزان.



4 عند تساوي قوة النابض F_{sp} الناتجة عن استطالة النابض الرئيس و F_g فإن ناقل الحركة والذراع المسنّنة والمسنّنات تثبت ولا تتحرك ويظهر وزنك على قرص الميزان.

2 ترتكز العتلتان الطويلتان على لوح المعايرة الذي يتصل بالنابض الرئيس. وعندما تقف على سطح الميزان فإن وزنك F_g يؤثر في العتلات التي تؤثر بدورها بقوة في لوح المعايرة وتؤدي إلى استطالة النابض الرئيس.

التفكير الناقد

1. **كوِّن فرضية** لا تؤثر معظم النوابض في الموازين المنزلية بقوة أكبر من 89 N. كيف تتجنب كسر الميزان إذا وقفت عليه؟

2. **حل** إذا كانت أكبر قراءة على الميزان 1068 N، والنابض يؤثر بقوة أقصاها 89 N، فما النسبة التي تستعملها الرافعة (العتلة)؟

مختبر الفيزياء

القوة والكتلة

عندما تؤثر قوة في جسم فإنه يتسارع إذا كانت هذه القوة أكبر من قوة الاحتكاك المؤثرة فيه، وتكون القوة المحصلة في اتجاه حركته. وعندما يتوقف تأثير هذه القوة في هذا الجسم مع وجود الاحتكاك يأخذ الجسم في التباطؤ حتى يتوقف؛ لأن القوة المحصلة (قوة الاحتكاك) تؤثر في اتجاه معاكس لاتجاه الحركة.

سوف تستقصي في هذه التجربة تأثير الكتلة في قوة الاحتكاك، والعلاقة بين القوة المحصلة المؤثرة في جسم ينزلق وكتلة هذا الجسم.

سؤال التجربة

ما العلاقة بين القوة المحصلة المؤثرة في جسم ينزلق وكتلة هذا الجسم عند ثبات التسارع؟

الأهداف

- **تستنتج** العلاقة بين القوة المحصلة المؤثرة في جسم ينزلق وكتلته.
- **تحلل** النتائج لحساب التسارع المتوسط للجسم.
- **تحسب** القوة المحصلة المؤثرة في جسم.
- **تنشئ رسومًا بيانية وتستخدمها** لتبين العلاقة بين القوة المحصلة المؤثرة في جسم ينزلق وكتلته.

احتياطات السلامة

- **احذر من سقوط القطع الخشبية عند التعامل معها لئلا تؤذيك.**

المواد والأدوات

ساعة إيقاف	ورق رسم بياني
شريط قياس متري	ميزان
قطع خشبية مختلفة الكتل	

الخطوات

1. اختر مساحة كافية بحيث يمكنك دفع قطعة خشبية لكي تنزلق مسافة لا تقل عن 4 m.
2. حدد نقطة في مسار انزلاق القطعة الخشبية لكي تبدأ حساب زمن انزلاق القطعة منها، وضع عندها علامة.
3. اختر قطعة خشبية، وقس كتلتها. ثم اطلب إلى زميلك أن يدفع هذه القطعة، بحيث يجعلها تنزلق في مسار مستقيم مارة بالعلامة التي حددتها، وكررا ذلك عدة مرات لتحقيق ذلك.
4. اطلب إلى زميلك الآن أن يدفع هذه القطعة بحيث تنزلق على المسار الذي حددته، وشغّل ساعة الإيقاف لحظة مرورها بالعلامة التي حددتها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

جدول البيانات												
مجموعة البيانات	كتلة القطعة الخشبية (kg)	الزمن Δt (s)					المسافة Δd (m)				التسارع المتوسط $\bar{a}_A$ (m/s^2)	القوة المحصلة $F_{محصلة}$ (N)
		Δt_1	Δt_2	Δt_3	$\Delta \bar{t}$		Δd_1	Δd_2	Δd_3	$\Delta \bar{d}$		
1												
2												
3												
4												

5. بمساعدة زميل آخر يتابع حركة القطعة الخشبية، أوقف ساعة الإيقاف لحظة توقف القطعة. سجل الزمن في جدول البيانات لمجموعة البيانات 1 للمحاولة 1.
6. باستخدام شريط القياس المتري قس المسافة التي قطعتها القطعة الخشبية. سجل هذه المسافة Δd في جدول البيانات لمجموعة البيانات 1 للمحاولة 1.
7. كرّر الخطوات 6–4 مرتين إضافيتين للكتلة نفسها لمجموعة البيانات 1 للمحاولتين 2 و3.
8. كرّر الخطوات 7–3 ثلاث مرات، على أن تغير القطعة الخشبية في كل مرة. سجل البيانات الخاصة بهذه الخطوات في جدول البيانات.

التحليل

1. احسب متوسط الزمن ومتوسط المسافة لكل مجموعة بيانات، وسجلها في جدول البيانات.
2. احسب التسارع المتوسط لكل كتلة في أثناء انزلاقها باستخدام العلاقة $\bar{a}_A = -2\Delta d / (\Delta t)^2$. ماذا تلاحظ على قيم تسارع الكتل المختلفة؟
3. احسب القوة المحصلة المؤثرة في كل كتلة في أثناء انزلاقها.
4. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** مثّل بيانيًّا العلاقة بين كتل القطعة الخشبية (على المحور الأفقي) والقوة المحصلة المؤثرة في كل منها (على المحور الرأسي)
5. **لاحظ واستنتج** ما نوع العلاقة التي حصلت عليها من الرسم البياني؟ ماذا تستنتج؟

الاستنتاج والتطبيق

1. **فسر البيانات** ما العلاقة بين كتلة القطعة الخشبية والتسارع الذي اكتسبته في أثناء انزلاقها؟
2. **استنتج** ما العلاقة بين قوة الاحتكاك (القوة المحصلة) المؤثرة في القطعة الخشبية والتسارع المتوسط الذي تكتسبه؟ وضح إجابتك.
3. **استنتج** ما العلاقة بين قوة الاحتكاك (القوة المحصلة) المؤثرة في القطعة الخشبية وكتلة القطعة؟
4. ما مصادر الخطأ في تجربتك؟
5. اشتق العلاقة الرياضية المعطاة في جزء التحليل.

التوسع في البحث

هل تؤثر سرعة إطلاق القطعة الخشبية في القوة المحصلة المؤثرة فيها؟

الفيزياء في الحياة

اعتمادًا على نتائج هذه التجربة، هل يؤثر زيادة عرض إطار السيارة في قوة الاحتكاك المؤثرة فيه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 1443

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

4–1 القوة والحركة Force and Motion

المفردات

- القوة
- قوة التلامس (التماس)
- قوة المجال
- مخطط الجسم الحر
- القوة المحصلة
- قانون نيوتن الثاني
- قانون نيوتن الأول
- القصور الذاتي
- الاتزان

المفاهيم الرئيسة

- الجسم الذي يعاني من دفع أو سحب تؤثر فيه قوة.
- للقوة مقدار واتجاه.
- تقسم القوى إلى: قوى تلامس، وقوى مجال.
- في مخطط الجسم الحر، ارسم دائمًا متجهات القوة بحيث تشير بعيدًا عن الجسم، حتى لو كانت تمثل قوى دفع.
- لإيجاد القوة المحصلة نجمع القوى التي تؤثر في الجسم باعتبارها متجهات.
- ينص قانون نيوتن الثاني على أن تسارع نظام ما يساوي ناتج قسمة القوة المحصلة المؤثرة فيه على كتلته. $a = \frac{F_{\text{المحصلة}}}{m}$
- ينص قانون نيوتن الأول على أن الجسم الساكن يبقى ساكنًا، والجسم المتحرك يبقى متحركًا في خط مستقيم وبسرعة منتظمة فقط إذا كانت القوة المحصلة المؤثرة في الجسم تساوي صفرًا.
- الجسم الذي تؤثر فيه قوة محصلة مقدارها صفر يكون متزنًا.

4–2 استخدام قوانين نيوتن Using Newton's Law

المفردات

- الوزن الظاهري
- القوة المعيقة
- السرعة الحدية

المفاهيم الرئيسة

- الوزن الظاهري لجسم ما هو الوزن الذي نحس به أو نقيسه نتيجة تأثير قوة تلامس في الجسم تكسبه تسارعًا.
- يعتمد وزن جسم ما على التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية وكتلة الجسم.
- تأثير القوة المعيقة على جسم تحدده حركة الجسم، وخصائص كل من الجسم والمائع.
- إذا وصلت سرعة جسم ساقط إلى حد أن القوة المعيقة تساوي وزنه فإن الجسم يحتفظ بسرعة منتظمة تسمى السرعة الحدية.

4–3 قوى التأثير المتبادل Interaction Forces

المفردات

- أزواج التأثير المتبادل
- قانون نيوتن الثالث
- قوة الشد
- القوة العمودية

المفاهيم الرئيسة

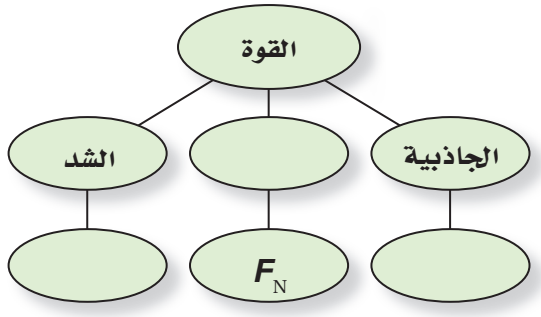
- في زوجي التأثير المتبادل القوة $F_{B\text{ على }A}$ ليست سببًا في نشوء القوة $F_{A\text{ على }B}$؛ فهما إما أن تكونا معًا وإما لا توجدان أبدًا.
- لكل قوةِ فعلٍ تؤثر في جسم قوةُ رد فعل تُؤثر في جسم آخر، وهاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتضادتان في الاتجاه. $F_{B\text{ على }A} = -F_{A\text{ على }B}$
- الشد اسم يطلق على القوة التي يؤثر بها حبل أو خيط في جسم ما.
- القوة العمودية قوة ناتجة عن تلامس جسمين، وتكون دائمًا عمودية على مستوى التلامس بينهما.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 4
التقويم

خريطة المفاهيم

40. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات والرموز المناسبة:



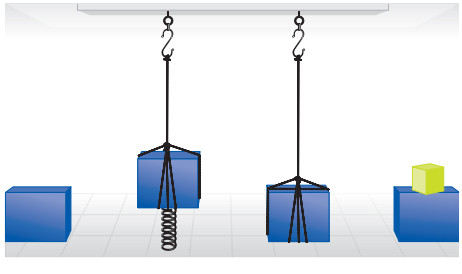
إتقان المفاهيم

41. افترض أن تسارع جسم يساوي صفرًا، فهل يعني هذا عدم وجود أي قوى تؤثر فيه؟ (4-2)

42. إذا كان كتابك متزنًا فما القوى التي تؤثر فيه؟(4-2)

43. سقطت صخرة من جسر إلى وادٍ، فتسارعت نتيجة قوة جذب الأرض لها إلى أسفل. وبحسب قانون نيوتن الثالث فإن الصخرة تؤثر أيضًا في الأرض بقوة جذب، ولكن لا يبدو أن الأخيرة تتسارع إلى أعلى. فسّر ذلك. (4-3)

44. يبين **الشكل 19-4** كتلة في أربعة أوضاع مختلفة. رتب هذه الأوضاع بحسب مقدار القوة العمودية بين الكتلة والسطح، من الأكبر إلى الأصغر. أشر إلى أي علاقة بين نتائج الإجابة. (4-3)



الشكل 19-4

45. **فسر** لماذا يكون الشد ثابتًا في كل نقاط حبل مهمل الكتلة؟ (4-3)

46. يقف طائر على قمة مبنى. ارسم مخطط الجسم الحر لكل من الطائر والمبنى. وأشر إلى أزواج التأثير المتبادل بين المخططين. (4-3)

تطبيق المفاهيم

47. قذفت كرة في الهواء إلى أعلى في خط مستقيم:

a. ارسم مخطط الجسم الحر للكرة عند ثلاث نقاط في مسار حركتها: في طريقها إلى أعلى، وعند القمة، وفي طريقها إلى أسفل، وحدد القوى التي تؤثر في الكرة.

b. ما سرعة الكرة عند أعلى نقطة وصلت إليها؟

c. ما تسارع الكرة عند هذه النقطة؟

إتقان حل المسائل

4-1 القوة والحركة

48. ما القوة المحصلة التي تؤثر في كرة كتلتها 1.0 kg وتسقط سقوطًا حرًّا؟

49. تتباطأ سيارة كتلتها 2300 kg بمقدار $3.0\ m/s^2$ عندما تقترب من إشارة مرور. ما مقدار القوة المحصلة التي تجعلها تتباطأ وفق المقدار المذكور؟

4-2 استخدام قوانين نيوتن

50. ما وزنك بوحدة النيوتن؟

51. تزن دراجتك النارية 2450 N، فما كتلتها بالكيلوجرام؟

52. وضع تلفاز كتلته 7.50 kg على ميزان نابض. إذا كانت قراءة الميزان 78.4 N، فما تسارع الجاذبية الأرضية في ذلك المكان؟

تقويم الفصل 4

53. وضع ميزان داخل مصعد. ما القوة التي يؤثر بها الميزان في شخص يقف عليه كتلته 53 kg، في الحالات الآتية؟

a. إذا تحرك المصعد بسرعة منتظمة إلى أعلى.

b. إذا تسارع المصعد بمقدار $2.0\ m/s^2$ في أثناء حركته إلى أعلى.

c. إذا تسارع المصعد بمقدار $2.0\ m/s^2$ في أثناء حركته إلى أسفل.

d. إذا تحرك المصعد إلى أسفل بسرعة منتظمة.

e. إذا تباطأ المصعد في أثناء حركته إلى أسفل بتسارع ثابت حتى يتوقف.

54. **فلك** إذا كان تسارع الجاذبية على سطح عطارد يعادل 0.38 من قيمته على سطح الأرض:

a. فما وزن جسم كتلته 6.0 kg على سطح عطارد؟

b. إذا كان تسارع الجاذبية على سطح بلوتو يساوي 0.08 من مثيله على سطح عطارد، فما وزن كتلة 7.0 kg على سطح بلوتو؟

55. قفز غواص كتلته 65 kg من قمة برج ارتفاعه 10.0 m.

a. أوجد سرعة الغواص لحظة ارتطامه بسطح الماء.

b. إذا توقف الغواص على بُعد 2.0 m تحت سطح الماء، فأوجد محصلة القوة التي يؤثر بها الماء في الغواص.

56. بدأت سيارة سباق كتلتها 710 kg حركتها من السكون وقطعت مسافة 40.0 m في 3.0 s. فإذا كان تسارع السيارة ثابتًا خلال هذه الفترة، فما القوة المحصلة التي تؤثر فيها؟

4–3 قوى التأثير المتبادل

57. وضع مكعب من الحديد كتلته 6.0 kg على سطح مكعب آخر كتلته 7.0 kg يستقر بدوره على سطح طاولة أفقية. احسب:

a. مقدار واتجاه القوة التي يؤثر بها المكعب الذي كتلته 7.0 kg في المكعب الآخر.

b. مقدار واتجاه القوة التي يؤثر بها المكعب الذي كتلته 6.0 kg في المكعب الذي كتلته 7.0 kg.

58. تسقط قطرة مطر كتلتها 2.45 mg على الأرض. ما مقدار القوة التي تؤثر بها في الأرض في أثناء سقوطها؟

59. يلعب شخصان لعبة شد الحبل. أحدهما كتلته 90.0 kg يشد الحبل بحيث يكتسب الشخص الآخر وكتلته 55 kg تسارعًا مقداره $0.025\ m/s^2$. ما القوة التي يؤثر بها الحبل في الشخص ذي الكتلة الكبرى؟

60. تتسارع طائرة مروحية كتلتها 4500 kg إلى أعلى بمقدار $2.0\ m/s^2$. احسب القوة التي يؤثر بها الهواء في المراوح؟

مراجعة عامة

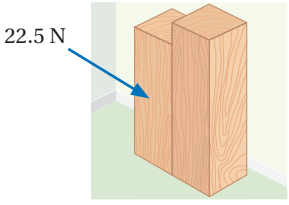
61. يُدفع جسمان كتلة أحدهما 4.3 kg، وكتلة الآخر 5.4 kg بقوة أفقية مقدارها 22.5 N، على سطح مهمل الاحتكاك (انظر **الشكل 20–4**).

a. ما تسارع الجسمين؟

b. ما القوة التي يؤثر بها الجسم الذي كتلته 4.3 kg في الجسم الذي كتلته 5.4 kg؟

c. ما القوة التي يؤثر بها الجسم الذي كتلته 5.4 kg في الجسم الذي كتلته 4.3 kg؟

تقويم الفصل 4

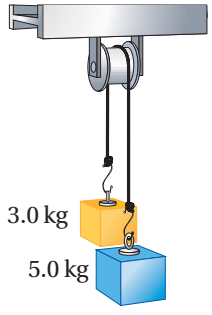


الشكل 4–20

62. جسمان كتلة الأول 5.0 kg، والثاني 3.0 kg، مربوطان بحبل مهمل الكتلة (انظر **الشكل 4–21**). يمرر الحبل على بكرة ملساء مهملة الكتلة. فإذا انطلق الجسمان من السكون فأوجد ما يأتي:

a. قوة الشد في الحبل.

b. تسارع الجسمين.



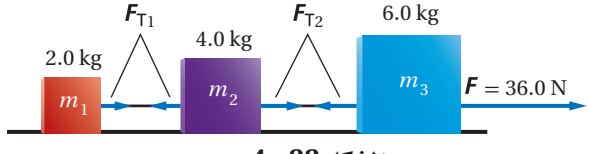
الشكل 4–21

التفكير الناقد

63. ثلاث كتل متصلة بخيوط مهملة الكتل. سحبت الكتل بقوة أفقية على سطح أملس، كما في **الشكل 4–22**. أوجد:

a. تسارع كل كتلة.

b. قوة الشد في كل خيط.



الشكل 4–22

الكتابة في الفيزياء

64. ابحث عن إسهامات نيوتن في الفيزياء، واكتب عن ذلك موضوعًا. هل تعتقد أن قوانينه الثلاثة في الحركة كانت من أهم إنجازاته؟ وضح إجابتك.

مراجعة تراكمية

65. يبين **الشكل 4–23** الرسم البياني لمنحنى (الموقع–الزمن) لحركة سيارتين على طريق.

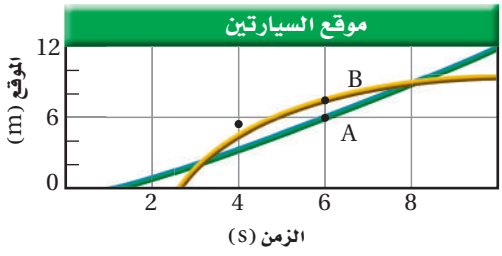
a. عند أي لحظة تتجاوز إحدى السيارتين الأخرى؟

b. أي السيارتين كانت تتحرك أسرع عند الزمن 7.0 s؟

c. ما الزمن الذي تتساوى عنده السُّرعتان المتجهتان للسيارتين؟

d. ما الفترة الزمنية التي تتزايد خلالها سرعة السيارة B؟

e. ما الفترة الزمنية التي تتناقص خلالها سرعة السيارة B؟



الشكل 4–23

66. بالرجوع إلى الشكل السابق، احسب السرعة اللحظية لكل مما يأتي:

a. السيارة B عند اللحظة 2.0 s.

b. السيارة B عند اللحظة 9.0 s.

c. السيارة A عند اللحظة 2.0 s.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

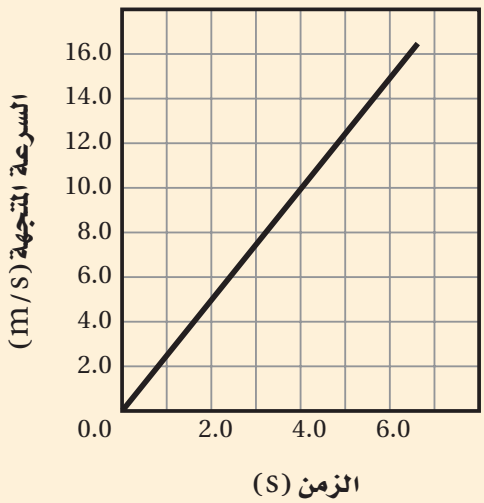
1. ما تسارع السيارة الموضح بالرسم أدناه؟

Ⓐ $0.20\ m/s^2$

Ⓑ $0.40\ m/s^2$

Ⓒ $1.0\ m/s^2$

Ⓓ $2.5\ m/s^2$



2. بالاعتماد على الرسم البياني أعلاه، ما المسافة التي قطعتها السيارة بعد 4 s؟

Ⓐ 20 m

Ⓑ 40 m

Ⓒ 80 m

Ⓓ 90 m

3. إذا تحركت السيارة في الرسم البياني السابق بتسارع ثابت، فكم تكون سرعتها المتجهة بعد 10 s؟

Ⓐ 10 km/h

Ⓑ 25 km/h

Ⓒ 90 km/h

Ⓓ 120 km/h

4. ما وزن مجس فضائي كتلته 225 kg على سطح القمر؟ (مع افتراض أن مقدار تسارع الجاذبية على القمر $1.62\ m/s^2$).

Ⓐ 139 N

Ⓑ 364 N

Ⓒ 1.35×10^3 N

Ⓓ 2.21×10^3 N

5. يجلس طفل كتلته 45 kg في أرجوحة كتلتها 3.2 kg مربوطة إلى غصن شجرة، ما مقدار قوة الشد في حبل الأرجوحة؟

Ⓐ 3.1×10^2 N

Ⓑ 4.4×10^2 N

Ⓒ 4.5×10^2 N

Ⓓ 4.7×10^2 N

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

اختبار مقنن

6. إذا تدلى غصن الشجرة في المسألة السابقة إلى أسفل بحيث تستند قدمَا الطفل على الأرض، وأصبحت قوة الشد في حبل الأرجوحة 220 N، فما مقدار القوة العمودية المؤثرة في قدمي الطفل؟

A 2.2×10^2 N

B 2.5×10^2 N

C 4.3×10^2 N

D 6.9×10^2 N

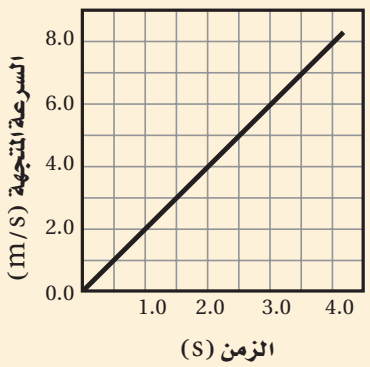
7. اعتمادًا على الرسم البياني أدناه، ما مقدار القوة المؤثرة في عربة كتلتها 16 kg؟

A 4 N

B 8 N

C 16 N

D 32 N



الأسئلة الممتدة

8. ارسم مخطط الجسم الحر لطفل يقف على ميزان في مصعد، ثم صف باستخدام الكلمات والمعادلات الرياضية ما يحدث لوزن الطفل الظاهري عندما: يتسارع المصعد إلى أعلى، يهبط المصعد بسرعة منتظمة إلى أسفل، عندما يهبط المصعد في حالة سقوط حر .

إرشاد

حسِّن نتائجك

لكي تحقق أفضل النتائج في اختبارك المقنن فإنك تحتاج إلى توقع إجابة منطقية للسؤال، ثم أعد قراءة السؤال، وبعد التوصل إلى الإجابة النهائية قارنها بالنتيجة التي توصلت إليها وتوقعتها.

الفصل 5

القوى في بعدين
Forces in Two Dimensions

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تمثيل الكميات المتجهة بالرسم التخطيطي والتحليل المتعامد.
- استعمال قوانين نيوتن في تحليل الحركة في وجود الاحتكاك.
- استعمال قوانين نيوتن وما تعلمته عن المتجهات في تحليل الحركة في بُعدين.

الأهمية

معظم الأجسام تتأثر بقوى تعمل في أكثر من اتجاه. فعلى سبيل المثال، عندما تُسحب سيارة بشاحنة السحب فإنها تتأثر بقوى عديدة إلى أعلى وإلى الأمام، بالإضافة إلى قوة الجاذبية التي تؤثر فيها إلى أسفل.

تسلّق الصخور كيف يحمي متسلقو الصخور أنفسهم من السقوط؟ يرتكز المتسلق على أكثر من نقطة داعمة، كما أن هناك قوى متعددة تؤثر فيه في اتجاهات متعددة.

فكِّر ◄

قد يصل متسلق الصخور إلى صخرة يُجبره ميلها أن يتعلق بها بحيث يكون ظهره مقابلًا للأرض. فكيف يمكنه استعمال أدواته لتطبيق قوانين الفيزياء للتغلب على هذه العقبة وتجاوز الصخرة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تجربة استهلالية

هل صحيح أن 2N + 2N = 2N؟

سؤال التجربة هل يمكن لمجموع (محصلة) قوتين متساويتين تؤثران في جسم أن يساوي إحدى هاتين القوتين؟

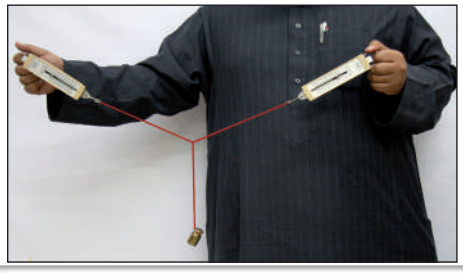
الخطوات

1. **قِس** احصل من معلمك على جسم كتلته 200 g، وقِس وزنه باستعمال ميزان نابضي (زنبركي).
2. اربط طرفي خيط طوله 70 cm بخطافي ميزانين نابضيين.
3. اربط طرف خيط طوله 15 cm بالجسم الذي كتلته 200 g ولفّ طرفه الآخر على الخيط المثبت بخطافي الميزانين. ***تحذير: تجنب سقوط الكتل.***
4. أمسك الميزانين النابضيين أحدهما باليد اليمنى والآخر باليد اليسرى، على أن يشكّل الخيط الواصل بينهما زاوية مقدارها 120°. وللتأكد من أن مقدار الزاوية 120° حرّك الخيط الذي يُعلّق به الجسم حتى تكون قراءتا الميزانين متساويتين، وسجل قراءة كل منهما.
5. **اجمع البيانات ونظمها** اسحب ببطء الخيط الذي يُعلَّق به الجسمُ الذي كتلته 200 g، أكثر فأكثر في اتجاه الأفقي، وصِفْ مشاهداتك.

التحليل

هل مجموع القوتين المقيستين بالميزانين النابضيين يساوي وزن الجسم المعلّق، أم أكبر، أم أقل؟

التفكير الناقد استعمل ورقة رسم بياني لرسم مثلث متساوي الأضلاع، على أن يكون أحد أضلاعه رأسيًّا. إذا كان ضلعا المثلث يُمثِّل كل منهما قوة شد مقدارها 2 N، فما مقدار قوة الشد التي يُمثلها الضلع الثالث؟ وكيف يمكن أن يكون 2N + 2N = 2N صحيحًا؟



رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5–1 المتجهات Vectors

كيف يمكن لمتسلقي الصخور تجنب السقوط في حالات كالحالة المبينة في الصفحة السابقة؟ لاحظ أن للمتسلق أكثر من نقطة داعمة يرتكز عليها، كما تؤثر فيه قوى متعددة. يمسك المتسلق بإحكام بالصدوع أو الشقوق الموجودة في الصخرة، كما يثبت قدميه على أيّ نتوء أو بروز يجده في الصخرة. وهكذا يكون هناك قوتا تلامس تؤثران فيه. كما تؤثر الجاذبية الأرضية فيه بقوة إلى أسفل. لذلك توجد ثلاث قوى تؤثر في المتسلق.

ومما يميّز هذه الحالة من الحالات التي درستها سابقًا أن القوى التي يؤثر بها سطح الصخرة في المتسلق ليست قوى أفقية ولا عمودية. ولعلك تعلم من الفصول السابقة أنه يمكن اختيار نظام إحداثي وتوجيهه بالطريقة المناسبة لتحليل حالة ما. ولكن ماذا يحدث عندما لا تكون القوى متعامدة؟ وكيف يمكن وضع نظام إحداثي وإيجاد قوة محصلة عندما تتعامل مع أكثر من بُعد؟

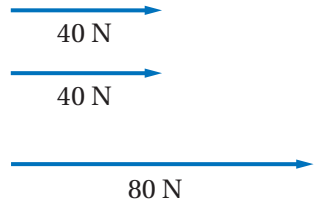
الأهداف

- **تحسب** مجموع متجهين أو أكثر في بعدين بطريقة الرسم.
- **تحدّد** مركّبتي كل متجه.
- **تحسب** مجموع متجهين أو أكثر جبريًّا، وذلك بجمع مركّبات المتجهات.

المفردات

قانون جيب التمام في المتجهات
قانون الجيب في المتجهات
المركّبات
تحليل المتجه
زاوية المتجه المحصل

مراجعة مفهوم المتجهات
Vectors Revisited



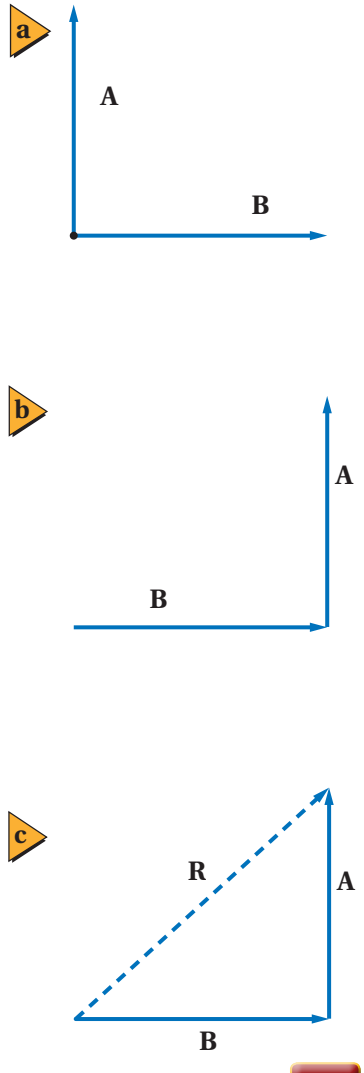
الشكل 1–5 مجموع القوتين يوضحه المتجه أسفلهما.

تذكر المثال الذي درسته على متجهات القوة، في الفصل الرابع؛ حيث دفعت أنت وصديقك الطاولة. وافترض أن كلًّا منكما أثَّر بقوة 40 N في اتجاه اليمين. يمثل **الشكل 1–5** مخطط الجسم الحر للمتجهين بالإضافة إلى المتجه الذي يمثل القوة المحصلة. إن متجه القوة المحصلة يساوي 80 N، وهو الذي تتوقعه غالبًا. لكن كيف حصلنا على متجه القوة المحصلة؟

المتجهات في أبعاد متعددة
Vectors in Multiple Dimensions

يمكن تطبيق عملية جمع المتجهات حتى لو لم تكن في الاتجاه نفسه. ولحل مثل هذه المسائل في بُعدين بطريقة الرسم تحتاج إلى منقلة ومسطرة، على أن تختار مقياس رسم مناسبًا؛ لرسم المتجهات بالزوايا الصحيحة، وقياس مقدار المتجه المحصل واتجاهه. ويمكن جمع المتجهات بوضع ذيل متجه على رأس متجه آخر، ثم رسم المتجه المحصل بتوصيل ذيل المتجه الأول مع رأس المتجه الثاني، كما في **الشكل 2–5**. حيث يبين **الشكل 2a–5** مخطط الجسم الحر لقوتين **A** و **B**. وفي **الشكل 2b–5** حُرّك أحد المتجهين فأصبح ذيله عند رأس المتجه الآخر. لاحظ أن طول المتجه المنقول واتجاهه لم يتغيرا. وحيث إنَّ طول المتجه واتجاهه هما فقط ما يميز المتجه، لذا فإن المتجه لم يتغير بسبب هذه الحركة. وهذا صحيح دائمًا؛ فعند تحريك متجه دون تغيير طوله واتجاهه لا يتغير المتجه. ويمكنك الآن رسم المتجه المحصل الذي يتجه من ذيل المتجه الأول **(B)** إلى رأس المتجه الأخير **(A)**، كما في **الشكل 2c–5**، ثم قياس طوله للحصول على مقداره. استعمل منقلة لقياس اتجاه المتجه المحصل.

الشكل 2–5 جمع المتجهات بوضع رأس متجه على ذيل متجه آخر ورسم المتجه المحصل بتوصيل ذيل المتجه الأول برأس المتجه الأخير.



قد تحتاج أحيانًا إلى استعمال علم المثلثات لتحديد طول المتجه المحصل واتجاهه. تذكر أنه يمكن إيجاد طول الوتر للمثلث القائم الزاوية باستعمال نظرية فيثاغورس. إذا أردت جمع متجهين الزاويةُ بينهما قائمة – مثل المتجه **A** الذي يشير إلى الشمال والمتجه **B** الذي يشير إلى الشرق – يمكنك استعمال نظرية فيثاغورس لإيجاد مقدار المحصلة **R**.

نظرية فيثاغورس $R^2 = A^2 + B^2$

إذا كانت الزاوية بين متجهين **A** و **B** قائمة فإن مجموع مربعي مقداري المتجهين يساوي مربع مقدار المتجه المحصل.

إذا كانت الزاوية بين المتجهين المراد جمعهما لا تساوي 90° يمكنك استعمال قانون جيب التمام أو قانون الجيب.

قانون جيب التمام $R^2 = A^2 + B^2 - 2AB\cos\theta$

مربع مقدار المتجه المحصل يساوي مجموع مربعي مقداري المتجهين مطروحًا منه ضِعف حاصل ضرب مقداري المتجهين مضروبًا في جيب تمام الزاوية التي بينهما.

قانون الجيب $\frac{R}{\sin\theta} = \frac{A}{\sin a} = \frac{B}{\sin b}$

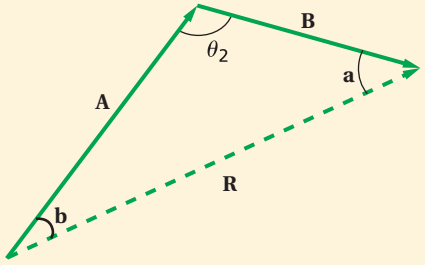
مقدار المحصلة مقسومًا على جيب الزاوية التي بين المتجهين يساوي مقدار أحد المتجهين مقسومًا على جيب الزاوية التي تقابله.

للمزيد من المعلومات حول قانون الجيب راجع دليل الرياضيات صفحة 96 ، وانظر الشكل الموضح في المثال الآتي.

مثـــال 1

إيجاد مقدار محصلة متجهين إزاحتان، الأولى 25 km والثانية 15 km. احسب مقدار محصلتهما عندما تكون الزاوية بينهما 90°، وعندما تكون الزاوية 135°.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم متجهي الإزاحة **A** و **B** وارسم الزاوية بينهما.

المعلوم

$A = 25\ km$ $\quad \theta_1 = 90°$

$B = 15\ km$ $\quad \theta_2 = 135°$

المجهول

$R = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم نظرية فيثاغورس لإيجاد مقدار المتجه المحصل عندما تكون الزاوية بين المتجهين 90°.

$R^2 = A^2 + B^2$

$R = \sqrt{A^2 + B^2}$

$= \sqrt{(25\ km)^2 + (15\ km)^2}$

$= 29\ km$

بالتعويض $A = 25\ km$ و $B = 15\ km$

دليل الرياضيات

الجذور التربيعية والجذور التكعيبية 222

لأن الزاوية بين المتجهين 135°، نستخدم قانون جيب التمام لإيجاد مقدار المتجه المحصل.

$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB(\cos\theta_2)$

$R = \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB(\cos\theta_2)}$

بالتعويض $A = 25\ km$ و $B = 15\ km$ والزاوية بينهما

$= \sqrt{(25\ km)^2 + (15\ km)^2 - 2(25\ km)(15\ km)(\cos 135°)} = 37\ km$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** كل جواب عبارة عن طول يُقاس بالكيلومترات.
- **هل للإشارات معنى؟** حاصل الجمع في كل حالة موجب.
- **هل الجواب منطقي؟** المقدار في كل حالة قريب من مقدار المتجهين المجموعين ولكنه أطول؛ وذلك لأن كل محصلة عبارة عن ضلع يقابل زاوية منفرجة. والإجابة الثانية أكبر من الأولى. وهذا يتفق مع تمثيل المتجهات بالرسم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

مسائل تدريبية

1. قطعت سيارة 125.0 km في اتجاه الغرب، ثم 65.0 km في اتجاه الجنوب. فما مقدار إزاحتها؟ حل المسألة بطريقة الرسم وبالطريقة الحسابية.
2. سار شخص 4.5 km في اتجاه ما، ثم انعطف بزاوية 45° في اتجاه اليمين، وسار مسافة 6.4 km. ما مقدار إزاحته؟

مركّبات المتجهات
Components of Vectors

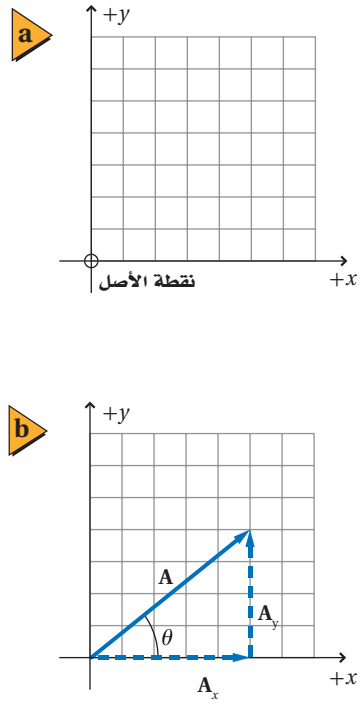
إن اختيار نظام إحداثي – كما في **الشكل 3a–5** – يشبه وضع شريحة بلاستيكية شفافة فوق رسم المتجهات في المسألة. وعليك اختيار الموضع الذي يحدد مركز الشبكة (نقطة الأصل)، وتثبت الاتجاهات التي تشير إليها المحاور، حيث يُمثَّل محور x بسهم يمر بنقطة الأصل ويشير إلى الاتجاه الموجب، كما في **الشكل 3a–5**، ويُرسم محور y الموجب على أن يصنع زاوية 90° في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة من محور x، ويتقاطع مع محور x في نقطة الأصل.

كيف تختار اتجاه محور x؟ ليس هناك إجابة واحدة صحيحة، ولكن بعض الخيارات تجعل حل المسألة أسهل من بعضها الآخر. عندما تكون الحركة الموصوفة محصورة في سطح الأرض يكون من الأسهل اختيار المحور x ليشير إلى اتجاه الشرق، والمحور y ليشير إلى اتجاه الشمال. وعندما تشتمل الحركة على جسم يتحرك خلال الهواء يتم اختيار المحور x ليكون أفقيًّا ويكون المحور y عموديًّا على المحور x. وإذا كانت الحركة على تل فإنه من المناسب اختيار المحور x الموجب في اتجاه الحركة، والمحور y عموديًّا على المحور x.

مركّبتا المتجه يمكنك وصف أي متجه بطريقة مختلفة عما سبق باستخدام النظام الإحداثي. فعلى سبيل المثال، يمكن وصف المتجه **A** كما في **الشكل 3b–5** على أنه يمثل الانتقال بمقدار 5 وحدات على المحور x والانتقال بمقدار 4 وحدات على المحور y. كما يمكنك تمثيل هذه المعلومات في صورة متجهين يُرمز إليهما بـ $\mathbf{A}_x$ و$\mathbf{A}_y$ على المخطط. لاحظ أن $\mathbf{A}_x$ يوازي محور x، و $\mathbf{A}_y$ يوازي محور y. ولاحظ كذلك أنه إذا جمع $\mathbf{A}_x$ مع $\mathbf{A}_y$ فإن المحصلة تساوي المتجه الأصلي **A**. وهكذا يمكن تجزئة المتجه إلى مركّبتين، وهما متجهان أحدهما يوازي المحور x والآخر يوازي المحور y. وهذا يجب عمله دائمًا، كما أن معادلة المتجهات الآتية صحيحة دائمًا.

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_x + \mathbf{A}_y$$

تُسمى عملية تجزئة المتجه إلى مركّبتيه **تحليل المتجه**. لاحظ أن المتجه الأصلي يمثل الوتر في مثلث قائم الزاوية، مما يعني أن مقدار المتجه الأصلي يكون دائمًا أكبر من مقدار أي مركّبة من مركّبتيه.



الشكل 3–5 يتكون النظام الإحداثي من نقطة الأصل ومحورين متعامدين **(a)**. يقاس اتجاه المتجه **A** في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة من محور x الموجب **(b)**.

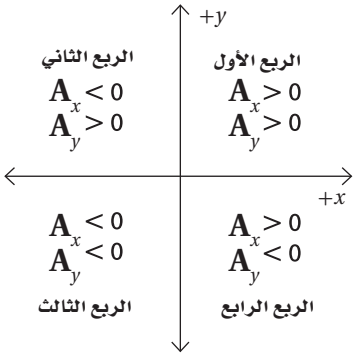
وهنـاك سـبب آخر لاختيار النظـام الإحداثي، هو أن اتجاه أي متجه يُحدَّد بالنسـبة إلى هذه الإحداثيـات. ويعـرّف اتجاه المتجه على أنـه الزاوية التي يصنعها المتجه مع محور x مقيسـة في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة. ففي **الشكل 3b–5** تمثل الزاوية θ اتجاه المتجه **A**.

ويُمكـن قيـاس أطوال مركّبات المتجهات بطريقة الرسـم، كما يمكن أيضًـا إيجاد المركّبات باسـتعمال علـم المثلثات. فتحسـب المركّبـات باسـتعمال المعـادلات المبينة أدنـاه، وتكون الزاوية θ مقيسة في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة من محور x الموجب.

$$\cos\theta = \frac{\text{الضلع المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{A_x}{A} \Rightarrow A_x = A\cos\theta$$

$$\sin\theta = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{A_y}{A} \Rightarrow A_y = A\sin\theta$$

عندما تكون الزاوية التي يصنعها المتجه مع محور x الموجب أكبر من $90°$ فإن إشارة إحدى المركّبتين أو كلتيهما تكون سالبة كما في **الشكل 4–5**.

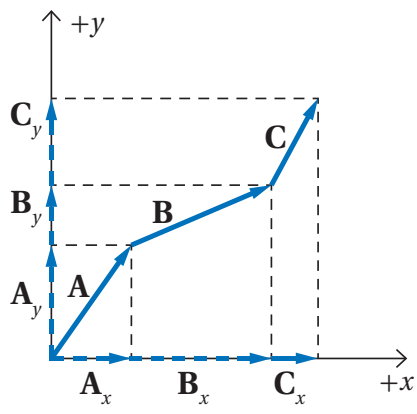


الشكل 4–5 تعتمد إشارة مركّبة المتجه على الربع الذي تقع فيه.

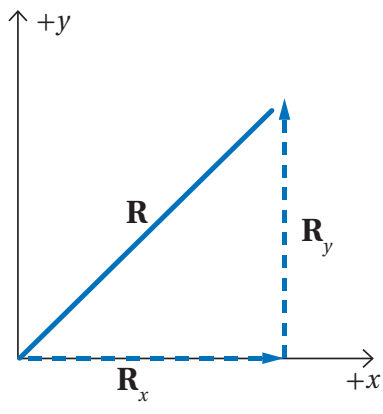
جمع المتجهات جبريًّا
Algebraic Addition of Vectors

لماذا تُحلّل المتجهات إلى مركّباتها؟ لأن ذلك يُسهل عملية جمع المتجهات حسابيًّا. فيمكن جمع متجهين أو أكثر مثل **A**، **B**، **C**، .... إلخ، وذلك بتحليل كل متجه إلى مركّبتيه x و y أولاً، ثم تجمع المركّبات الأفقية (مركّبات المحور x) للمتجهات لتكوّن المركّبة الأفقية للمحصلة: $\mathbf{R}_x = \mathbf{A}_x + \mathbf{B}_x + \mathbf{C}_x$.

وبالمثل تجمع المركّبات الرأسية (مركّبات المحور y) للمتجهات لتكوّن المركّبة الرأسية للمحصلة: $\mathbf{R}_y = \mathbf{A}_y + \mathbf{B}_y + \mathbf{C}_y$، وهذه العملية موضحة بيانيًّا في **الشكل 5–5**. ولأن $\mathbf{R}_x$ و $\mathbf{R}_y$ متعامدتان؛ لذا يمكن حساب مقدار المتجه المحصل باستعمال نظرية فيثاغورس $R^2 = R_x^2 + R_y^2$.



a. تحليل كل متجه إلى مركّبتيه.



b. إيجاد المحصلة

الشكل 5–5 $\mathbf{R}_x$ هي مجموع المركّبات الأفقية للمتجهات **A** و**B** و**C**. $\mathbf{R}_y$ هي مجموع المركّبات الرأسية للمتجهات **A** و**B** و**C**. الجمع الاتجاهي لـ $\mathbf{R}_x$ و $\mathbf{R}_y$ هو الجمع الاتجاهي للمتجهات **A** و**B** و**C**.

ولإيجاد الزاوية أو اتجاه المحصلة تذكر أن ظل الزاوية التي يصنعها المتجه المحصل مع محور x يُعبّر عنه بالعلاقة الآتية:

زاوية المتجه المحصل

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right)$$

زاوية المتجه المحصل تساوي الظل العكسي لخارج قسمة المركبة y على المركبة x للمتجه المحصل.

كما يمكنك إيجاد الزاوية باستعمال الزر $\tan^{-1}$ الموجود على الآلة الحاسبة. ولاحظ أنه عندما تكون الزاوية $\theta > 0$ فإن أغلب الآلات الحاسبة تعطي الزاوية بين $0°$ و $90°$، وعندما تكون $\theta < 0$ فإن الزاوية تكون بين $0°$ و $-90°$.

تجربة عملية

كيف يتحرك الجسم عندما تؤثر فيه قوتان؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين

استراتيجيات حل المسألة

جمع المتجهات

استعمل الخطوات الآتية لحل المسائل التي تحتاج فيها إلى جمع المتجهات أو طرحها:

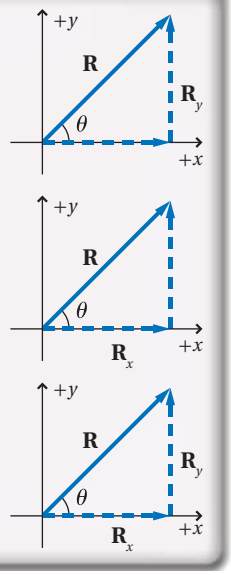
1. اختر نظامًا إحداثيًّا.
2. حلل المتجهات إلى مركّباتها الأفقية x باستعمال المعادلة $\mathbf{A}_x = \mathbf{A}\cos\theta$، وإلى مركّباتها العمودية y باستعمال $\mathbf{A}_y = \mathbf{A}\sin\theta$، إذ تقاس الزاوية θ في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة من محور x الموجب.
3. اجمع المركّبات التي على المحور x أو اطرحها للحصول على $\mathbf{R}_x$.
4. اجمع المركّبات التي على المحور y أو اطرحها للحصول على $\mathbf{R}_y$.
5. طبق نظرية فيثاغورس $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ لإيجاد مقدار المتجه المحصل.
6. طبق العلاقة $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right)$ لإيجاد زاوية المتجه المحصل.

الرياضيات في الفيزياء

$$\sin\theta = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{R_y}{R}$$

$$\cos\theta = \frac{\text{الضلع المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{R_x}{R}$$

$$\tan\theta = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الضلع المجاور}} = \frac{R_y}{R_x}$$



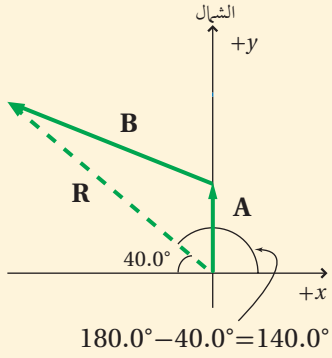
إن إتقانك عملية تحليل المتجهات إلى مركّباتها، واكتساب المزيد من الخبرة خلال ما تبقى من هذا الفصل والفصل الذي يليه، سوف يسهلان عليك تحليل أنظمة معقدة من المتجهات دون استخدام طريقة الرسم.

مثـــال 2

الطريق إلى المنزل يشير مستقبِل جهاز نظام تحديد المواقع العالمي إلى أن منزلك يبعد 15.0 km في اتجاه يصنع زاوية 40.0° شمال الغرب، ولكن الطريق الوحيد المتاح أمامك للوصول إلى المنزل هو في اتجاه الشمال. فإذا سلكت هذا الطريق وتحركت مسافة 5.0 km، فما المسافة التي يجب أن تقطعها بعد ذلك حتى تصل إلى منزلك؟ وفي أي اتجاه تسير؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم متجه المحصلة **R** من موقعك الأصلي إلى منزلك.
- ارسم المتجه المعلوم **A**، ثم ارسم المتجه المجهول **B**.



المعلوم

$\mathbf{A} = 5.0\ \text{km}$ في اتجاه الشمال

$\mathbf{R} = 15.0\ \text{km}$ في اتجاه 40.0° شمال الغرب

المجهول

$\mathbf{B} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد مركّبتي المتجه **R**.

$$R_x = R\cos\theta = (15.0\ \text{km})\cos 140.0° = -11.5\ \text{km}$$
$$R_y = R\sin\theta = (15.0\ \text{km})\sin 140.0° = 9.64\ \text{km}$$

بالتعويض $R = 15.0\ \text{km}$ و $\theta = 140.0°$

بما أن **A** في اتجاه الشمال، لذا فإن

$$A_y = 5.0\ \text{km}$$
$$A_x = 0.0\ \text{km}$$

استخدم مركّبات كل من **R** و **A** لإيجاد مركّبتي المتجه **B**.

بالتعويض $R_y = 9.46\ \text{km}$ و $A_y = 5.0\ \text{km}$ و $R_x = -11.5\ \text{km}$ و $A_x = 0.0\ \text{km}$

$$B_x = R_x - A_x = -11.5\ \text{km} - 0.0\ \text{km} = -11.5\ \text{km}$$

الإشارة السالبة تعني أن هذه المركّبة في اتجاه الغرب

$$B_y = R_y - A_y = 9.64\ \text{km} - 5.0\ \text{km} = 4.6\ \text{km}$$

دليل الرياضيات

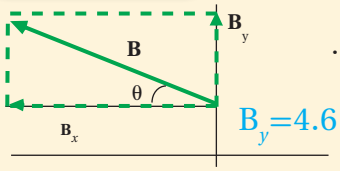
معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل 233

استخدم مركّبتي المتجه **B** لإيجاد مقدار المتجه **B**.

بالتعويض $B_x = -11.5\ \text{km}$ و $B_y = 4.6\ \text{km}$

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2}$$
$$= \sqrt{(-11.5\ \text{km})^2 + (4.6\ \text{km})^2}$$
$$= 12\ \text{km}$$

استخدم الظل لإيجاد اتجاه المتجه **B**.



بالتعويض $B_x = -11.5\ \text{km}$ و $B_y = 4.6\ \text{km}$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{B_y}{B_x}\right)$$
$$= \tan^{-1}\left(\frac{4.6\ \text{km}}{-11.5\ \text{km}}\right)$$
$$= -22° \text{ أو } (158°)$$

ضع ذيل المتجه **B** عند نقطة الأصل لنظام إحداثي، وارسم المركّبتين $\mathbf{B}_x$ و $\mathbf{B}_y$، فيكون الاتجاه في الربع الثاني وفي اتجاه يصنع زاوية مقدارها 22° شمال الغرب.

3 تقويم الجواب

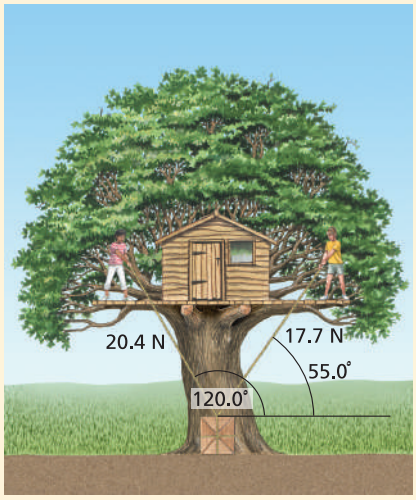
- **هل الوحدات صحيحة؟** الكيلومترات والدرجات صحيحة.
- **هل للإشارات معنى؟** تتفق الإشارات مع المخطط.
- **هل الجواب منطقي؟** إن طول المتجه **B** أكبر من R_x؛ لأن الزاوية بين **A** و **B** أكبر من 90°.

مسائل تدريبية

حُلّ المسائل ***8–3*** *جبريًا (يمكن حل بعضها أيضًا بطريقة الرسم للتحقق من الإجابة):*

3. يمشي أحمد مسافة 0.40 km بزاوية 60° غرب الشمال، ثم يمشي 0.50 km غربًا. ما إزاحة أحمد؟

4. يقضي الأخوان أحمد وعبد الله بعض الوقت في بيت بنياه فوق شجرة. وقد استعملا بعض الحبال لرفع صندوق كتلته 3.20 kg يحوي أمتعتهم. فإذا وقفا على غصنين مختلفين كما في **الشكل 6–5** وسحبا بالزاويتين والقوتين الموضحتين في الشكل، فاحسب كلًّا من المركّبتين x و y للقوة المحصلة المؤثرة في الصندوق. ***تنبيه: ارسم مخطط الجسم الحر حتى لا تنسى أي قوة.***



الشكل 6–5

5. إذا بدأت الحركة من منزلك فقطعت 8.0 km شمالاً، ثم انعطفت شرقًا حتى أصبحت إزاحتك من المنزل 10.0 km، فما مقدار إزاحتك شرقًا؟

6. أرجوحة طفل معلّقة بحبلين يميلان عن الرأسي بزاوية 13.0°، وهما مربوطان إلى فرع شجرة . فإذا كان الشد في كل حبل 2.28 N فما مقدار واتجاه القوة المحصلة التي يؤثر بها الحبلان في الأرجوحة؟

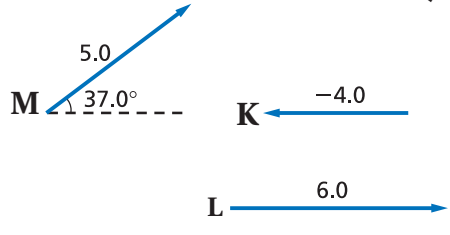
7. هل يمكن لمتجه أن يكون أقصر من إحدى مركّبتيه أو مساويًا لطولها؟ وضح ذلك.

8. في النظام الإحداثي الذي يشير فيه المحور x إلى الشرق، ما مدى الزوايا الذي تكون فيه المركّبة x موجبة؟ وما مدى الزوايا الذي تكون فيه سالبة؟

5–1 مراجعة

9. **المسافة مقابل الإزاحة** هل تساوي المسافة التي تمشيها مقدار إزاحتك؟ أعط مثالاً يدعم استنتاجك.

10. **طرح مُتّجه** في **الشكل 7–5** اطرح المُتّجه **K** من المتجه **L**.



الشكل 7–5

11. **مركّبات** أوجد مركّبتي المتجه **M** المبين في **الشكل 7–5**.

12. **جمع المتجهات** أوجد محصلة المُتّجهات الثلاثة المبينة في **الشكل 7–5**.

13. **عمليات إبدالية** إن الترتيب في جمع المتجهات غير مهم. ويقول علماء الرياضيات إن عملية جمع المتجه عملية إبدالية. فأيُّ العمليات الحسابية المألوفة عملية إبدالية، وأيها غير إبدالية؟

14. **التفكير الناقد** أزيح صندوق، ثم أزيح إزاحة أخرى يختلف مقدارها عن مقدار الإزاحة الأولى. هل يمكن أن يكون للإزاحتين اتجاهان بحيث يجعلان الإزاحة المحصلة تساوي صفرًا؟ افترض أن الصندوق حُرّك خلال ثلاث إزاحات مقاديرها غير متساوية، فهل يمكن أن تساوي الإزاحة المحصلة صفرًا؟ ادعم استنتاجك برسم تخطيطي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5–2 الاحتكاك Friction

عند تحريك يدك فوق سطح المقعد تشعر بقوة تمانع هذه الحركة. وتسمى هذه القوة الاحتكاك. وإذا دفعت كتابًا فوق سطح الطاولة فإن الكتاب يستمر في الحركة فترة قصيرة ثم يتوقف؛ ذلك لأن قوة الاحتكاك التي تؤثر في الكتاب تُكسبه تسارعًا في اتجاه يعاكس اتجاه حركته. وعلى الرغم من أننا ـ حتى الآن ـ نهمل الاحتكاك في حل المسائل، إلا أن هذا لا يعني عدم وجوده؛ فالاحتكاك موجود من حولنا. ونحن نحتاج إلى الاحتكاك كثيرًا عند بدء حركة السيارة أو الدراجة الهوائية، وعند وقوفنا ... فإذا مشيت يومًا على الجليد أو على أرض زلقة فستدرك حينها أهمية الاحتكاك. نخلص مما سبق أن **قوة الاحتكاك** هي قوة تلامس تؤثر في اتجاه معاكس للحركة الانزلاقية بين السطوح.

الأهداف

- **تعرّف** قوة الاحتكاك.
- **تميّز** بين الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي.

المفردات

قوة الاحتكاك
الاحتكاك الحركي
الاحتكاك السكوني
معامل الاحتكاك الحركي
معامل الاحتكاك السكوني

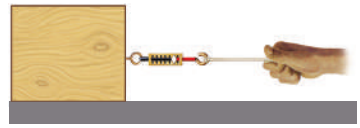
الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي
Static and Kinetic Friction

هناك نوعان من الاحتكاك يمانعان الحركة دائمًا. فعند دفع الكتاب فوق سطح الطاولة فإنه يتأثر بنوع من الاحتكاك الذي يؤثر في الأجسام المتحركة. وتُعرف هذه القوة **بالاحتكاك الحركي**، وهي قوة تنشأ بين سطحين متلامسين عند انزلاق أحدهما على الآخر.

ولفهم النوع الآخر من الاحتكاك تخيل أنك تحاول دفع أريكة على أرضية الغرفة، ففي البداية ستدفعها ولكنها لن تتحرك. ولأنها لا تتحرك فهذا يعني أن هناك قوة أفقية أخرى تؤثر في الأريكة، وهذه القوة لابد أنها تعاكس القوة التي تؤثر أنت بها، وتساويها مقدارًا طبقًا لقانون نيوتن الثاني. وتعرف هذه القوة **بالاحتكاك السكوني**، وهي قوة تنشأ بين سطحين متلامسين بالرغم من عدم انزلاق أي منهما على الآخر. وربما تزيد من قوة دفعك، كما في **الشكلين 5–8a** و **5–8b**. فإذا لم تتحرك الأريكة أيضًا فهذا يعني أن قوة الاحتكاك أصبحت أكبر من ذي قبل؛ لأن قوة الاحتكاك السكوني تستجيب لقوى أخرى. وأخيرًا، إذا دفعت الأريكة بقوة كافية، كما في **الشكل 5–8c** فإنها تبدأ في الحركة. من الواضح إذًا أن هناك قيمة قصوى لقوة الاحتكاك السكوني، وعندما تصبح قوتك أكبر من القيمة القصوى للاحتكاك السكوني تبدأ الأريكة في الحركة، ويبدأ الاحتكاك الحركي في التأثير بدلاً من الاحتكاك السكوني.

الشكل 5–8 هناك حد لمقدار قوة الاحتكاك السكوني في تجاوبه مع القوة المؤثرة.

نموذج لقوى الاحتكاك علامَ تعتمد قوة الاحتكاك؟ تعتمد قوة الاحتكاك بشكل أساسي على المواد التي تتكون منها السطوح. فعلى سبيل المثال قوة الاحتكاك السكوني بين حذائك والرصيف الإسمنتي تكون أكبر مما بين الحذاء وسطح من السراميك. وقد يبدو منطقيًّا أن تعتمد قوة الاحتكاك أيضًا على مساحة سطح الجسمين المتلامسين أو سرعتي حركتيهما، ولكن التجارب أثبتت أن ذلك غير صحيح؛ إذ المهم هو القوة العمودية بين الجسمين. فكلما زادت قوة دفع جسم للآخر كانت قوة الاحتكاك الناتجة أكبر.



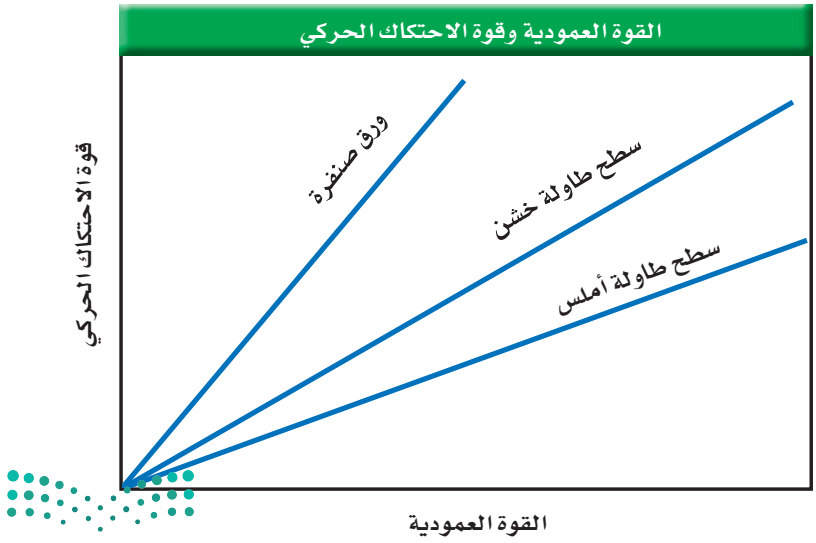
الشكل 9–5 يسحب الميزان النابضي الكتلة بقوة ثابتة.

فإذا سحبت مثلًا جسمًا على سطح ما بسرعة منتظمة فإن قوة الاحتكاك يجب أن تساوي القوة التي سحبت الجسم بها وتعاكسها طبقًا لقوانين نيوتن. ويمكنك سحب جسم معلوم الكتلة على سطح طاولة بسرعة منتظمة بواسطة ميزان نابضي، كما في **الشكل 9–5** لقياس القوة التي تسحب بها هذا الجسم. ثم يمكنك بعد ذلك وضع كتلةٍ إضافية فوق سطح الكتلة الأولى لزيادة القوة العمودية وإعادة القياس مرة أخرى.

عند رسم البيانات تحصل على مخطط بياني، كما في **الشكل 10–5**. لاحظ أن هناك تناسبًا طرديًّا بين قوة الاحتكاك الحركي والقوة العمودية؛ فكل خط من الخطوط يقابل السطح الذي سحبت عليه الكتلة. لاحظ كذلك أن ميل الخط الذي يقابل سطح ورق الصنفرة أكبر من ميل الخط الذي يقابل السطح الأملس للطاولة. ويجب أن تتوقع أن سحب الكتلة على سطح ورق الصنفرة أصعب من سحبها على السطح الأملس للطاولة. لذا فإن الميل يرتبط بمقدار قوة الاحتكاك الناتجة. ويُسمى ميل هذا الخط **معامل الاحتكاك الحركي**، ويرمز إليه بـ μ_k. ويربط معامل الاحتكاك الحركي بين قوة الاحتكاك والقوة العمودية على النحو الآتي:

قوة الاحتكاك الحركي $f_k = \mu_k F_N$

قوة الاحتكاك الحركي تساوي حاصل ضرب معامل الاحتكاك الحركي في القوة العمودية.



الشكل 10–5 هناك علاقة خطية بين قوة الاحتكاك والقوة العمودية.

وترتبط قوة الاحتكاك السكوني القصوى بالقوة العمودية بطريقة مشابهة لتلك التي ترتبط بها قوة الاحتكاك الحركي. تذكر أن قوة الاحتكاك السكوني هي استجابة لقوة أخرى تحاول أن تجعل الجسم الساكن يبدأ حركته، فإذا لم يكن هناك قوة تؤثر في الجسم فإن قوة الاحتكاك السكوني تساوي صفرًا. أما إذا كان هناك قوة تحاول أن تسبب الحركة فإن قوة الاحتكاك السكوني تزداد لتصل إلى القيمة القصوى قبل أن تتغلب عليها القوة المؤثرة وتبدأ الحركة.

قوة الاحتكاك السكوني $f_s \leq \mu_s F_N$

قوة الاحتكاك السكوني أقل من أو تساوي حاصل ضرب معامل الاحتكاك السكوني في القوة العمودية.

في معادلة قوة الاحتكاك السكوني القصوى يمثل الرمز μ_s **معامل الاحتكاك السكوني** بين السطحين. أما $\mu_s F_N$ فيمثل قوة الاحتكاك السكوني القصوى التي يجب التغلب عليها قبل بدء الحركة. في **الشكل 5–8c** توازَن قوة الاحتكاك السكوني في اللحظة التي تسبق حركة الجسم.

لاحظ أن كلًّا من معادلة الاحتكاك الحركي ومعادلة الاحتكاك السكوني تحتوي على مقادير القوى فقط، كما أنّ الزاوية بين القوتين F_N و f قائمة. ويبين **الجدول 1–5** معاملات الاحتكاك بين سطوح مختلفة. لاحظ أن معاملات الاحتكاك المدرجة أقل من واحد، وهذا لا يعني أنها أقل من واحد دائمًا، فقد تزيد على ذلك في بعض الظروف الخاصة.

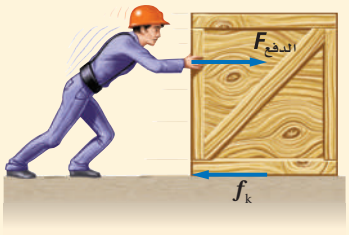
الجدول 1–5

معاملات الاحتكاك المثالية

السطح	μ_s	μ_k
مطاط فوق خرسانة جافة	0.80	0.65
مطاط فوق خرسانة رطبة	0.60	0.40
خشب فوق خشب	0.50	0.20
فولاذ فوق فولاذ جاف	0.78	0.58
فولاذ فوق فولاذ (مع الزيت)	0.15	0.06

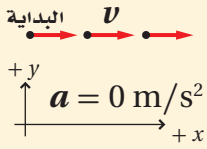
مثـــــال 3

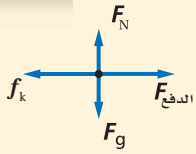
قوى احتكاك موازَنة إذا دفعت صندوقًا خشبيًّا كتلته 25.0 kg على أرضية خشبية بسرعة منتظمة مقدارها 1.0 m /s فما مقدار القوة التي أثّرتَ بها في الصندوق؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- حدد القوى وارسم نظامًا إحداثيًّا.
- ارسم نموذج الجسيم النقطي، على أن تبيّن السرعة الثابتة $\boldsymbol{v}$ و $\boldsymbol{a} = 0$.
- ارسم مخطط الجسم الحر.





المعلوم

$m = 25.0\ kg$

$v = 1.0\ m/s$

$a = 0.0\ m/s^2$

$\mu_k = 0.20$ (الجدول 1-5)

المجهول

$F_{الدفع} = ?$

$F_{محصلة} = 0\ N$

2 إيجاد الكمية المجهولة

تكون القوة العمودية في الاتجاه الرأسي (y)، وليس هناك تسارع.

بالتعويض $F_g = mg$

$F_N = -F_g = -mg$

بالتعويض $m = 25.0\ kg$ و $g = -9.80\ m/s^2$

$= (-25.0\ kg)\ (-9.80\ m/s^2)$

$F_N = +245\ N$

تكون قوة الدفع في الاتجاه الأفقي (x)، ولأنّ السرعة منتظمة فلا يكون هناك تسارع.

$f_k = \mu_k\, mg = F_{الدفع}$

بالتعويض $\mu_k = 0.20$ و $g = 9.80\ m/s^2$

$m = 25.0\ kg$

$= (0.20)\ (25.0\ kg)\ (9.80\ m/s^2)$

$= 49\ N$

$F_{الدفع} = +49\ N$ في اتجاه اليمين

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 216، 217

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس القوة بوحدة $kg.m/s^2$ (نيوتن N).
- **هل للإشارات معنى؟** تتفق الإشارات مع المخطط.
- **هل الجواب منطقي؟** القوة منطقية بالنسبة لتحريك صندوق كتلته 25.0 kg.

مسائل تدريبية

15. يؤثر فتى بقوة أفقية مقدارها 36 N في زلاجة وزنها 52 N عندما يسحبها على رصيف أسمنتي بسرعة منتظمة. ما معامل الاحتكاك الحركي بين الرصيف والزلاجة الفلزية؟ أهمل مقاومة الهواء.

16. يدفع عامر صندوقًا ممتلئًا بالكتب من مكتبه إلى سيارته. فإذا كان وزن الصندوق والكتب معًا 134 N ومعامل الاحتكاك السكوني بين البلاط والصندوق 0.55، فما مقدار القوة التي يجب أن يدفع بها عامر حتى يبدأ الصندوق في الحركة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

17. تستقر زلاجة وزنها 52 N على ثلج متراكم. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الزلاجة والثلج 0.12، وجلس شخص وزنه 650 N على الزلاجة فما مقدار القوة اللازمة لسحب الزلاجة على الثلج بسرعة ثابتة؟

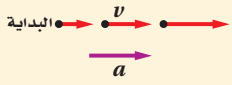
18. آلة معينة بها قطعتان فولاذيتان يجب أن تُدلك كل منهما بالأخرى بسرعة ثابتة. فإذا كانت القوة الضرورية لضمان أداء القطعتين بصورة مناسبة 5.8 N قبل معالجة تقليل الاحتكاك بينهما، فاحسب ـ مستعينًا **بالجدول 1-5** ـ القوة المطلوبة ليكون أداؤهما مناسبًا بعد معالجتهما بالزيت.

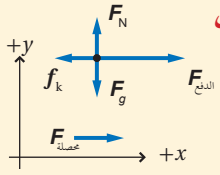
مثـــال 4

قوى احتكاك غير موازَنة في المثال 3 السابق، إذا تضاعفت القوة التي تؤثر بها في الصندوق الذي كتلته 25.0 kg، فما تسارع الصندوق؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم نموذج الجسيم النقطي مبيناً v و a .
- ارسم مخطط الجسم الحر على أن تكون $F_{\text{الدفع}}$ ضعف ما كانت عليه في المثال 3.





المعلوم

$m = 25.0\ \text{kg}$ $\quad \mu_k = 0.20$

$v = 1.0\ \text{m/s}$ $\quad F_{\text{الدفع}} = 2(49\text{N}) = 98\text{N}$

المجهول

$a = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

تكون القوة العمودية في اتجاه محور y، وليس هناك تسارع على هذا المحور. بمساواة القوة العمودية وقوة الوزن تحصل على:

بالتعويض $F_g = mg$

$$F_N = F_g = mg$$

يتحرك الصندوق بتسارع في الاتجاه الأفقي (x)، لذا فإن القوى غير متساوية.

بالتعويض $F_{\text{محصلة}} = ma$

$$F_{\text{محصلة}} = F_{\text{الدفع}} - f_k$$
$$ma = F_{\text{الدفع}} - f_k$$
$$a = \frac{F_{\text{الدفع}} - f_k}{m}$$

أوجد قيمة f_k.

دليل الرياضيات

فصل المتغير 222

بالتعويض $F_N = mg$

$$f_k = \mu_k F_N$$
$$= \mu_k (mg)$$

بالتعويض $f_k = \mu_k (mg)$

$$a = \frac{F_{\text{الدفع}} - \mu_k(mg)}{m}$$

بالتعويض $F_{\text{الدفع}} = 98\ \text{N}$ و $m = 25.0\ \text{kg}$ و $\mu_k = 0.20$ و $g = 9.80\ \text{m/s}^2$

$$= \frac{98\ \text{N} - (0.20)(25.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}{25.0\ \text{kg}}$$
$$= 2.0\ \text{m/s}^2$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التسارع بوحدة m/s^2.
- **هل للإشارات معنى؟** في هذا النظام الإحداثي يجب أن تكون الإشارة موجبة (التسارع في اتجاه القوة المحصلة).
- **هل الجواب منطقي؟** إذا استعملت نصف القوة المؤثرة فإن التسارع سيساوي صفرًا.

مسائل تدريبية

19. تنزلق قطعة خشبية كتلتها 1.4 kg على سطح خشن، فتتباطأ بتسارع مقداره $1.25\ m/s^2$. ما معامل الاحتكاك الحركي بين القطعة الخشبية والسطح؟

20. ساعدت والدك لتحرِّكا خزانة كتب كتلتها 41 kg في غرفة المعيشة. فإذا تسارعت الخزانة بمقدار $0.12\ m/s^2$ أثناء دفعكما بقوة 65 N، فما معامل الاحتكاك الحركي بين الخزانة والسجادة؟

21. سُرِّع قرص في لعبة على أرضية خرسانية حتى وصلت سرعته إلى 5.8 m/s ثم أُفلت. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين القرص والأرضية 0.31، فما المسافة التي يقطعها القرص قبل أن يتوقف؟

22. عندما كان عبد الله يقود سيارته في ليلة ممطرة بسرعة 23 m/s، إذ شاهد فرع شجرة ملقى على الطريق فضغط على المكابح. إذا كانت المسافة بين السيارة والفرع لحظة الضغط على المكابح 60.0 m، وكان معامل الاحتكاك الحركي بين إطارات السيارة والطريق 0.41، فهل تتوقف السيارة قبل أن تصطدم بالفرع، علمًا بأن كتلة السيارة 2400 kg؟

عند التعامل مع الحالات التي تتضمن قوى الاحتكاك ينبغي تذكر الأمور الآتية:

أولاً: يؤثر الاحتكاك دائمًا في اتجاه يعاكس اتجاه الحركة (أو عندما يكون الجسم على وشك الحركة في حالة الاحتكاك السكوني).

ثانيًا: يعتمد مقدار قوة الاحتكاك على مقدار القوة العمودية بين السطحين، مع ملاحظة أن القوة العمودية قد لا تساوي وزن أي من الجسمين إذا أثرت قوة أو قوًى أخرى في اتجاه (أو عكس اتجاه) القوة العمودية، أو إذا كان الجسم موضوعًا على سطح مائل.

ثالثًا: حاصل ضرب معامل الاحتكاك السكوني في القوة العمودية يعطي القيمة القصوى لقوة الاحتكاك السكوني.

تطبيق الفيزياء

أسباب الاحتكاك تُعد جميع السطوح خشنة عند النظر إليها بالميكروسكوب، حتى تلك التي تبدو ملساء. فإذا نظرت إلى صورة بلورة الجرافيت المكبّرة بميكروسكوب خاص (Scanning tunneling microscope) يبيّن السطوح على مستوى الذرات فسوف ترى نتوءات سطح البلورة. وعندما يتلامس سطحان فإن النتوءات البارزة من السطحين تتلامس وتتشكل بينها روابط مؤقتة. وهذا هو أصل الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي. وتفاصيل هذه العملية لا تزال غير معروفة، وهي قيد البحث في الفيزياء والهندسة.

2–5 مراجعة

23. **احتكاك** قارن بين الاحتكاك السكوني والاحتكاك الحركي.

24. **قوة الاحتكاك** انزلق صندوق كتلته 25 kg على أرضية صالة رياضية، ثم توقف. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الصندوق وأرضية الصالة 0.15، فما مقدار قوة الاحتكاك التي أثرت فيه؟

25. **سرعة** ألقى أحمد بطاقة فانزلقت على سطح الطاولة مسافة 0.35 m قبل أن تتوقف. إذا كانت كتلة البطاقة 2.3 g، ومعامل الاحتكاك الحركي بينها وبين سطح الطاولة 0.24، فما السرعة الابتدائية للبطاقة؟

26. **قوة** إذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين طاولة كتلتها 40.0 kg وسطح الأرض يساوي 0.43، فما أكبر قوة أفقية يمكن أن تؤثر في الطاولة دون أن تحركها؟

27. **تسارع** انتقل سامي إلى شقة جديدة فوضع خزانته على أرضية صندوق الشاحنة. ما القوة التي تجعل الخزانة تتسارع عندما تتسارع الشاحنة إلى الأمام؟ وتحت أي ظرف يمكن للخزانة أن تنزلق؟ وفي أي اتجاه؟

28. **التفكير الناقد** تُدفع طاولة كتلتها 13 kg بقوة أفقية مقدارها 20 N، دون أن تحركها، وعندما دفعتها بقوة أفقية 25 N اكتسبت تسارعًا مقداره $0.26\ m/s^2$. ما الذي يمكن أن تستنتجه عن معاملي الاحتكاك السكوني والحركي؟

5–3 القوة والحركة في بعدين Force and Motion in Two Dimensions

الأهداف

- **تحدّد** القوة التي تسبب الاتزان عندما تؤثر ثلاث قوى في جسم ما.
- **تحلل** حركة جسم على سطح مائل أملس أو خشن.

المفردات

القوة الموازِنة

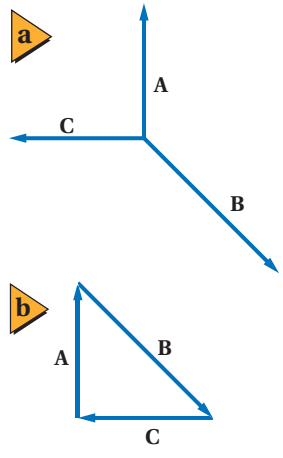
رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

درست حالات عديدة تتضمن قوى في بُعدين، منها الحالة الآتية: عندما يحدث احتكاك بين سطحين لا بد أن تأخذ بعين الاعتبار كلًّا من قوة الاحتكاك الموازية للسطح والقوة العمودية عليه. وفيما سبق درست الحركة في مستوى أفقي، وفيما يأتي ستستخدم مهاراتك في جمع المتجهات لتحليل حالات وأمثلة تتضمن قوى غير متعامدة تؤثر في جسم ما.

الاتزان Equilibrium

درست في الفصل الرابع أن الجسم يتزن عندما تكون محصلة القوى المؤثرة فيه صفرًا. وطبقًا لقانون نيوتن الثاني لا يتسارع الجسم عندما لا توجد قوة محصلة تؤثر فيه، لذا فإن اتزانه يعني أنه ساكن أو يتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم. ولقد حللت سابقًا أوضاع اتزان عديدة تتضمن قوتين تؤثران في جسم ما. إلا أنّه من المهم أن تدرك أن الاتزان قد يحدث حتى لو تعدّدت القوى التي تؤثر في الجسم. فإذا كانت القوة المحصلة تساوي صفرًا كان الجسم متزنًا.

يبين **الشكل 5–11a** ثلاث قوى تؤثر في جسم نقطي. ما مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الجسم؟ تذكر أنه يمكن نقل المتجهات مع المحافظة على مقاديرها واتجاهاتها. ويبين **الشكل 5–11b** جمع المتجهات الثلاثة **A**، **B**، **C**. لاحظ أن المتجهات الثلاثة تشكل مثلثًا مغلقًا، لذا فإن القوة المحصلة تساوي صفرًا، لذا يكون الجسم متزنًا.

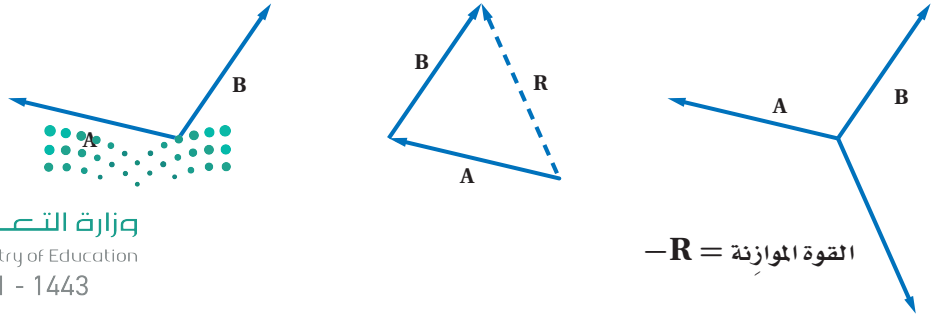


■ **الشكل 5–11** يتزن جسم عندما يكون مجموع القوى المؤثرة فيه صفرًا.

لنفترض أن قوتين تؤثران في جسم ما، وأن محصلتهما لا تساوي صفرًا، فكيف يمكن إيجاد قوة ثالثة، بحيث إذا جُمعت هذه القوة مع القوتين السابقتين تصبح المحصلة صفرًا، ويكون عندها الجسم مُتزنًا؟

لكي تجد هذه القوة عليك أن تجد أولاً محصلة القوتين اللتين تؤثران في الجسم. وتسمَّى القوة التي لها نفس تأثير القوتين مجتمعتين القوة المحصلة. والقوة الثالثة المطلوبة تساوي القوة المحصلة في المقدار، ولكنها تعاكسها في الاتجاه. وتسمى القوة التي تجعل الجسم متزنًا **القوة الموازِنة**. ويوضح **الشكل 5–12** خطوات إيجاد هذه القوة المتجهة، وهي خطوات عامة تستعمل أيًّا كان عدد المتجهات.

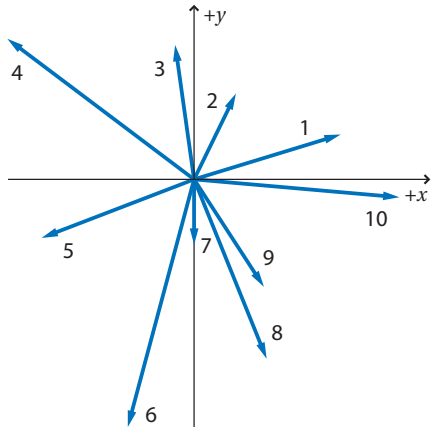
■ **الشكل 5–12** للقوة الموازِنة مقدار القوة المحصلة نفسها، ولكنها تعاكسها في الاتجاه.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

مسألة تحفيز

أوجد القوة الموازِنة للقوى الآتية:



$F_1 = 61.0\ N$ في اتجاه يصنع زاوية $17.0°$ شمال الشرق.

$F_2 = 38.0\ N$ في اتجاه يصنع زاوية $64.0°$ شمال الشرق.

$F_3 = 54.0\ N$ في اتجاه يصنع زاوية $8.0°$ غرب الشمال.

$F_4 = 93.0\ N$ في اتجاه يصنع زاوية $53.0°$ غرب الشمال.

$F_5 = 65.0\ N$ في اتجاه يصنع زاوية $21.0°$ جنوب الغرب.

$F_6 = 102.0\ N$ في اتجاه يصنع زاوية $15.0°$ غرب الجنوب.

$F_7 = 26.0\ N$ في اتجاه الجنوب.

$F_8 = 77.0\ N$ في اتجاه يصنع زاوية $22.0°$ شرق الجنوب.

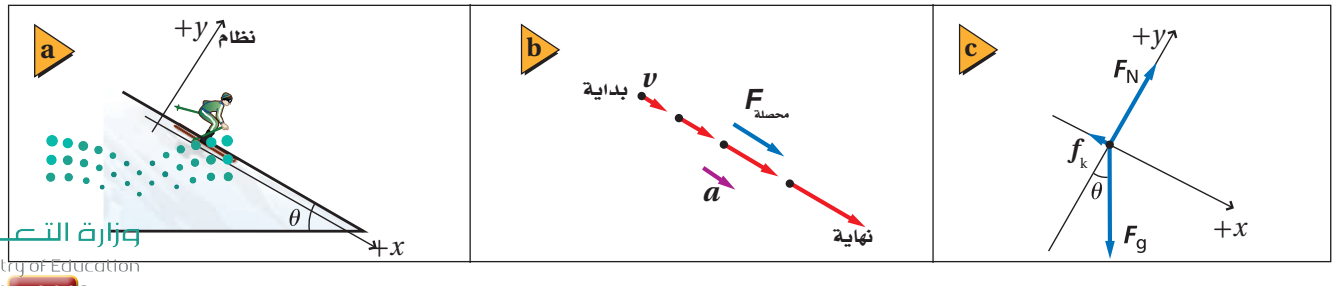
$F_9 = 51.0\ N$ في اتجاه يصنع زاوية $33.0°$ شرق الجنوب.

$F_{10} = 82.0\ N$ في اتجاه يصنع زاوية $5.0°$ جنوب الشرق.

الحركة على مستوى مائل
Motion Along an Inclined Plane

سبق أن طبقت قوانين نيوتن على حالات اتزان متنوعة، إلا أن حركة الجسم فيها اقتصرت على الاتجاه الأفقي أو الرأسي. كيف يمكن تطبيق هذه القوانين على حالة مماثلة لما في **الشكل 13a–5**، التي ينزلق فيها متزلج على مستوى مائل؟

ابدأ برسم شكل توضيحي عام يوضح حركة الجسم (المتزلج) ويبين اتجاه تسارعه واتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيه كما في **الشكل 13b–5**، ثم ارسم مخطط الجسم الحر، حيث تؤثر قوة الجاذبية الأرضية في المتزلج إلى أسفل في اتجاه مركز الأرض، وتؤثر القوة العمودية في اتجاه عمودي على السطح في اتجاه المحور $(+y)$، إضافةً إلى قوة الاحتكاك الموازية للسطح التي تؤثر في عكس اتجاه حركة المتزلج. يبين **الشكل 13c–5** مخطط الجسم الحر الناتج. وتعلم من خبرتك السابقة أن تسارع المتزلج يكون في اتجاه المستوى المائل في اتجاه المحور (x). كيف يمكن إيجاد القوة المحصلة التي تجعل المتزلج يتسارع؟



الشكل 13–5 ينزلق متزلج على مستوى مائل (a). ارسم نموذج الجسيم النقطي للسرعة والتسارع والقوة المحصلة (b)، وارسم مخطط الجسم الحر الذي يصف هذه القوى (c). من المهم أن ترسم اتجاه قوة الاحتكاك والقوى العمودية بصورة صحيحة لتحليل مثل هذه الحالات على نحو مناسب.

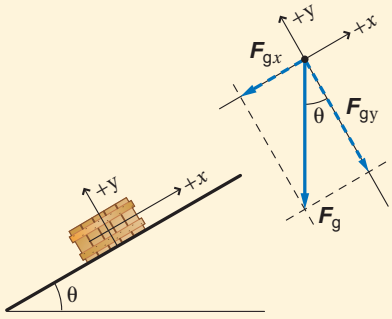
وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

مثـــــال 5

مركّبتا الوزن لجسم على سطح مائل يستقر صندوق وزنه 562 N على سطح مائل يصنع زاوية 30.0° فوق الأفقي. أوجد مركّبتي قوة الوزن الموازية للسطح والعمودية عليه.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم نظامًا إحداثيًّا يشير فيه المحور x الموجب إلى أعلى السطح المائل.
- ارسم مخطط الجسم الحر مبينًا F_g ومركّبتيها F_{gx} وF_{gy} والزاوية θ.



المعلوم		المجهول	
$F_g = 562\ \text{N}$	$\theta = 30.0°$	$F_{gx} = ?$	$F_{gy} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

F_{gx} و F_{gy} سالبتان لأنهما تشيران إلى اتجاهين يعاكسان المحورين الموجبين.

$$F_{gx} = -F_g \sin\theta$$

بالتعويض $\theta = 30.0°$ و $F_g = 562\ \text{N}$

$$= -(562\ \text{N})(\sin 30.0°)$$
$$= -281\ \text{N}$$

$$F_{gy} = -F_g \cos\theta$$

بالتعويض $F_g = 562\ \text{N}$ و $\theta = 30.0°$

$$= -(562\ \text{N})(\cos 30.0°)$$
$$= -487\ \text{N}$$

3 تقويم الجواب

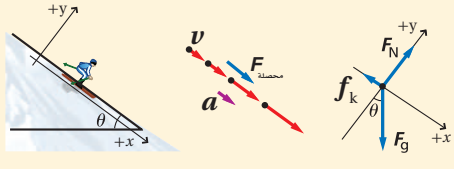
- **هل الوحدات صحيحة؟** تُقاس القوة بوحدة نيوتن.
- **هل للإشارات معنى؟** تشير المركّبتان إلى اتجاهين يعاكسان المحورين الموجبين.
- **هل الجواب منطقي؟** قيمة كل من المركّبتين أقل من قوة الوزن F_g.

مثـــــال 6

التزلج على منحدر يقف شخص كتلته 62 kg على زلاجة، وينزلق إلى أسفل منحدر ثلجي يميل على الأفقي بزاوية 37°. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الزلاجة والثلج 0.15، فما سرعة الشخص بعد مرور 5.0 s من بدء الحركة، علمًا بأنّه انزلق من السكون؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- كوّن نظامًا إحداثيًّا.
- ارسم نموذج الجسيم النقطي مبيناً تزايد F_N و F_g و f_k.
- ارسم مخطط الحركة مبينًا تزايد السرعة المتجهة v وكل من a و $F_{\text{محصلة}}$ على محور x الموجب، كما في **الشكل 13–5**.



المعلوم		المجهول
$m = 62\ \text{kg}$	$\theta = 37°$	$a = ?\quad v_f = ?$
$\mu_k = 0.15$	$v_i = 0.0\ \text{m/s}$	
$t = 5.0\ \text{s}$		

2 إيجاد الكمية المجهولة

في اتجاه المحور y:

لا يوجد تسارع في اتجاه المحور (y)، لذا فإن $a_y = 0.0\ \text{m/s}^2$

$$F_{\text{محصلة}y} = ma_y = 0.0\ \text{N}$$

حل لإيجاد القوة العمودية F_N

F_{gy} سالبة لأنها في اتجاه محور y السالب

$$F_{\text{محصلة}y} = F_N - F_{gy}$$

بالتعويض $F_{\text{محصلة}y} = 0.0\ \text{N}$

$$F_N = F_{gy}$$

بالتعويض $F_{gy} = mg\cos\theta$

$$= mg\,(\cos\theta)$$

دليل الرياضيات

فصل المتغير 222

في اتجاه المحور x:

حل لإيجاد التسارع a.

f_k سالبة لأنها في اتجاه محور x السالب للنظام الإحداثي

$$F_{\text{محصلة}x} = F_{gx} - f_k$$

بالتعويض $f_k = \mu_k F_N$ و $F_{gx} = mg\sin\theta$ و $F_{\text{محصلة}x} = ma$

$$ma_x = mg\,(\sin\theta) - \mu_k F_N$$

بالتعويض $F_N = mg\cos\theta$، $a = a_x$

$$= mg\,(\sin\theta) - \mu_k\, mg\,(\cos\theta)$$

بقسمة كلا الطرفين على m، والتعويض عن a_x بـ a لأن التسارع في اتجاه محور x الموجب

$$a = g\,(\sin\theta - \mu_k\cos\theta)$$

بالتعويض $g = 9.80\ \text{m/s}^2$ و $\mu_k = 0.15$ و $\theta = 37°$

$$= (9.80\ \text{m/s}^2)\,(\sin 37° - (0.15)\cos 37°)$$

$$\boldsymbol{a = 4.7\ \text{m/s}^2}$$

بما أن v_i و a و t قيمها معلومة، لذا يمكن استعمال المعادلة الآتية:

$$\boldsymbol{v_f = v_i + at}$$

بالتعويض $v_i = 0.0\ \text{m/s}$ و $a = 4.7\ \text{m/s}^2$ و $t = 5.0\ \text{s}$

$$= 0.0 + (4.7\ \text{m/s}^2)\,(5.0\ \text{s})$$

$$= 24\ \text{m/s}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يبين تحليل الوحدات أن وحدة v_f هي m /s، ووحدة a هي m/s^2.
- **هل للإشارات معنى؟** بما أن v_f و a كلتيهما في اتجاه محور x الموجب، لذا فإن الإشارات صحيحة.
- **هل الجواب منطقي؟** السرعة كبيرة ولكن الانحدار كبير (37°)، إضافةً إلى أنّ الاحتكاك بين الزلاجة والثلج قليل.

مسائل تدريبية

29. يصعد شخص بسرعة ثابتة تلًّا يميل على الرأسي بزاوية 60°. ارسم مخطط الجسم الحر لهذا الشخص.

30. حرّك أحمد وسمير طاولة عليها كأس كتلتها 0.44 kg بعيدًا عن أشعة الشمس. رفع أحمد طرف الطاولة من جهته قبل أن يرفع سمير الطرف المقابل، فمالت الطاولة على الأفقي بزاوية 15°. أوجد مركّبتي وزن الكأس الموازية لسطح الطاولة والعمودية عليه.

31. يبين **الشكل 14–5** شخصًا كتلته 50.0 kg يجلس على كرسي في عيادة طبيب الأسنان. فإذا كانت مركّبة وزنه العمودية على مستوى مقعد الكرسي 449 N، فما الزاوية التي يميل بها الكرسي بالنسبة إلى المحور الأفقي؟

الشكل 14–5

32. ينزلق سامي في حديقة الألعاب على سطح مائل يصنع زاوية 35° مع الأفقي. فإذا كانت كتلته 43 kg فما مقدار القوة العمودية بين سامي والسطح المائل؟

33. إذا وضعت حقيبة سفر على سطح مائل، فما مقدار الزاوية التي يجب أن يميل بها هذا السطح بالنسبة إلى المحور الرأسي حتى تكون مركّبة وزن الحقيبة الموازية للسطح مساوية لنصف مقدار مركّبتها العمودية عليه؟

34. في المثال رقم **6**، إذا تزلج الشخص نفسه إلى أسفل منحدر ثلجي زاوية ميله 31° على الأفقي، فما مقدار تسارعه؟

35. ينزلق شخص كتلته 45 kg إلى أسفل سطح مائل على الأفقي بزاوية 45°. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الشخص والسطح 0.25، فما مقدار تسارعه؟

36. في المثال رقم **6** إذا ازداد الاحتكاك بين الشخص والثلج فجأة إلى أن أصبحت القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا بعد مرور 5.0 s من بدء حركته، فما مقدار معامل الاحتكاك الحركي الجديد؟

تجربة

أثر الزاوية

ارفع لوحًا خشبيًّا من أحد طرفيه وثبّته بدعامة بحيث يشكّل سطحًا مائلًا بزاوية 45°. ثم علّق جسمًا كتلته 500 g بميزان نابضي.

1. **قِس** وزن الجسم وسجله. ثم ضع الجسم أسفل السطح، واسحبه ببطء وبسرعة ثابتة إلى أعلى السطح المائل.
2. **راقب وسجل** قراءة الميزان.

التحليل والاستنتاج

3. **احسب** مركّبة وزن الجسم الموازية للسطح المائل.
4. **قارن** قراءة الميزان في أثناء سحب الجسم على السطح المائل بمركّبة الوزن الموازية للسطح.

تجربة عملية
كيف يتحرك الجسم المنزلق على سطح مائل؟
ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين

أهم خطوة في تحليل المسائل التي تتضمن حركة جسم على سطح مائل هي اختيار نظام إحداثي مناسب. ولأن تسارع الجسم يكون موازيًا للسطح المائل فإن أحد المحاور يجب أن يكون في هذا الاتجاه، وعادة ما يكون المحور x هو الموازي للسطح. أما محور y فيكون عموديًّا على المحور x وعلى السطح المائل. في هذا النظام الإحداثي يكون هناك قوتان في اتجاه المحاور، هما: قوة الاحتكاك، والقوة العمودية، ولا تكون قوة الوزن في اتجاه أي من هذه المحاور. وهذا يعني أنه عند وضع جسم ما على سطح مائل فإنّ مقدار القوة العمودية بين الجسم والسطح المائل لا تساوي وزن الجسم.

لاحظ أنك تحتاج إلى تطبيق قانون نيوتن الثاني في اتجاه المحور x مرة، وفي اتجاه المحور y مرة أخرى. ولأن الوزن لا يشير إلى اتجاه أي من المحورين فإننا نقوم بتحليله إلى مركّبتين؛ إحداهما في اتجاه المحور x، والأخرى في اتجاه المحور y، وذلك قبل جمع القوى في هذين الاتجاهين. وهذه الخطوات موضحة في المثالين السابقين.

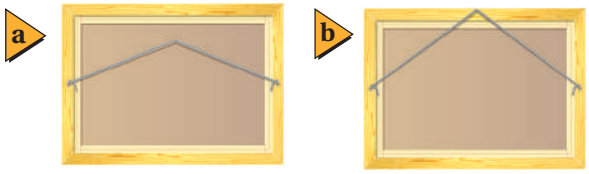
3–5 مراجعة

37. القوى من طرائق تخليص سيارتك من الوحل أن تربط طرف حبل غليظ بالسيارة وطرفه الآخر بشجرة، ثم تسحب الحبل من نقطة المنتصف بزاوية 90° بالنسبة إلى الحبل. ارسم مخطط الجسم الحر، ثم وضح لماذا تكون القوة المؤثرة في السيارة كبيرة حتى عندما تكون القوة التي تسحب بها الحبل صغيرة؟

38. الكتلة تُعلَّق لوحة النتائج الإلكترونية في سقف صالة ألعاب رياضية بـ 10 أسلاك غليظة؛ ستة منها تصنع زاوية 8.0° مع الرأسي، في حين تصنع الأسلاك الأربعة الأخرى زاوية 10.0° مع الرأسي. إذا كان الشد في كل سلك 1300 N، فما كتلة لوحة النتائج؟

39. التسارع يُسحب صندوقٌ كتلته 63 kg بحبل على سطح مائل يصنع زاوية 14.0° مع الأفقي. إذا كان الحبل يوازي السطح، والشد فيه 512 N، ومعامل الاحتكاك الحركي 0.27، فما مقدار تسارع الصندوق؟ وما اتجاهه؟

40. الاتزان تُعلّق لوحة فنية بسلكين طويلين. وإذا كانت القوة المؤثرة في السلكين كبيرة فسوف ينقطعان. فهل يجب أن تُعلَّق اللوحة كما في **الشكل 5–15a** أم كما في **الشكل 5–15b**؟ فسّر ذلك.



الشكل 5–15

41. التفكير الناقد هل يمكن أن يكون لمعامل الاحتكاك قيمة، بحيث يتمكن متزلج من الوصول إلى قمة تل بسرعة ثابتة؟ ولماذا؟ افترض عدم وجود قوى أخرى تؤثر في المتزلج إلا وزنه.

مختبر الفيزياء

معامل الاحتكاك

تنشأ قوتا الاحتكاك السكوني والحركي بين سطحين متلامسين. فالاحتكاك السكوني قوة يجب أن يُتغلَّب عليها ليبدأ الجسم حركته. أما الاحتكاك الحركي فيحدث بين جسمين متحركين أحدهما بالنسبة إلى الآخر. وتحسب قوة الاحتكاك الحركي f_k بالعلاقة $f_k = \mu_k F_N$؛ حيث يمثل μ_k معامل الاحتكاك الحركي، و F_N القوة العمودية المؤثرة في الجسم. أمّا القيمة القصوى للاحتكاك السكوني f_s فتُحسب بالعلاقة $f_s = \mu_s F_N$؛ حيث يمثل μ_s معامل الاحتكاك السكوني، و F_N القوة العمودية المؤثرة في الجسم. إن القيمة القصوى لقوة الاحتكاك السكوني التي يجب أن يتغلب عليها الجسم حتى يبدأ حركته هي $\mu_s F_N$. فإذا أثّرْتَ بقوة ثابتة $F_{\text{الدفع}}$ لتحريك جسم على سطح أفقي بسرعة ثابتة فإن قوة الاحتكاك التي تُمانع حركة الجسم تساوي في المقدار القوة المؤثرة $F_{\text{الدفع}}$ وتعاكسها في الاتجاه؛ أيْ أن $f_k = F_{\text{الدفع}}$. وعندما يكون الجسم على سطح أفقي والقوة المؤثرة فيه أفقية فإن القوة العمودية تساوي وزن الجسم في المقدار وتعاكسه في الاتجاه.

سؤال التجربة

كيف يمكن تحديد معاملي الاحتكاك السكوني والحركي لجسم على سطح أفقي؟

الأهداف

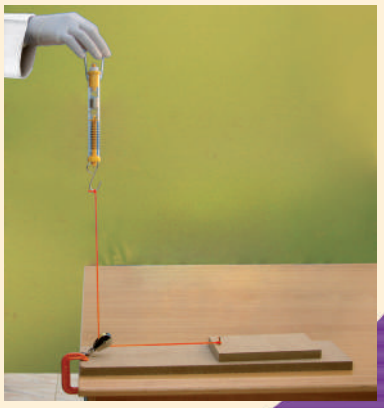
- **تقيس** القوة العمودية وقوة الاحتكاك المؤثرة في جسم حين يبدأ حركته، وعندما يكون متحركًا.
- **تستعمل** الأرقام لحساب μ_s و μ_k.
- **تقارن** بين قيم μ_s و μ_k.
- **تحلّل** نتائج الاحتكاك الحركي.
- **تقدّر** الزاوية التي يبدأ عندها الجسم في الانزلاق على سطح مائل.

احتياطات السلامة

- **ابتعد عن الأجسام أثناء سقوطها.**

الموادّ والأدوات

شريط لاصق
خيط طوله 1 m
ميزان نابضي
قطعة خشبية ملزمة
سطح خشبي
بكرة



الخطوات

1. افحص الميزان النابضي للتحقق من أن قراءته صفر عندما يُعلّق بصورة رأسية، وإذا لم تكن كذلك فانتظر تعليمات المعلم لجعل القراءة صفرًا.
2. استعمل الملزمة لربط البكرة مع حافة الطاولة والسطح الخشبي.
3. اربط طرف الخيط بخطاف الميزان النابضي وطرفه الآخر بالقطعة الخشبية.
4. قِسْ وزن القطعة الخشبية، وسجل القراءة لتمثل القوة العمودية في جداول البيانات 1 و 2 و 3 .
5. فك طرف الخيط المربوط بخطاف الميزان النابضي، ومرّر الخيط من خلال البكرة، ثم أعد ربط طرفه بالميزان.
6. حرك القطعة الخشبية بعيدًا عن البكرة إلى الحد الذي يسمح به الخيط مع المحافظة على بقاء القطعة على السطح الخشبي.
7. اجعل الميزان النابضي رأسيًّا بحيث تتشكل زاوية قائمة عند البكرة بين قطعة الخشب والميزان. ثم اسحب الميزان ببطء إلى أعلى، وراقب القوة اللازمة لجعل القطعة الخشبية تبدأ في الانزلاق، وسجل هذه القيمة على أنها قوة الاحتكاك السكوني في جدول البيانات 1.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

جدول المواد	
مادة الجسم	
مادة السطح	

جدول البيانات 1				
F_N (N)	قوة الاحتكاك السكوني f_s (N)			
	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط

جدول البيانات 2				
F_N (N)	قوة الاحتكاك الحركي f_k (N)			
	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط

8. كرّر الخطوتين 6 و 7 مرتين.
9. كرّر الخطوتين 6 و 7، وعندما تبدأ القطعة في الانزلاق اسحب بدرجة كافية لجعلها تتحرك بسرعة ثابتة على السطح الأفقي. سجل هذه القوة على أنها قوة الاحتكاك الحركي في جدول البيانات 2.
10. كرّر الخطوة 9 مرتين.
11. ضع القطعة عند نهاية السطح، ثم ارفعه من جهة القطعة ببطء حتى يصبح مائلاً. وانقر القطعة برفق حتى تتحرك وتتغلب على قوة الاحتكاك السكوني. وإذا توقفت القطعة فأعدها إلى أعلى السطح المائل، وكرّر الخطوة مرة أخرى. استمر في زيادة الزاوية θ المحصورة بين السطح المائل والأفقي، وانقر القطعة حتى تنزلق بسرعة ثابتة إلى أسفل السطح، وسجل الزاوية θ في جدول البيانات 4.

التحليل

1. أوجد القيمة المتوسطة لقوة الاحتكاك السكوني $f_{s,\,max}$ من المحاولات الثلاث، وسجّل النتيجة في العمود الأخير لجدول البيانات 1 وفي جدول البيانات 3.
2. أوجد القيمة المتوسطة لقوة الاحتكاك الحركي f_k من المحاولات الثلاث، وسجّل النتيجة في العمود الأخير لجدول البيانات 2 وفي الجدول 3 .
3. استعمل بيانات الجدول 3 لحساب معامل الاحتكاك السكوني μ_s، وسجّل قيمته في الجدول نفسه.

جدول البيانات 3				
F_N (N)	f_s (N)	f_k (N)	μ_s	μ_k

جدول البيانات 4 (الزاوية θ عندما يبدأ الجسم الانزلاق)	
θ	tan θ

4. استعمل بيانات الجدول 3 لحساب معامل الاحتكاك الحركي μ_k، وسجل قيمته في الجدول نفسه.
5. احسب tan θ للزاوية الواردة في جدول البيانات رقم 4.

الاستنتاج والتطبيق

1. **قارن** تفحص قيم μ_s و μ_k التي حصلت عليها. وتحقق من معقولية النتائج.
2. **استخدم النماذج** ارسم مخطط الجسم الحر موضحًا القوى المؤثرة في القطعة الخشبية عندما توضع على السطح المائل بزاوية θ على الأفقي. وتحقق من أن المخطط يتضمن القوة الناشئة عن الاحتكاك.
3. ما الذي يمثله tan θ اعتمادًا على مخططك، مع الأخذ بعين الاعتبار أن الزاوية θ هي الزاوية التي يبدأ عندها الجسم في الانزلاق؟
4. **قارن** بين قيمة tan θ (تجريبيًّا) و μ_s و μ_k.

التوسع في البحث

كرّر التجربة باستعمال سطوح أخرى ذات خصائص مختلفة.

الفيزياء في الحياة

إذا تزلجت إلى أسفل تل، ورغبت في تحديد معامل الاحتكاك الحركي بين الزلاجة وسطح التل، فكيف يمكنك القيام بذلك؟ كن دقيقًا في كيفية تحديد خطوات حل هذه المسألة.

التقنية والمجتمع

الأفعوانيات Roller Coasters

لماذا تبعث الأفعوانية على البهجة؟ إن ركوب الأفعوانية لا يبعث على السرور لولا القوى المؤثرة في العربة والراكب. ما القوى المؤثرة في راكب العربة؟ تؤثر قوة الجاذبية في الراكب وفي العربة إلى أسفل، في حين يؤثر مقعد العربة بقوة في الراكب في الاتجاه المعاكس. وعندما تنعطف العربة يشعر الراكب بأن هناك قوة تدفعه إلى خارج المنعطف، إضافة إلى وجود قوى أخرى ناتجة عن احتكاك الراكب بالمقعد، وجانب العربة بقضيب الحماية.

معامل القوة يهتم مصممو الأفعوانية بمقدار القوى المؤثرة في الراكب، ويصممونها بحيث تهز القوى الراكب دون أن تؤذيه. ويقيس المصممون مقدار القوى المؤثرة في الراكب من خلال حساب معامل القوة، حيث يساوي معامل القوة حاصل قسمة القوة التي يؤثر بها المقعد في الراكب على وزن الراكب. افترض أن وزن الراكب 600 N، فإذا كان الراكب أسفل التل فقد يكون معامل القوة الضعف؛ وهذا يعني أن الراكب يشعر أسفل التل أن وزنه ضعف وزنه الحقيقي؛ أيْ 1200 N. وعلى العكس من ذلك يشعر الشخص عند القمة وكأن وزنه نصف وزنه الحقيقي. وهكذا فإن المصممين يولّدون الإثارة بتغيير الوزن الظاهري للراكب.

عوامل الإثارة يعالج مصممو الأفعوانيات الطريقة التي تجعل الجسم يشعر بالإثارة. فمثلاً تتحرك الأفعوانية فوق أول التل ببطء شديد إلى أن تخدع الراكب، فيشعر أن التل أعلى كثيرًا من حقيقته.

تشعر أعضاء الأذن الداخلية بموقع الرأس في حالتي سكونه وحركته. وتساعد هذه الأعضاء على اتزان الجسم بتزويد الدماغ بالمعلومات، فيرسل الدماغ بدوره رسائل عصبية إلى العضلات لتحقيق الاتزان. ونظرًا إلى التغير المستمر في موقع الراكب خلال الأفعوانية ترسل الأعضاء رسائل متضاربة إلى الدماغ، فتتمدد العضلات وتتقلص خلال الرحلة.

وتدرك أنك تتحرك بسرعة كبيرة من خلال مشاهدتك الأجسام التي تمر بالقرب منك بسرعة كبيرة. لذا يستغل المصممون المناظر المحيطة بالمنعطفات والانحناءات والأنفاق لإعطاء الراكب قدرًا كبيرًا من المشاهد المثيرة.

تنتج الرعشة التي تعتري راكب الأفعوانية عن القوى المؤثرة فيه وردود فعله على المنبهات المرئية.

وفقدان التوازن جزء من إثارة المتحمسين. ولجذب المزيد من الزوار تصمم متنزهات التسلية باستمرار أفعوانيات تزيد من مستوى الإثارة. وقد تؤدي المثيرات ورسائل الأذن الداخلية إلى الغثيان.

التوسع

1. **قارن** بين تجربتك في ركوب الأفعوانية في المقاعد الأمامية وفي المقاعد الخلفية، وفسر إجابتك من خلال القوى التي تؤثر فيك.
2. **التفكير الناقد** تستعمل الأفعوانيات القديمة نظام السلاسل والتروس، أمّا الحديثة منها فتستعمل النظام الهيدروليكي لرفع الأفعوانية إلى قمة التل الأول. ابحث في هذين النظامين مبينًا ما في كل منهما من المزايا والعيوب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 5
دليل مراجعة الفصل

5–1 المتجهات Vectors

المفردات
- المركّبات
- تحليل المُتّجه

المفاهيم الرئيسة
- يمكن استعمال نظرية فيثاغورس لتحديد مقدار المتجه المحصل عندما تكون الزاوية بين المتجهين 90°.

$$R^2 = A^2 + B^2$$

- يستعمل قانون جيب التمام وقانون الجيب لإيجاد مقدار محصلة متجهين إذا كان مقدار الزاوية بينهما لا يساوي 90°.

$$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB\cos\theta$$
$$\frac{R}{\sin\theta} = \frac{A}{\sin a} = \frac{B}{\sin b}$$

- مركّبتا المتجه عبارة عن متجهين يُسقطان على المحاور.

$$\cos\theta = \frac{\text{الضلع المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{A_x}{A} \Rightarrow A_x = A\cos\theta$$
$$\sin\theta = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{A_y}{A} \Rightarrow A_y = A\sin\theta$$
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right)$$

- يمكن جمع المتجهات من خلال جمع المركّبات التي في اتجاه المحور x وفي اتجاه المحور y بشكل منفصل.

5–2 الاحتكاك Friction

المفردات
- الاحتكاك الحركي
- الاحتكاك السكوني
- معامل الاحتكاك الحركي
- معامل الاحتكاك السكوني

المفاهيم الرئيسة
- تؤثر قوة الاحتكاك عندما يتلامس سطحان.
- تتناسب قوة الاحتكاك مع القوة العمودية.
- قوة الاحتكاك الحركي تساوي معامل الاحتكاك الحركي مضروبًا في القوة العمودية. $f_k = \mu_k F_N$
- قوة الاحتكاك السكوني أقل من أو تساوي معامل الاحتكاك السكوني مضروبًا في القوة العمودية.

$$f_s \le \mu_s F_N$$

5–3 القوة والحركة في بعدين Force and Motion in Two Dimensions

المفردات
- القوة الموازِنة

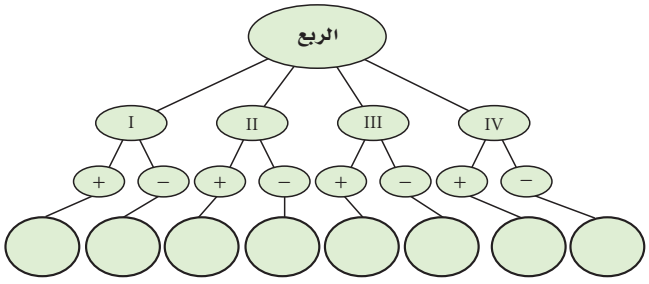
المفاهيم الرئيسة
- تُسمى القوة التي تؤثر في جسم لتجعله يتزن القوةَ الموازِنة.
- يمكن الحصول على القوة الموازِنة بإيجاد القوة المحصلة المؤثرة في الجسم، ثم التأثير بقوة تساويها في المقدار وتعاكسها في الاتجاه.
- الجسم الموجود على سطح مائل له مركّبة وزن في اتجاه يوازي السطح تجعل الجسم يتسارع في اتجاه أسفل السطح.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 5
التقويم

خريطة المفاهيم

42. أكمل خريطة المفاهيم أدناه مستخدمًا الجيب وجيب التمام والظل للإشارة إلى كل اقتران بإشارة موجبة أو سالبة في كل ربع من الدائرة. قد تبقى بعض الدوائر فارغة، وقد يشتمل بعضها الآخر على أكثر من عبارة.



إتقان المفاهيم

43. صف كيف يمكن جمع متجهين بطريقة الرسم؟ (5-1)

44. أيّ الأعمال الآتية يُسمح بها عند جمع متجه مع متجه آخر بطريقة الرسم: تحريك المتجه، أو دوران المتجه، أو تغيير طول المتجه؟ (5-1)

45. اكتب بكلماتك الخاصة تعريفًا واضحًا لمحصلة متجهتين أو أكثر. فسّر ما تمثله. (5-1)

46. كيف تتأثر الإزاحة المحصلة عند جمع متجهتين إزاحة بترتيب مختلف؟ (5-1)

47. وضّح الطريقة التي يمكن أن تستعملها لطرح كميتين متجهتين بطريقة الرسم ($\boldsymbol{F}_1 - \boldsymbol{F}_2$ مثلًا). (5-1)

48. عندما يُستعمل نظام إحداثي معين، ما الطريقة التي يمكن استعمالها لإيجاد زاوية متجه ما أو اتجاهه بالنسبة لمحاور هذا النظام الإحداثي؟ (5-1)

49. ما معنى أن يكون معامل الاحتكاك أكبر من واحد؟ حدد طريقة لقياسه. (5-2)

50. **سيارات** هل يزداد احتكاك إطار السيارة بالطريق إذا ازداد عرضه أم يقل؟ وضح ذلك مستعملاً معادلتي الاحتكاك اللتين درستهما في هذا الفصل. (5-2)

51. صف نظامًا إحداثيًّا مناسبًا للتعامل مع مسألة تشتمل على كرة تُقذف إلى أعلى في الهواء. (5-3)

52. إذا عُين نظام إحداثي يشير فيه المحور x الموجب في اتجاه يصنع زاوية 30° مع الأفقي، فما الزاوية بين المحور x والمحور y؟ وكيف يجب أن يكون اتجاه محور y الموجب؟ (5-3)

53. إذا كان كتاب الفيزياء متزنًا، فما الذي يمكن أن تستنتجه حول القوى المؤثرة فيه؟ (5-3)

54. هل يمكن لجسم متزن أن يتحرك؟ وضح ذلك. (5-3)

55. إذا طلب إليك تحليل حركة كتاب يستقر على سطح مائل: (5-3)

a. فصف أفضل نظام إحداثي لتحليل الحركة.

b. كيف تتأثر قيمة مركّبتي وزن الكتاب بمقدار زاوية ميل السطح؟

تطبيق المفاهيم

56. رُسم متجه طوله 15 mm ليمثل سرعة مقدارها 30 m/s. كم يجب أن يكون طول متجه يُرسم ليمثل سرعة مقدارها 20 m/s؟

57. كيف تتغير الإزاحة المحصلة عندما تزداد الزاوية بين متجهين من 0° إلى 180°؟

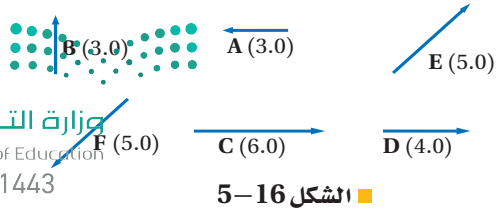
58. **السفر بالسيارة** تسير سيارة سرعتها 50 km/h في اتجاه 60° شمال الشرق. تم اختيار نظام إحداثي يشير فيه محور x الموجب في اتجاه الشرق ومحور y الموجب في اتجاه الشمال. أي مركّبتي متجه السرعة أكبر: التي في اتجاه المحور x أم التي في اتجاه المحور y؟

إتقان حل المسائل

5-1 المتجهات

59. أوجد المركّبتين الأفقية والرأسية لكل من المتجهات الآتية الموضحة في **الشكل 16-5**.

A .c **F .b** **E .a**



الشكل 16-5

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تقويم الفصل 5

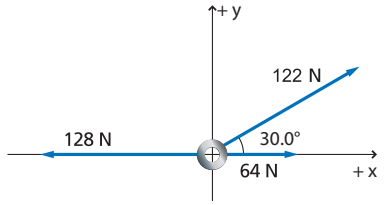
60. أوجد بطريقة الرسم مجموع كل زوج من المتجهات الآتية، علمًا بأن مقدار كل متجه واتجاهه مبينان في الشكل 16–5.

a. A و D　　**c.** A و C

b. C و D　　**d.** F و E

61. مشى رجل 30 m جنوبًا، ثم 30 m شرقًا. أوجد مقدار الإزاحة المحصلة واتجاهها بطريقة الرسم أولاً، ثم بطريقة تحليل المتجهات.

62. ما القوة المحصلة التي تؤثر في الحلقة المبينة في الشكل 17–5؟



الشكل 17–5

5–2 الاحتكاك

63. يُسحب صندوق كتلته 225 kg أفقيًّا تحت تأثير قوة مقدارها 710 N. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي 0.20، فاحسب تسارع الصندوق.

64. تؤثر قوة مقدارها 40.0 N في جسم كتلته 5.0 kg موضوع على سطح أفقي فتكسبه تسارعًا مقداره $6.0\ m/s^2$ في اتجاهها.

a. كم تبلغ قوة الاحتكاك بين الجسم والسطح؟

b. ما مقدار معامل الاحتكاك الحركي؟

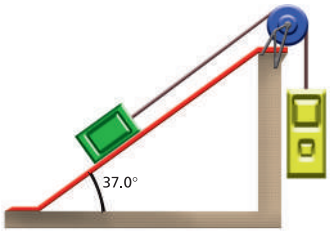
5–3 القوة والحركة في بعدين

65. يتزن جسم تحت تأثير ثلاث قوى؛ إذ تؤثر القوة الأولى 33.0 N في اتجاه يصنع زاوية 90.0° بالنسبة إلى المحور x، أما القوة الثانية 44.0 N فتؤثر في اتجاه يصنع زاوية 60.0° بالنسبة إلى المحور x. ما مقدار واتجاه القوة الثالثة؟

66. رُبط جسمان بخيط يمر فوق بكرة ملساء مهملة الكتلة، بحيث يستقر أحدهما على سطح مائل، والآخر مُعلق كما في الشكل 18–5. إذا كانت كتلة الجسم المعلّق 16.0 kg وكتلة الجسم الثاني 8.0 kg، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الجسم والسطح المائل 0.23، وتُركت المجموعة لتتحرك من السكون فاحسب:

a. مقدار تسارع المجموعة.

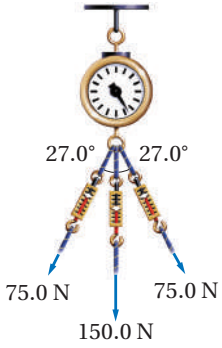
b. مقدار قوة الشد في الخيط.



الشكل 18–5

مراجعة عامة

67. يُسحب الميزان في الشكل 19–5 بثلاثة حبال. ما مقدار القوة المحصلة التي يقرؤها الميزان؟



الشكل 19–5

68. يراد دفع صخرة كبيرة كتلتها 20.0 kg إلى قمة جبل دون دحرجتها. فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الصخرة وسطح الجبل 0.40، وميل سطح الجبل 30.0° على الأفقي:

a. فما القوة التي يتطلبها دفع الصخرة إلى قمة الجبل بسرعة ثابتة؟

b. إذا دفعت الصخرة بسرعة $0.25\ m/s$، وتطلّب الوصول إلى قمة الجبل 8.0 ساعات، فما ارتفاع الجبل؟

تقويم الفصل 5

69. التزلج تُسحب زلاجة كتلتها 50.0 kg على أرض منبسطة مغطاة بالثلج. إذا كان معامل الاحتكاك السكوني 0.30، ومعامل الاحتكاك الحركي 0.10، فاحسب:

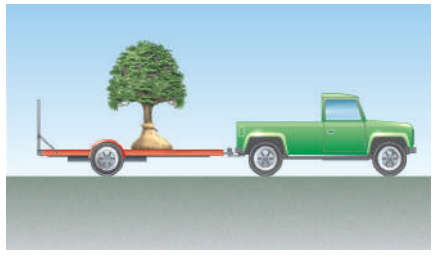
a. وزن الزلاجة.

b. القوة اللازمة لكي تبدأ الزلاجة في الحركة.

c. القوة التي تتطلبها الزلاجة لتستمر في الحركة بسرعة ثابتة.

d. بعد أن تبدأ الزلاجة في الحركة، ما القوة المحصلة التي تحتاج إليها الزلاجة لتتسارع بمقدار $3.0\ m/s^2$؟

70. الطبيعة تُنقل شجرة بشاحنة ومقطورة ذات سطح مستوٍ، كما في **الشكل 20–5**. إذا انزلقت قاعدة الشجرة فإنها ستنقلب وتتلف. فإذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين الشجرة وسطح المقطورة 0.50 فما أقل مسافة يتطلبها توقف الشاحنة التي تسير بسرعة 55 km/h، بحيث تتسارع بانتظام دون أن تنزلق الشجرة أو تنقلب؟



الشكل 20–5

التفكير الناقد

71. استخدام النماذج اعتبر الأمثلة التي درستها في هذا الفصل نماذج لتكتب مثالاً لحل المسألة الآتية، على أن يتضمن تحليل المسألة ورسمها، وإيجاد الكمية المجهولة، وتقويم الجواب: تسير سيارة كتلتها 975 kg بسرعة 25 m/s. إذا ضغط سائقها على المكابح فما أقصر مسافة تحتاج إليها السيارة لتتوقف؟ افترض أن الطريق مصنوع من الخرسانة، وقوة الاحتكاك بين الطريق والعجلات ثابتة، والعجلات لا تنزلق.

72. حلّل واستنتج تجول أحمد وسعيد وعبدالله في مدينة الألعاب، فرأوا المنزلق العملاق، وهو سطح مائل طوله 70 m، يميل بزاوية 27° على الأفقي. وقد تهيأ رجل وابنه للانزلاق على هذا المنزلق. وكانت كتلة الرجل 135 kg، وكتلة الابن 20 kg. تساءل أحمد: كم يقل الزمن الذي يتطلبه انزلاق الرجل عن الزمن الذي يتطلبه انزلاق الابن؟ أجاب سعيد: سيكون الزمن اللازم للابن أقل. فتدخل عبدالله قائلاً: إنكما على خطأ، سيصلان إلى أسفل المنزلق في الوقت نفسه. أجرِ التحليل المطلوب لتحديد أيهما على صواب.

الكتابة في الفيزياء

73. استقص بعض التقنيات المستعملة في الصناعة لتقليل الاحتكاك بين الأجزاء المختلفة للآلات. وصِفْ تقنيتين أو ثلاثًا، موضحًا دور الفيزياء في عمل كل منها.

74. أولمبياد بدأ حديثًا الكثير من لاعبي الأولمبياد ـ ومنهم لاعبو القفز والتزلج والسباحون ـ يستعملون وسائل متطورة لتقليل أثر الاحتكاك وقوى ممانعة الهواء والماء. ابحث في واحدة من هذه الأدوات، وبين كيف تطورت لتواكب ذلك عبر السنين، ووضح كيف أثّرت الفيزياء في هذه التطورات.

مراجعة تراكمية

75. اجمع أو اطرح كلًّا مما يأتي، وضع الجواب بالأرقام المعنوية الصحيحة:

a. $4.7\ g + 85.26\ g$

b. $0.608\ km + 1.07\ km$

c. $186.4\ kg - 57.83\ kg$

d. $60.8\ s - 12.2\ s$

76. ركبتَ دراجتك الهوائية مدة 1.5 h بسرعة متوسطة مقدارها 10 km/ h، ثم ركبتها مدة 30 min بسرعة متوسطة مقدارها 15 km / h. احسب مقدار سرعتك المتوسطة في هذه الرحلة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

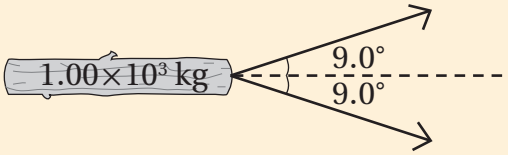
اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. يُسحب جذع شجرة كتلته 1.00×10^3 kg بجرّارين. إذا كانت الزاوية المحصورة بين الجرّارين $18.0°$ (كما في الشكل)، وكل جرار يسحب بقوة 8.00×10^2 N، فما مقدار القوة المحصلة التي سيؤثران بها في جذع الشجرة؟

(A) 250 N
(B) 1.52×10^3 N
(C) 1.58×10^3 N
(D) 1.60×10^3 N



2. يحاول طيارٌ الطيرانَ مباشرة في اتجاه الشرق بسرعة 800.0 km /h. فإذا كانت سرعة الرياح القادمة من اتجاه الجنوب الغربي 80.0 km /h فما السرعة النسبية للطائرة بالنسبة للأرض؟

(A) شمال الشرق، 5.7°، 804 km /h
(B) شمال الشرق، 3.8°، 858 km/h
(C) شمال الشرق، 4.0°، 859 km /h
(D) شمال الشرق، 45°، 880 km/ h

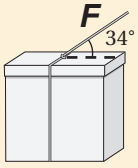
3. قرّر بعض الطلاب بناء عربة خشبية كتلتها 30.0 kg فوق زلاجة. فإذا وضِعت العربة على الثلج وصعد عليها راكبان كتلة كل منهما 90.0 kg، فما مقدار القوة التي يجب أن يسحب بها شخص العربة لكي تبدأ في الحركة؟ اعتبر معامل الاحتكاك السكوني بين العربة والثلج 0.15.

(A) 1.8×10^2 N
(B) 3.1×10^2 N
(C) 2.1×10^3 N
(D) 1.4×10^4 N

4. أوجد مقدار المركّبة الرأسية (y) لقوة مقدارها 95.3 N تؤثر بزاوية $57.1°$ بالنسبة إلى الأفقي.

(A) 51.8 N
(B) 80.0 N
(C) 114 N
(D) 175 N

5. يؤثر خيط في صندوق كما في الشكل أدناه بقوة مقدارها 18 N تميل على الأفقي بزاوية $34°$. ما مقدار المركّبة الأفقية للقوة المؤثرة في الصندوق؟



(A) 10 N
(B) 15 N
(C) 21.7 N
(D) 32 N

6. لاحظ عبدالله في أثناء قيادته لدراجته الهوائية على طريق شجرة مكسورة تغلق الطريق على بُعد 42 m منه. فإذا كان عبد الله يقود دراجته بسرعة 50.0 km /h ومعامل الاحتكاك الحركي بين إطارات الدراجة والطريق 0.36، فما المسافة التي يقطعها حتى يتوقف؟ علمًا بأن كتلة عبدالله والدراجة معًا 95 kg.

(A) 3.00 m
(B) 4.00 m
(C) 8.12 m
(D) 27.3 m

الأسئلة الممتدة

7. بدأ رجل المشي من موقع يبعد 310 m شمالاً عن سيارته في اتجاه الغرب وبسرعة ثابتة مقدارها 10 km/h. كم يبعد الرجل عن سيارته بعد مرور 2.7 min من بدء حركته؟

8. يجلس طفل كتلته 41.2 kg على سطح يميل على الأفقي بزاوية $52.4°$. إذا كان معامل الاحتكاك السكوني بينه وبين السطح 0.72، فما مقدار قوة الاحتكاك السكوني التي تؤثر في الطفل؟

✓ إرشاد

الآلات الحاسبة ليست سوى آلات

إذا أُتيح لك استعمال الآلة الحاسبة في الاختبار فاستعملها بحكمة. تعرّف الأرقام ذات الصلة، وحدد أفضل طريقة لحل المسألة قبل بدء النقر على مفاتيح الآلة.

الفصل 6

الحركة في بعدين
Motion in Two Dimensions

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تطبيق قوانين نيوتن، وما تعلمته عن المتجهات لتحليل الحركة في بُعدين.
- حل مسائل تتعلق بحركة المقذوفات والحركة الدائرية.
- حل مسائل تتعلق بالسرعة النسبية.

الأهمية

إن وسائل النقل والألعاب في مدينة الألعاب لا تخلو من آلات أو أجزاء آلات تتحرك على شكل مقذوفات أو تتحرك حركة دائرية، أو تتأثر بالسرعة النسبية.

أرجوحة دوّارة قبل أن تبدأ هذه الأراجيح في الدوران تكون المقاعد معلّقة رأسيًّا، وعندما تتسارع تتأرجح المقاعد بعيدًا؛ مائلة بزاوية ما.

فكِّر ◄

عندما تدور هذه الأراجيح بسرعة ثابتة المقدار، هل يكون لها تسارع؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تجربة استهلالية

كيف يمكن وصف حركة المقذوف؟

سؤال التجربة هل يمكنك وصف حركة مقذوف في كلا الاتجاهين الأفقي والرأسي؟

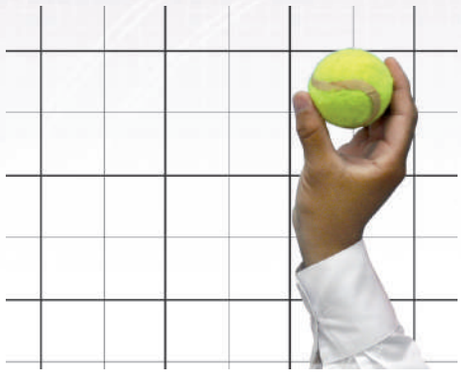
الخطوات

1. استعن بخلفية مقسمة إلى مربعات على تصوير كرة مقذوفة بالفيديو، على أن تبدأ حركتها بسرعة في الاتجاه الأفقي فقط.
2. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** ارسم موقع الكرة كل 0.1 s على ورقة رسم بياني.
3. ارسم شكلين للحركة: أحدهما يوضح الحركة الأفقية للكرة، والآخر يوضح حركتها الرأسية.

التحليل

كيف تتغير سرعة الكرة في الاتجاه الرأسي؟ هل تزداد أو تقل أو تظل ثابتة؟ كيف تتغير سرعة الكرة في الاتجاه الأفقي؟ هل تزداد أو تقل أو تظل ثابتة؟

التفكير الناقد صف حركة جسم يُقذف أفقيًّا.



رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6–1 حركة المقذوف Projectile Motion

إذا راقبت كرة قدم قذفت أو ضفدعًا يقفز فسوف تُلاحظ أنهما يتحركان في الهواء في مسارات متشابهة، كما في حركة السهام والطلقات بعد قذفها. وكل مسار من هذه المسارات عبارة عن منحنى يتحرك الجسم فيه إلى أعلى مسافة ما، ثم يغير اتجاهه بعد فترة ويتحرك إلى أسفل، وربما تكون معتادًا على رؤية هذا المنحنى الذي يُسمى في الرياضيات القطع المكافئ.

يُسمى الجسم الذي يطلق في الهواء **مقذوفًا**. ما القوى التي تؤثر في الجسم المقذوف بعد إطلاقه؟ يمكنك رسم مخطط الجسم الحر للمقذوف، وتحديد كل القوى المؤثرة فيه. فبغض النظر عن كتلة الجسم المقذوف، فإنه عند إطلاقه واكتسابه سرعة ابتدائية، وبإهمال قوة مقاومة الهواء تكون القوة الوحيدة التي تؤثر فيه في أثناء حركته في الهواء هي قوة الجاذبية الأرضية، وهذه القوة هي التي تجعله يتحرك في مسار منحنٍ أو على شكل قطع مكافئ. إن حركة الجسم المقذوف في الهواء تسمى **مسار المقذوف**، وإذا عرفت السرعة الابتدائية للمقذوف فستتمكن من حساب مسار الجسم.

الأهداف

- **تُلاحظ** أن الحركتين الأفقية والرأسية للمقذوف مستقلتان.
- **تربط** بين أقصى ارتفاع يصل إليه المقذوف، وزمن تحليقه في الهواء، وسرعته الابتدائية الرأسية باستعمال الحركة الرأسية.
- **تحدد** المدى الأفقي باستعمال الحركة الأفقية.
- **تفسّر** كيف يعتمد شكل مسار المقذوف على الإطار المرجعي الذي يُلاحَظ منه.

المفردات

المقذوف	مسار المقذوف
المدى الأفقي	زمن التحليق

استقلالية الحركة في بُعدين
Independence of Motion in Two Dimensions

إذا وقف طالبان أحدهما أمام الآخر وتقاذفا الكرة، فما شكل مسار حركة الكرة في الهواء كما تشاهده؟ إنه مسار منحنٍ (قطع مكافئ)، كما تعلمت سابقًا. تُرى، لماذا تتخذ الكرة هذا المسار؟ تخيل أنك تقف مباشرة خلف أحد اللاعبين وتراقب حركة الكرة عندما تُضرب، بم تُشبِّه حركتَها؟ ستلاحظ أنها تصعد إلى أعلى، ثم تعود إلى أسفل كأي جسم يُقذف رأسيًّا إلى أعلى في الهواء. ولو كنت تراقب حركة الكرة من منطاد مرتفع فوق اللاعبين، فأي حركة تشاهد عندئذٍ؟ ستلاحظ أن الكرة تسير أفقيًّا بسرعة ثابتة من لاعب إلى آخر، كأي جسم ينطلق بسرعة أفقية ابتدائية، مثل حركة قرص مطاطي على جليد ناعم. إن حركة المقذوف هي تركيب لهاتين الحركتين.

لماذا تتحرك المقذوفات بهذه الكيفية؟ أيّ قوى تؤثر في الكرة بعد أن تغادر يد اللاعب؟ إذا أهملت مقاومة الهواء فإن القوة الوحيدة المؤثرة هي قوة الجاذبية الأرضية إلى أسفل. كيف يؤثر ذلك في حركة الكرة؟ تعطي قوةُ الجاذبيةُ الأرضيةُ الكرةَ تسارعًا إلى أسفل.

يبين **الشكل 1–6** مساري كرتين بدأتا الحركة في اللحظة نفسها ومن الارتفاع نفسه بحيث تُركت الأولى لتسقط سقوطًا حرًّا، بينما قُذفت الثانية بسرعة أفقية ابتدائية مقدارها 2 m/s من الارتفاع نفسه. ما وجه الشبه بين المسارين؟ انظر إلى موقعيهما الرأسيين. إن ارتفاعي الكرتين متساويان في كل لحظة، لذا فإن سرعتيهما المتوسطتين الرأسيتين متساويتان خلال الفترة الزمنية نفسها. وتدل المسافة الرأسية المتزايدة التي يقطعانها على أن الحركة متسارعة إلى أسفل، وهذا بسبب قوة الجاذبية الأرضية. لاحظ أن الحركة الأفقية للكرة المقذوفة لم تؤثر في حركتها الرأسية. إنّ الجسم المقذوف أفقيًّا ليس له سرعة ابتدائية رأسية، لذلك فحركته الرأسية تشبه حركة الجسم الذي يسقط رأسيًّا من السكون، وتتزايد السرعة إلى أسفل بانتظام بسبب قوة الجاذبية الأرضية.

تجربة

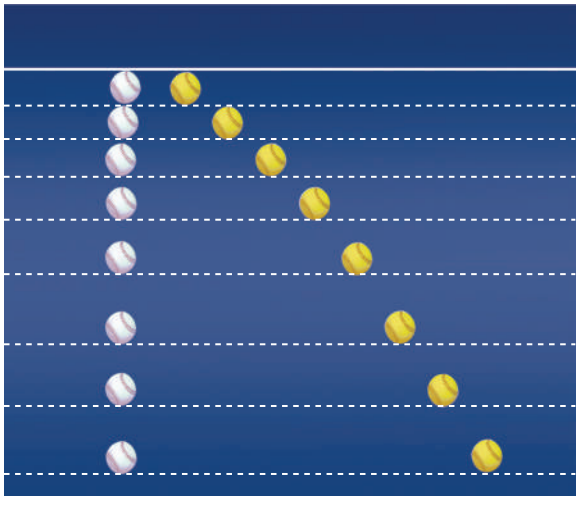
السقوط من فوق الحافة

أحضر كرتين؛ كتلة إحداهما ضعف كتلة الثانية.

1. **توقع** أي الكرتين ستصل الأرض أولاً عندما تُدحرجهما على سطح طاولة بحيث تكون سرعتاهما متساويتين، على أن يسقطا عن الحافة في اللحظة نفسها؟
2. **توقع** أي الكرتين تكون أبعد عن الطاولة لحظة ملامستها الأرض؟
3. **فسّر** توقعاتك.
4. **اختبر** توقعاتك.

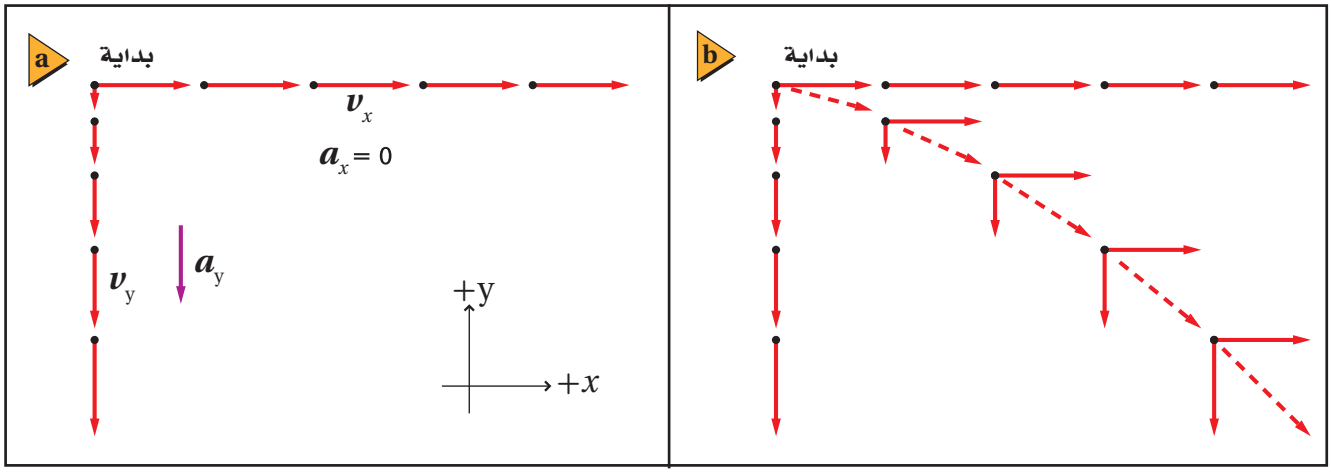
التحليل والاستنتاج

5. هل تؤثر كتلة الكرة في حركتها؟ وهل الكتلة عامل مؤثر في أي معادلة من معادلات الحركة للمقذوفات؟



الشكل 1–6 قذفت الكرة التي عن اليمين أفقيًّا، بينما أسقطت الكرة الأخرى من السكون في اللحظة نفسها. لاحظ أن المواقع الرأسيّة للكرتين متساوية في كل لحظة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443



■ **الشكل 2–6** يمكن فصل حركة الجسم إلى مركّبتيها الأفقية في اتجاه محور x والرأسية في اتجاه محور y. ويبين **الشكل a** تحليل السرعة إلى المركّبتين الأفقية والرأسية. أما **الشكل b** فيبين جمع المركّبتين الأفقية والرأسية لتشكّلا السرعة المتجهة الكلية المماسية للمسار.

يبين **الشكل 2a–6** مخطّطين منفصلين للحركتين الأفقية والرأسية لجسم مقذوف؛ حيث يمثل مخطّط الحركة الرأسية حركة الكرة التي أسقطت في اتجاه المحور y، بينما يبين مخطّط الحركة الأفقية السرعة الثابتة في اتجاه المحور x للكرة المقذوفة. إنَّ السرعة في الاتجاه الأفقي ثابتة دائمًا لعدم وجود قوى تؤثر في الكرة في هذا الاتجاه.

جُمعت السرعتان الأفقية والرأسية في **الشكل 2b–6** لتشكّلا السرعة المتجهة الكلية. ويمكن ملاحظة أن السرعة الأفقية الثابتة والتسارع الرأسي المنتظم قد أنتجا معًا مسارًا يتّخذ شكل القطع المكافئ.

استراتيجيات حل المسألة

الحركة في بُعدين

يمكن تحديد حركة المقذوف في بُعدين عن طريق تحليل الحركة إلى مركّبتين متعامدتين.

1. حلّل حركة المقذوف إلى حركة رأسية (في اتجاه المحور y)، وأخرى أفقية (في اتجاه المحور x).
2. الحركة الرأسية للمقذوف هي نفسها حركة جسم قُذف رأسيًّا إلى أعلى أو أُسقط أو قذف رأسيًّا إلى أسفل؛ حيث تؤثر قوة الجاذبية الأرضية في الجسم وتسبب تسارعه بمقدار g. راجع القسم 3–3 لتنشيط ذاكرتك حول حلول مسائل السقوط الحر.
3. تحليل الحركة الأفقية لمقذوف يشبه تمامًا حل مسألة حركة جسم يتحرك أفقيًّا بسرعة متجهة ثابتة. فعند إهمال مقاومة الهواء لا توجد قوة أفقية تؤثر في الجسم، ولأنَّه لا توجد قوى تؤثر في المقذوف في الاتجاه الأفقي فلا يوجد تسارع أفقي؛ أيْ أن $a_x = 0.0$. (في حل المسائل استعمل الطُّرق نفسها التي تعلمتها سابقًا في القسم 4–2).
4. الحركتان الأفقية والرأسية لهما الزمن نفسه؛ فالزمن منذ إطلاق المقذوف حتى اصطدامه بالهدف هو الزمن نفسه للحركتين الأفقية والرأسية. ولذا عند حساب الزمن لإحدى الحركتين تكون قد حَسبت الزمن للحركة الثانية.

مسائل تدريبية

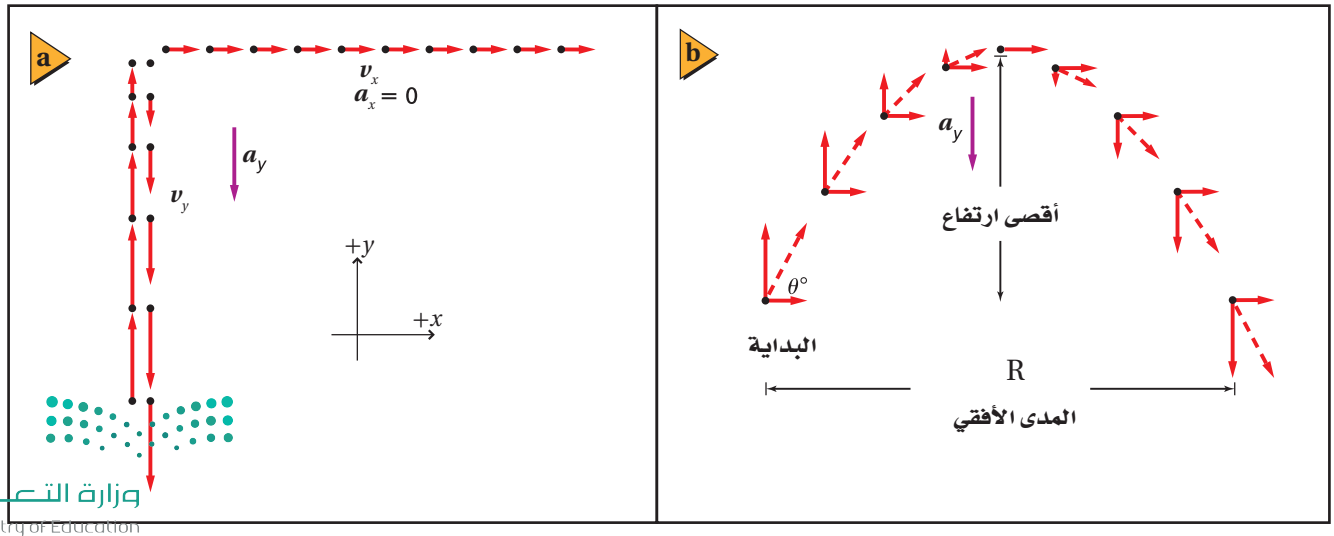
1. قُذف حجر أفقيًّا بسرعة 5.0 m/s من فوق سطح بناية ارتفاعها 78.4 m.
   a. ما الزمن الذي يستغرقه الحجر للوصول إلى أسفل البناية؟
   b. على أي بُعد من قاعدة البناية يرتطم الحجر بالأرض؟
   c. ما مقدار المركّبتين الرأسية والأفقية لسرعة الحجر قُبيل اصطدامه بالأرض؟
2. يشترك عمر وصديقه في إعداد نموذج لمصنع ينتج زرافات خشبية. وعند نهاية خط الإنتاج تنطلق الزرافات أفقيًّا من حافة حزام ناقل وتسقط داخل صندوق في الأسفل. فإذا كان الصندوق يقع على بُعد 0.6 m أسفل الحزام، وعلى بُعد أفقي مقداره 0.4 m، فما مقدار السرعة الأفقية للزرافات عندما تترك الحزام الناقل؟

المقذوفات التي تطلق بزاوية
Projectiles Launched at an Angle

عندما يُطلَق مقذوف بزاوية ما يكون لسرعته الابتدائية مركّبتان: إحداهما أفقية، والأخرى رأسية. فإذا قُذف جسم إلى أعلى فإنه يرتفع بسرعة تتناقص حتى يصل إلى أقصى ارتفاع له، ثم يأخذ في السقوط بسرعة متزايدة. لاحظ **الشكل 3a–6** الذي يبين الحركتين الأفقية والرأسية بصورة منفصلة للمقذوف. وفي نظام المحاور يكون المحور x أفقيًّا، والمحور y رأسيًّا. لاحظ التماثل في مقادير السرعة الرأسية، حيث يتساوى مقدار السرعة في أثناء الصعود والنزول عند كل نقطة في الاتجاه الرأسي، ويكون الاختلاف الوحيد بينهما في اتجاه السرعة؛ فهما متعاكسان.

يوضح **الشكل 3b–6** كميتين ترافقان مسار المقذوف؛ إحداهما هي أقصى ارتفاع يصل إليه المقذوف، حيث يكون له هناك سرعة أفقية فقط؛ لأن سرعته الرأسية صفر. أما الكمية الأخرى فهي **المدى الأفقي R**، وهي المسافة الأفقية التي يقطعها المقذوف. أما **زمن التحليق** فهو الزمن الذي يقضيه المقذوف في الهواء.

الشكل 3–6 الجمع الاتجاهي لـ v_y و v_x عند كل موضع يشير إلى اتجاه التحليق.

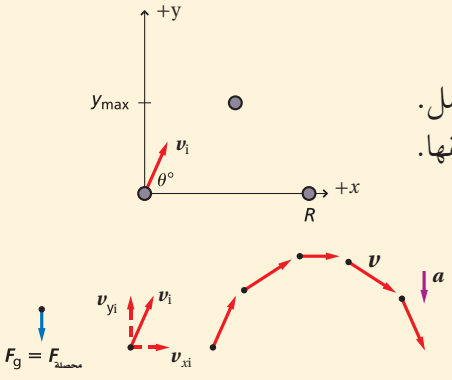


وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

مثـــال 1

تحليل كرة قُذفت كرة بسرعة متجهة 4.5 m/s في اتجاه يصنع زاوية 66° على الأفقي. ما أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة؟ وما زمن تحليقها عندما تعود إلى المستوى نفسه الذي قُذفت منه؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم نظام المحاور على أن يكون الموقع الابتدائي للكرة عند نقطة الأصل.
- بين مواقع الكرة عند بداية حركتها وعند أقصى ارتفاع تصله، وعند نهاية تحليقها.

المعلوم		المجهول	
$y_i = 0.0\ m$	$\theta_i = 66°$	$y_{max} = ?$	
$v_i = 4.5\ m/s$	$a_y = -g$	$t = ?$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب المركّبة الرأسيّة للسرعة الابتدائية v_{yi}

بالتعويض $v_i = 4.5\ m/s$، $\theta_i = 66°$

$$v_{yi} = v_i \sin\theta_i$$
$$= (4.5\ m/s)(\sin 66°)$$
$$= 4.1\ m/s$$

أوجد صيغة أو معادلة للزمن t.

بالتعويض $a_y = -g$

$$v_y = v_{yi} + a_y t$$
$$= v_{yi} - gt$$

احسب الزمن t.

$$t = \frac{v_{yi} - v_y}{g}$$
$$= \frac{4.1\ m/s - 0.0\ m/s}{9.80\ m/s^2}$$
$$= 0.42\ s$$

أوجد أقصى ارتفاع.

بالتعويض $t = 0.42\ s$، $y_i = 0.0$، $a_y = -g$
$v_{yi} = 4.1\ m/s$، $g = 9.80\ m/s^2$

$$\Delta y = v_{yi} t + \frac{1}{2} a_y t^2$$
$$y_{max} = y_i + v_{yi} t + \frac{1}{2} a_y t^2$$
$$= 0.0\ m + (4.1\ m/s)(0.42\ s) + \frac{1}{2}(-9.80\ m/s^2)(0.42\ s)^2$$
$$= 0.86\ m$$

احسب الزمن اللازم للعودة إلى الارتفاع نفسه لحظة الإطلاق.

زمن الصعود = زمن النزول

زمن التحليق = زمن الصعود + زمن النزول

$$\text{زمن التحليق} = 2t$$
$$= 2(0.42\ s)$$
$$= 0.84\ s$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يبين تحليل الوحدات أن الوحدات صحيحة.
- **هل للإشارات معنى؟** يجب أن تكون كلها موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** يبدو الزمن قليلاً ولكن السرعة المتجهة الابتدائية الكبيرة تبرر ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

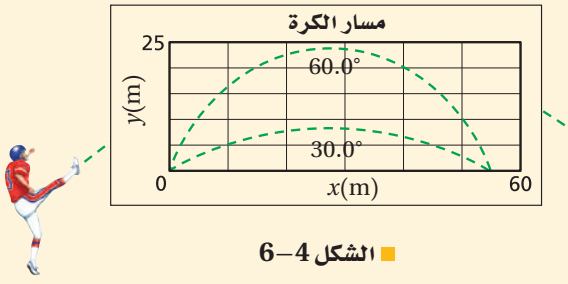
مسائل تدريبية

3. قـذف لاعبٌ كرةً من مستوى الأرض بسرعة متجهة ابتدائية 27.0 m/s في اتجـاه يميل على الأفقي بزاوية مقدارها 30.0°، كـما في **الشـكل 4–6**. أوجـد كلًّا من الكميـات الآتية، علمًا أن مقاومة الهواء مهملة:

a. زمن تحليق الكرة.

b. أقصى ارتفاع تصله الكرة.

c. المدى الأفقي للكرة.



الشكل 4–6

4. في السـؤال السـابق، إذا قـذف اللاعـب الكرة بالسرعة نفسـها ولكـن في اتجـاه يصنع زاويـة 60.0° على الأفقي، فما زمن تحليق الكـرة؟ وما المدى الأفقي؟ ومـا أقصى ارتفاع تصله الكرة؟

5. تُقذف كرة من أعلى بناية ارتفاعها 50.0 m بسرعة ابتدائية 7.0 m/s في اتجاه يصنع زاوية 53.0° على الأفقي. أوجد مقدار واتجاه سرعة الكرة لحظة اصطدامها بالأرض.

مسارات المقذوفات تعتمد على موقع المُشاهد

Trajectories Depend upon the Viewer

افترض أنك تجلس في حافلة، وقذفت كرة إلى أعلى ثم التقطتها عند عودتها إلى أسفل. تبدو الكرة لك أنها سـلكت مسـارًا مستقيمًا إلى أعلى وإلى أسـفل. لكن ما الذي يشاهده مُراقب يقف على الرصيف؟ يشاهد المُراقب الكرة تغادر يدك وترتفع إلى أعلى ثم تعود مرة أخرى إلى يـدك. ولأن الحافلـة تتحـرك فإن يدك تتحرك أيضًا، وسـيكون ليـدك والحافلة والكرة السرعة المتجهة نفسها. لذا يبدو مسار الكرة مشابهًا لمسار الكرة في المثال السابق.

مقاومـة الهواء لاحـظ أننا أهملنا أثـر مقاومة الهواء في حركة المقذوفـات حتى الآن. وقد تكـون مقاومـة الهواء قليلة جـدًّا تجاه بعض المقذوفات إلا أنها تكـون كبيرة تجاه مقذوفات أخرى. ففي كرة الجولف مثلاً تؤدي النتوءات الصغيرة على سطح الكرة إلى تقليل مقاومة الهـواء، ومـن ثـم إلى زيادة المـدى الأفقي. أمـا في كرة البيسـبول فإن دورانها حول نفسـها يجعلها تتأثر بقوى تؤدي إلى انحرافها عن مسارها. من المهم أن نتذكر أن قوة مقاومة الهواء موجودة دائمًا، وقد تكون مهمة.

6. رسم تخطيطي للجسم الحر ينزلق مكعب من الجليد على سطح طاولة دون احتكاك وبسرعة متجهة ثابتة، إلى أن يغادر حافة الطاولة ساقطًا في اتجاه الأرض. ارسم مخطط الجسم الحر للمكعب، وكذلك نموذج الجسيم النقطي مبينا التسارع عند نقطتين على سطح الطاولة ونقطتين في الهواء.

7. حركة المقذوف تُقذف كرة في الهواء بزاوية $50.0°$ بالنسبة إلى المحور الرأسي وبسرعة ابتدائية $11.0\ m/s$. احسب أقصى ارتفاع تصله الكرة.

8. حركة المقذوف قذفت كرة تنس من نافذة ترتفع $28\ m$ فوق سطح الأرض بسرعة ابتدائية مقدارها $15.0\ m/s$، وبزاوية $20.0°$ تحت الأفقي. ما المسافة التي تتحركها الكرة أفقيًّا قبيل اصطدامها بالأرض؟

9. التفكير الناقد افترض أن جسمًا قُذف بالسرعة نفسها وفي الاتجاه نفسه على الأرض والقمر. فإذا عرف أن مقدار تسارع الجاذبية على القمر (g) يساوي $\frac{1}{6}$ قيمته على الأرض. وضح كيف تتغير الكميات الآتية:

a. v_x **b.** زمن تحليق الجسم

c. y_{max} **d.** R

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

6–2 الحركة الدائرية Circular Motion

الأهداف

- **تفسر** لماذا يتسارع الجسم الذي يتحرك بسرعة ثابتة المقدار في مسار دائري.
- **تصف** كيف يعتمد مقدار التسارع المركزي على سرعة الجسم، ونصف قطر مساره الدائري.
- **تحدد** القوة التي تسبب التسارع المركزي.

المفردات

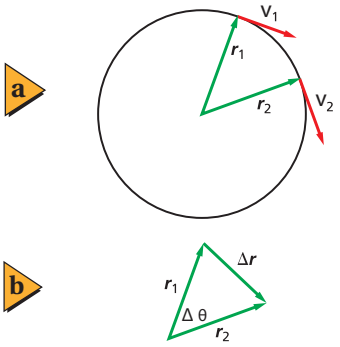
الحركة الدائرية المنتظمة
التسارع المركزي
القوة المركزية

عندما يتحرك جسم بسرعة ثابتة المقدار في مسار دائري، أو يدور حجر مثبت في نهاية خيط، هل يكون لهذه الأجسام تسارع؟ قد يتبادر إلى ذهنك في البداية أن هذه الأجسام لا تتسارع؛ لأن مقدار سرعتها لا يتغير، لكن تذكر أن التسارع هو التغير في السرعة المتجهة (مقدارًا واتجاهًا)، وليس في مقدار السرعة فقط. ولأن اتجاه حركة الحجر يتغير لحظيًّا فإن السرعة المتجهة للحجر تتغير، لذلك فهو يتسارع.

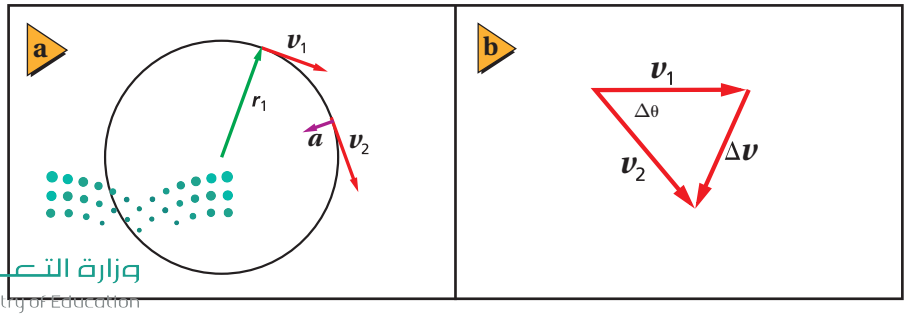
وصف الحركة الدائرية Describing Circular Motion

الحركة الدائرية المنتظمة هي حركة جسم أو جسيم بسرعة ثابتة المقدار حول دائرة نصف قطرها ثابت. ويُحدد موقع الجسم في الحركة الدائرية المنتظمة بالنسبة إلى مركز الدائرة بمتجه الموقع $\boldsymbol{r}$، كما في **الشكل 6–5a**. وعندما يدور الجسم حول الدائرة فإن طول متجه الموقع لا يتغير، لكن اتجاهه يتغير. ولإيجاد سرعة الجسم يجب إيجاد متجه الإزاحة الذي يعرف بالتغيّر في الموقع $\Delta \boldsymbol{r}$. ويبين **الشكل 6–5b** متجهي موقع: $\boldsymbol{r}_1$ عند بداية فترة زمنية، و $\boldsymbol{r}_2$ عند نهايتها. تذكر أن متجه الموقع هو متجه ذيله عند نقطة الأصل. ولعلك تلاحظ من رسم المتجهات أن $\boldsymbol{r}_1$ ، $\boldsymbol{r}_2$ تُطرحان لإعطاء المحصلة $\Delta \boldsymbol{r}$ خلال الفترة الزمنية. وكما تعلم فإن السرعة المتجهة المتوسطة تساوي $\bar{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{d}}{\Delta t}$، لذا فإن السرعة المتجهة المتوسطة في الحركة الدائرية تساوي $\bar{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$. ومتجه السرعة له اتجاه الإزاحة نفسه، لكن بطول مختلف. في **الشكل 6–6a** يمكنك ملاحظة أن متجه السرعة عموديّ على متجه الموقع؛ أيْ مماسّ لمحيط الدائرة، وعندما يدور متجه السرعة حول الدائرة يبقى مقداره ثابتًا، لكن اتجاهه يتغير.

كيف تحدد اتجاه تسارع الجسم المتحرك حركة دائرية منتظمة؟ يبين **الشكل 6–6a** متجهي السرعة $\boldsymbol{v}_1$ و $\boldsymbol{v}_2$ عند بداية الفترة الزمنية ونهايتها. ويمكن إيجاد الفرق بين متجهي السرعة المتجهة $\Delta \boldsymbol{v}$ بطرح السرعتين المتجهتين $\boldsymbol{v}_1$ و $\boldsymbol{v}_2$ كما في **الشكل 6–6b**. يكون التسارع المتوسط $\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$ في اتجاه $\Delta \boldsymbol{v}$ نفسه؛ أيْ في اتجاه مركز الدائرة. ولاحظ أن متجه التسارع في الحركة الدائرية المنتظمة يشير دائمًا إلى مركز الدائرة، لذا يسمَّى هذا التسارعُ **التسارعَ المركزي**.



الشكل 6–5 الإزاحة $\Delta \boldsymbol{r}$ لجسم في حركة دائرية مقسومة على الزمن تساوي السرعة المتجهة المتوسطة خلال هذه الفترة الزمنية.



الشكل 6–6 يكون اتجاه التغير في السرعة في اتجاه مركز الدائرة، لذا فإن التسارع يشير نحو المركز أيضًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

التسارع المركزي Centripetal Acceleration

كيف يمكنك أن تحسب مقدار التسارع المركزي لجسم ما؟ قارن بين المثلث الناتج عن متجهات الموقع في **الشكل 5b–6** والمثلث الناتج عن متجهات السرعة في **الشكل 6b–6**. إن الزاوية بين $\boldsymbol{r}_1$ و $\boldsymbol{r}_2$ هي نفسها الزاوية بين $\boldsymbol{v}_1$ و $\boldsymbol{v}_2$، لذا يكون المثلثان متشابهين. وهكذا فإن $\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta v}{v}$. وبقسمة الطرفين على الزمن Δt ينتج:

$$\frac{\Delta r}{r\Delta t} = \frac{\Delta v}{v\Delta t}$$

لكن $v = \frac{\Delta r}{\Delta t}$، وكذلك $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

بإعادة ترتيب المعادلة السابقة $\frac{1}{r}\left(\frac{\Delta r}{\Delta t}\right) = \frac{1}{v}\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)$

وبالتعويض نجد أن: $\frac{v}{r} = \frac{a}{v}$

حل هذه المعادلة لإيجاد a وارمز لها بالرمز a_C تعبيرًا عن التسارع المركزي.

التسارع المركزي $a_C = \frac{v^2}{r}$

يشير اتجاه التسارع المركزي إلى مركز الدائرة دائمًا، و يساوي مقداره حاصل قسمة مربع السرعة على نصف قطر دائرة الحركة.

كيف يمكنك أن تحسب مقدار سرعة جسم يتحرك في مسار دائري؟ من الطرائق المستخدمة قياس الزمن اللازم لإكمال دورة كاملة T، ويسمى الزمن الدوري، حيث يقطع الجسم خلال هذا الزمن مسافة تساوي محيط الدائرة، $2\pi r$، وبهذا يكون مقدار السرعة يساوي $v = \frac{2\pi r}{T}$. لذا فإن مقدار التسارع المركزي يساوي:

$$a_C = \frac{\left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

ولأن تسارع الجسم الذي يتحرك في مسار دائري يكون دائمًا في اتجاه المركز، فلا بد أن تكون القوة المحصلة في اتجاه مركز الدائرة أيضًا. ويمكن توضيح هذه القوة بأمثلة متعددة. فالقوة المسبِّبة لدوران الأرض حول الشمس مثال على قوة جذب مركزية ناتجة عن قوة التجاذب الكتلي بين الشمس والأرض، والقوة المسبِّبة لدوران المطرقة في مسار دائري ناتجة عن قوة الشد في اتجاه المركز، كما في **الشكل 7–6**. وتسمى هذه القوةُ **القوة المركزية**. كذلك فإن قانون نيوتن الثاني يمكن تطبيقه على الحركة الدائرية المنتظمة على النحو الآتي:

القانون الثاني لنيوتن في الحركة الدائرية $F_{\text{محصلة}} = ma_C$

القوة المحصلة المركزية المؤثرة في جسم يتحرك في مسار دائري تساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في تسارعه المركزي.

تطبيق الفيزياء

المصاعد الفضائية يعتبر العلماء استعمال المصاعد الفضائية نظامًا قليل التكاليف للنقل إلى الفضاء؛ حيث يتم ربط سلك بمحطة عند خط الاستواء الأرضي، ويمتد بطول 35,800 km من سطح الأرض، ويثبت في ثقل موازن، ويبقى مشدودًا بسبب القوة المركزية. وتسير مركبات خاصة بالطاقة المغناطيسية على هذا السلك.

الربط مع رؤية 2030

٤.٣.١ تعزيز ودعم ثقافة الابتكار وريادة الأعمال

الشكل 7–6 عندما تفلت المطرقة من الرامي تسير في خط مستقيم يكون مماسيًّا للمسار الدائري الذي كانت تدور فيه عند نقطة الإفلات، ثم تُكمل مسارًا يُشبه مسار أي جسم يُقذف بسرعة ابتدائية أفقية في الهواء.

عنـد حل مسـائل على الحركة الدائريـة المنتظمة من المفيد اختيـار محورين: أحدهما في اتجاه التسـارع، حيث يكون دائمًا في اتجاه مركز الدائرة. ونُسَـمِّي هذا المحور c؛ أيْ مركزيًّا. أما المحور الثاني فيكون في اتجاه السرعة المماسّـية للدائرة، ونسميه tang؛ أيْ مماسيًّا. وستطبق قانـون نيوتـن الثاني عـلى هذين المحوريـن، كما فعلت في مسـائل الحركـة ذات البُعدين في الفصـل الخامس. تذكر أن القوة المركزية هي تسـمية أخرى لمحصلة القوى المؤثرة في اتجاه المركز؛ فهي تمثل مجموع القوى الحقيقية التي تؤثر في اتجاه المركز.

تجربة عملية

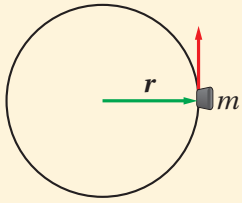
ما الذي يبقي السدادة متحركة في مسار دائري؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين

بالرجوع إلى حالة المطرقة، **الشكل 7–6**، ما الاتجاه الذي تطير فيه المطرقة لحظة انطلاقها من السلسلة؟ عند اختفاء قوة الشد في السلسلة ليس هناك قوة تؤدي إلى تسارع المطرقة في اتجاه المركز، لذا تنطلق المطرقة في اتجاه سرعتها المماسـية للدائرة عند نقطة إفلاتها. تذكر أنه إذا لم تستطع تحديد مصدر القوة فإن هذه القوة غير موجودة.

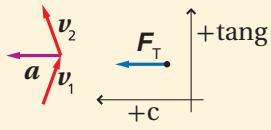
مثـــال 2

الحركة الدائرية المنتظمة أُديرت سدادة مطاطية كتلتها 13 g، مثبتة عند طرف خيط طوله 0.93 m، في مسار دائري أفقي لتكمل دورة كاملة خلال 1.18 s. احسب مقدار قوة الشد التي يؤثر بها الخيط في السدادة.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطط الجسم الحر للسدادة.
- بيّن نصف القطر واتجاه الحركة.
- كوّن مجموعة المحاور: المركزي c، والمماسيّ tang.



المعلوم			المجهول
$m = 13\ \text{g}$	$T = 1.18\ \text{s}$	$r = 0.93\ \text{m}$	$F_T = ?$ قوة الشد

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب التسارع المركزي.

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية 216، 217

بالتعويض $r = 0.93\ \text{m}$ ، $T = 1.18\ \text{s}$

$$a_C = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

$$= \frac{4\pi^2\ (0.93\ \text{m})}{(1.18\ \text{s})^2}$$

$$= 26\ \text{m/s}^2$$

استخدم القانون الثاني لنيوتن لحساب قوة الشد في الخيط.

بالتعويض $m = 0.013\ \text{kg}$ ، $a_C = 26\ \text{m/s}^2$

$$F_T = ma_C$$

$$= (0.013\ \text{kg})\ (26\ \text{m/s}^2)$$

$$= 0.34\ \text{N}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يعطي تحليل الوحدات التسارع بـ m/s^2 والقوة بـ N.
- **هل للإشارات معنى؟** يجب أن تكون الإشارات كلها موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** نعم، قوة الشد تساوي ثلاثة أمثال وزن السدادة، وهذا منطقي لمثل هذه الأجسام الخفيفة.

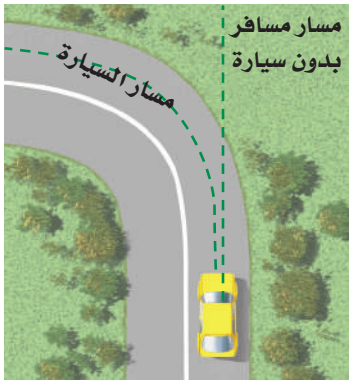
وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

مسائل تدريبية

10. يسير متسابق بسرعة مقدارها 8.8 m/s في منعطف نصف قطره 25 m. ما مقدار التسارع المركزي للمتسابق؟ وما مصدر القوة المؤثرة فيه؟
11. تسير سيارة سباق بسرعة مقدارها 22 m/s في منعطف نصف قطره 56 m. أوجد مقدار التسارع المركزي للسيارة. وما أقل قيمة لمعامل الاحتكاك السكوني بين العجلات والأرض لمنع السيارة من الانزلاق؟
12. تتحرك طائرة بسرعة مقدارها 201 m/s عند دورانها في مسار دائري. ما أقل نصف قطر لهذا المسار بوحدة km يستطيع أن يشكّله قائد الطائرة، على أن يُبقي مقدار التسارع المركزي أقل من $5.0\ m/s^2$؟

القوة الوهمية A Nonexistance force

عندما تنعطف سيارة فجأة في اتجاه اليسار فإن الراكب الجالس بجانب السائق سيندفع في اتجاه الباب الأيمن، فهل هناك قوة خارجية أثرت في الراكب؟ افترض موقفًا آخر مشابهًا، لو أن السيارة التي تستقلّها توقفت فجأة فإنك ستندفع إلى الأمام نحو حزام الأمان، فهل أثرت فيك قوة إلى الأمام؟ لا؛ لأنه بحسب القانون الأول لنيوتن فإنك سوف تستمر في الحركة بالسرعة نفسها ما لم تؤثر فيك قوة خارجية، وحزام الأمان هو الذي يؤثر فيك بقوة تدفعك إلى التوقف.



الشكل 8–6 سيتحرك الراكب إلى الأمام في خط مستقيم إذا لم تؤثر فيه السيارة بقوة إلى الداخل.

يبين **الشكل 8–6** سيارة تنعطف نحو اليسار كما ترى من أعلى. سيندفع الراكب في السيارة إلى الأمام لولا القوة التي تؤثر فيه من الباب في اتجاه مركز الدائرة، أي أنه لا توجد قوة تؤثر في الراكب إلى الخارج. أما ما يتحدث عنه البعض، وقد يشعر به الكثيرون من أن هناك قوة تدفع الراكب إلى الخارج تسمى قوة الطرد المركزي فإن هذه القوة لا وجود لها. إن قوانين نيوتن قادرة على تفسير الحركة في خطوط مستقيمة والحركة الدائرية.

6–2 مراجعة

13. **الحركة الدائرية المنتظمة** ما اتجاه القوة المؤثرة في الملابس في أثناء دوران الغسالة؟ وما الذي يولد هذه القوة؟
14. **مخطط الجسم الحر** إذا كنت تجلس في المقعد الخلفي لسيارة تنعطف إلى اليمين، فارسم نموذج الجسيم النقطي، ومخطط الجسم الحر للإجابة عن الأسئلة الآتية:
    a. ما اتجاه تسارعك؟
    b. ما اتجاه القوة المحصلة المؤثرة فيك؟ وما مصدرها؟
15. **القوة المركزية** إذا حُرِّك حجر كتلته 40.0 g مثبت في نهاية خيط طوله 0.60 m في مسار دائري أفقي بسرعة مقدارها 2.2 m/s، فما مقدار قوة الشد في الخيط؟
16. **التسارع المركزي** ذكر مقال في جريدة أنه عندما تتحرك سيارة في منعطف فإن على السائق أن يُوازِن بين القوة المركزية وقوة الطرد المركزي. اكتب رسالة إلى الجريدة تنقُد فيها هذا المقال.
17. **القوة المركزية** إذا أردتَ تحريك كرة كتلتها 7.3 kg في مسار دائري نصف قطره 0.75 m بسرعة مقدارها 2.5 m/s، فما مقدار القوة التي عليك أن تؤثر بها لعمل ذلك؟
18. **التفكير الناقد** إنك تتحرك حركة دائرية منتظمة بسبب دوران الأرض اليومي. ما المصدر الذي يولد هذه القوة التي تؤدي إلى تسارعك؟ وكيف تؤثر هذه الحركة في وزنك الظاهري؟

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

6–3 السرعة المتجهة النسبية Relative Velocity

الأهداف

- **تحلّل** حالات تكون فيها مجموعة المحاور متحركة.
- **تحل** مسائل تتعلق بالسرعة النسبية.

افترض أنك في قطار يتحرك بسرعة 20 m/s في اتجاه موجب، وأن صديقًا لك يقف ثابتًا بجانب سكة الحديد ويراقب حركة القطار الذي تستقله عند مروره أمامه ويرصد سرعته. ما مقدار السرعة التي يسجلها صديقك للقطار ولحركتك؟ إذا كان القطار يسير بسرعة 20 m/s ، وأنت تجلس داخله فهذا يعني أن سرعتك 20 m/s كما يقيسها صديقك الذي يرصد الحركة من نقطة ثابتة على الأرض. وعندما تقف في القطار ثابتًا فإن سرعتك بالنسبة إلى الأرض هي أيضًا 20 m/s، لكن سرعتك بالنسبة إلى القطار تساوي صفرًا. وإذا كنت تسير بسرعة 1 m/s في اتجاه مقدمة القطار فهذا يعني أن سرعتك تقاس بالنسبة إلى القطار، فما مقدار سرعتك بالنسبة إلى كل من القطار وصديقك الثابت على الأرض لحظة مرورالقطار أمامه؟ يُمكن إعادة صياغة السؤال كالآتي: إذا أُعطيت سرعة القطار بالنسبة إلى الأرض وسرعتك بالنسبة إلى القطار، فكيف تقيس سرعتك بالنسبة إلى راصد ثابت على الأرض؟

يبين **الشكل 6–9a** تمثيلاً اتجاهيًّا لهذه المسألة. وسوف تجد بعد دراسته أن سرعتك بالنسبة إلى راصد ثابت يقف على الأرض هي 21 m/s؛ أيْ مجموع سرعتك بالنسبة إلى القطار وسرعة القطار بالنسبة إلى الأرض. افترض الآن أنك كنت تسير بالسرعة نفسها لكن في اتجاه مؤخرة القطار، فما سرعتك الآن بالنسبة إلى راصد ثابت يقف على الأرض؟ يبين **الشكل 6–9b** أنه نظرًا إلى أن السرعتين متعاكستان فإن سرعتك بالنسبة إلى ذلك الراصد تكون 19 m/s لحظة مرورك أمامه؛ أي الفرق بين سرعة القطار بالنسبة إلى الأرض وسرعتك بالنسبة إلى القطار، وهكذا تجد أنه إذا كانت الحركة في خط مستقيم فإن الجمع والطرح يستعملان لإيجاد السرعة المتجهة النسبية.

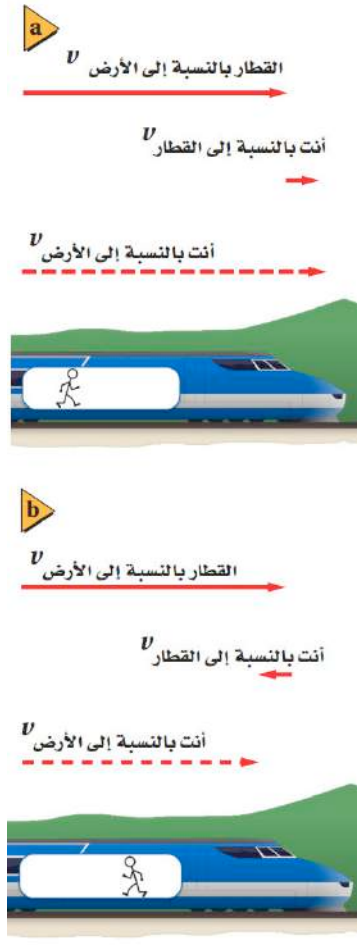
ولو أمعنت النظر في كيفية الحصول على نتائج السرعة، وحاولت وضع صيغة رياضية لوصف كيفية جمع السرعات في هذه المواقف لحساب السرعة النسبية في المثال السابق فإنه يمكن أن نسمي سرعة القطار بالنسبة إلى الأرض $\boldsymbol{v}_{t/E}$، وسرعتك بالنسبة إلى القطار $\boldsymbol{v}_{y/t}$، وسرعتك بالنسبة إلى الأرض $\boldsymbol{v}_{y/E}$؛ حيث ترمز t للقطار، وy لك أنت، وE للأرض. ولحساب سرعتك بالنسبة إلى الأرض تجمع جمعًا اتجاهيًّا سرعتك بالنسبة إلى القطار، وسرعة القطار بالنسبة إلى الأرض على النحو الآتي:

$$\boldsymbol{v}_{y/E} = \boldsymbol{v}_{y/t} + \boldsymbol{v}_{t/E}$$

وتكتب المعادلة الرياضية السابقة عمومًا على النحو الآتي:

السرعة المتجهة النسبية $\boldsymbol{v}_{a/c} = \boldsymbol{v}_{a/b} + \boldsymbol{v}_{b/c}$

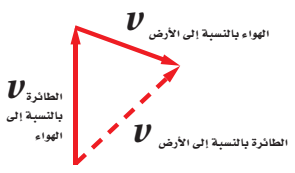
سرعة الجسم a بالنسبة إلى الجسم c هي حاصل الجمع الاتجاهي لسرعة الجسم a بالنسبة إلى الجسم b، ثم سرعة الجسم b بالنسبة إلى الجسم c.



الشكل 6–9 عندما يتحرك نظام المحاور فإن السرعتين تُضافان إذا كانت الحركتان في اتجاه واحد، وتُطرح إحداهما من الأخرى إذا كانت الحركتان متعاكستين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

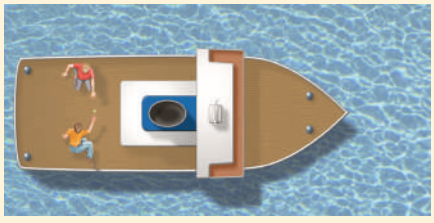
ينطبق هذا المبدأ في جمع السرعات النسبية على الحركة في بُعدين أيضًا، فمثلاً لا يتوقع الملاحون الجويّون الوصول إلى هدفهم فقط بتوجيه طائراتهم في اتجاه البوصلة. لذلك عليهم الأخذ بعين الاعتبار سرعتهم بالنسبة إلى الهواء واتجاه هذه السرعة، وكذلك سرعة الرياح واتجاهها عند الارتفاع الذي يطيرون عنده، ويجب جمع هذين المتجهين، كما في **الشكل 10–6**، للحصول على سرعة الطائرة بالنسبة إلى الأرض. وسوف يُرشد المُتَّجهُ المُحصّل الطيارَ إلى السرعة التي يجب أن تسير بها الطائرة، والاتجاه الذي تسلكه للوصول إلى مقصدهم. والوضع مشابه عند حركة قارب في تيار متحرك من الماء.



الشكل 10–6 يمكن إيجاد السرعة المتجهة للطائرة بالنسبة إلى الأرض بالجمع الاتجاهي.

مثـــال 3

السرعة المتجهة النسبية لكرة يركب أحمد وجمال قاربًا يتحرك في اتجاه الشرق بسرعة 4.0 m /s. دحرج أحمد كرة بسرعة 0.75 m /s في اتجاه الشمال في عرض القارب في اتجاه جمال. ما سرعة الكرة المتجهة بالنسبة إلى الماء؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- أنشئ مجموعة محاور.
- ارسم متجهات لتمثل سرعة القارب بالنسبة إلى الماء، وسرعة الكرة بالنسبة إلى القارب. حيث ترمز m للكرة، وb للقارب، وw للماء.

المعلوم

$v_{b/w} = 4.0\ \text{m/s}$

$v_{m/b} = 0.75\ \text{m/s}$

المجهول

$v_{m/w} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

بما أن السرعتين متعامدتان، استعمل نظرية فيثاغورس.

$$(v_{m/w})^2 = (v_{m/b})^2 + (v_{b/w})^2$$

$$v_{m/w} = \sqrt{(v_{m/b})^2 + (v_{b/w})^2}$$

بالتعويض $v_{m/b} = 0.75\ \text{m/s}$ و $v_{b/w} = 4.0\ \text{m/s}$

$$= \sqrt{(0.75\ \text{m/s})^2 + (4.0\ \text{m/s})^2}$$

$$= 4.1\ \text{m/s}$$

لحساب مقدار الزاوية التي تحركت بها الكرة

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v_{m/b}}{v_{b/w}}\right)$$

بالتعويض $v_{m/b} = 0.75\ \text{m/s}$ و $v_{b/w} = 4.0\ \text{m/s}$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{0.75\ \text{m/s}}{4.0\ \text{m/s}}\right)$$

$$= 11^\circ \text{ شمال الشرق}$$

تتحرك الكرة بسرعة 4.1 m/s في اتجاه يصنع زاوية 11° شمال الشرق.

دليل الرياضيات

معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل 233

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يبين تحليل الوحدات أن السرعة ستكون بوحدة m /s.
- **هل للإشارات معنى؟** ستكون الإشارات جميعها موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** السرعة المحسوبة قريبة من القيم الأخرى للسرعة المعطاة في المثال.

مسائل تدريبية

19. إذا كنت تركب قطارًا يتحرك بسرعة مقدارها 15.0 m/s بالنسبة إلى الأرض، وركضت مسرعًا في اتجاه مقدمة القطار بسرعة 2.0 m/s بالنسبة إلى القطار، فما سرعتك بالنسبة إلى الأرض؟
20. يتحرك قارب في نهر بسرعة 2.5 m/s بالنسبة إلى الماء. بينما يسجل سرعة ذلك القارب راصدٌ يقف على ضفة النهر فيجدها 0.5 m/s بالنسبة إليه. ما سرعة ماء النهر؟ وهل يتحرك ماء النهر في اتجاه حركة القارب أم في اتجاه معاكس؟
21. تطير طائرة في اتجاه الشمال بسرعة 150 km/h بالنسبة إلى الهواء، وتهب عليها رياح في اتجاه الشرق بسرعة 75 km/h بالنسبة إلى الأرض. ما سرعة الطائرة بالنسبة إلى الأرض؟

الربط مع الأحياء

تهاجر طيور الخرشنة من جنوب شرق آسيا، فتصل إلى شواطئ الخليج العربي في فصل الربيع. ويتوقف نجاح طيور الخرشنة في الوصول إلى وجهتها في الوقت المناسب على حسابات دقيقة تتعلق باتجاه حركة الرياح وسرعتها، بالإضافة إلى السرعة المتجهة للطيور نفسها بالنسبة إلى سطح الأرض. وتعد هذه الرحلة الجوية مثالاً عمليًّا على جمع السرعات المتجهة النسبية، يوضح بجلاء عظمة الخالق سبحانه وتعالى، بما أودعه في هذه المخلوقات من تراكيب وما فطرها عليه من سلوك. فلو أنَّ أحد هذه الطيور حلَّق فوق الخليج العربي، بحيث يواجه رياحًا قوية معاكسة لاتجاه حركته، فإن طاقته سوف تنفد قبل وصوله إلى الشاطئ الآخر، مما قد يؤدي إلى هلاكه، كما أنَّ الرياح القوية التي تهب في اتجاه عمودي على اتجاه حركة الطائر ستسبّب انحرافه تدريجيًّا عن مساره، ومن ثم تغير وجهته. وقد زوّد الخالق سبحانه وتعالى هذه الطيور بأدوات ملاحة طبيعية تتيح لها الطيران بسرعات محددة في اتجاهات دقيقة، مما يُمكّنها من بلوغ وجهتها. ويمكنك جمع السرعات المتجهة النسبية بطريقة الرسم التي تعلمتها في الفصل السابق.

تجربة عملية

السرعة النسبية

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين

تذكّر أن مفتاح التحليل الصحيح لمسائل السرعة المتجهة النسبية في بعدين هو الرسم الصحيح لمثلث يمثل السرعات المتجهة الثلاث. وعند رسم هذا المثلث يمكنك تطبيق مبدأ جمع المتجهات، كما تعلمت في الفصل الخامس. فإذا كان هناك مثلث قائم الزاوية فإنه يمكنك تطبيق نظرية فيثاغورس، أما إذا كانت الزاوية غير قائمة فلا بد من استعمال قانون الجيب أو جيب التمام أو كليهما.

مسألة تحفيز

يُدوّر طارق حجرًا كتلته m مربوطًا بحبل في مسار دائري أفقي فوق رأسه، فكان ارتفاع الحجر فوق سطح الأرض h. ويمثل r نصف قطر الدائرة، و F_T مقدار قوة الشد في الحبل. وفجأة انقطع الحبل وسقط الحجر على الأرض، فقطع مسافة أفقية s من لحظة انقطاع الحبل إلى ارتطامه بالأرض. أوجد تعبيرًا رياضيًّا للمسافة بدلالة كل من F_T و r و m و h. هل يتغير التعبير الرياضي إذا تحرك طارق بسرعة 0.50 m/s بالنسبة إلى الأرض؟

3–6 مراجعة

22. **السرعة النسبية** قارب صيد سرعته القصوى 3 m/s بالنسبة إلى ماء نهر يجري بسرعة 2 m/s. ما أقصى سرعة يصل إليها القارب بالنسبة إلى ضفة النهر؟ وما أدنى سرعة يصل إليها؟ اذكر اتجاه القارب بالنسبة إلى الماء في الحالتين السابقتين.

23. **السرعة النسبية لقارب** يسير قارب سريع في اتجاه الشمال الغربي بسرعة 13 m/s بالنسبة إلى ماء نهر يتجه في اتجاه الشمال بسرعة 5.0 m/s بالنسبة إلى ضفته. ما مقدار سرعة القارب بالنسبة إلى ضفة النهر؟ وما اتجاهها؟

24. **السرعة النسبية** تطير طائرة في اتجاه الجنوب بسرعة 175 km/h بالنسبة إلى هواء، وهناك رياح تهب في اتجاه الشرق بسرعة 85 km/h بالنسبة إلى الأرض. ما مقدار سرعة الطائرة واتجاهها بالنسبة إلى الأرض؟

25. **السرعة النسبية لطائرة** تطير طائرة شمالاً بسرعة 235 km/h بالنسبة إلى الهواء، وتهب رياح في اتجاه الشمال الشرقي بسرعة 65 km/h بالنسبة إلى الأرض. احسب مقدار سرعة الطائرة واتجاهها بالنسبة إلى الأرض؟

26. **التفكير الناقد** إذا كنت تقود قاربًا عبْر نهر يتحرك ماؤه بسرعة كبيرة، وتريد أن تصل إلى الرصيف في الجهة المقابلة تمامًا لنقطة انطلاقك، فصف كيف توجّه القارب بدلالة مركّبتي سرعتك بالنسبة إلى الماء؟

مختبر الفيزياء • صمّم تجربتك

إلى الهدف

سوف تحلّل في هذه التجربة عوامل متعددة تؤثر في حركة المقذوف، وتوظف مدى استيعابك لهذه المفاهيم لتحديد مسار المقذوف. وأخيرًا ستصمم قاذفة لتضرب هدفًا عند مسافة معلومة.

سؤال التجربة

ما العوامل التي تؤثر في مسار مقذوف؟

الأهداف

- **تصمّم نماذج** قاذفات، ثم تلخص العوامل التي تؤثر في حركة المقذوف.
- **تستعمل النماذج** لتتوقع مكان هبوط المقذوف.

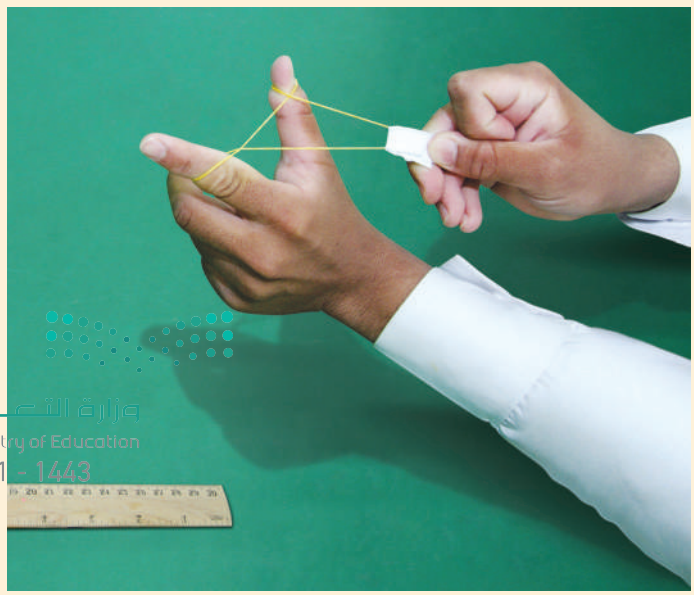
احتياطات السلامة

المواد والأدوات

شريط ورق	مطرقة صغيرة
قطع بلاستيك	أنابيب بلاستيكية
أربطة مطاطية	مشابك ورق
ورق	قطع خشبية
مسامير	قاطع أسلاك
مقص	منشار صغير
مسطرة مترية	منقلة
شريط لاصق	

الخطوات

1. فكّر في العوامل التي قد تؤثر في مسار المقذوفات ودوّنها.
2. ضع تصميمك الخاص بأداة إطلاق المقذوفات، وحدّد أي جسم سيكون هدفًا للمقذوفات؟
3. خذ في الاعتبار تصميم أداة إطلاق المقذوفات، وحدّد العاملين الرئيسين المؤثرين في مسار المقذوفات التي ستطلقها.
4. اختبر الأداة التي صمّمتها، وناقش العوامل المؤثرة فيها مع معلمك، ثم أجْرِ التعديلات الضرورية.
5. اقترح أسلوبًا لتحديد أثر العوامل التي دونتها في مسار المقذوفات.
6. احصل على موافقة المعلم على الطريقة التي ستتبعها قبل جمع البيانات.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

جدول البيانات 1	
زاوية الإطلاق (الدرجات)	المسافة التي يقطعها المقذوف (cm)

جدول البيانات 2	
مقدار استطالة قطعة المطاط (cm)	المسافة التي يقطعها المقذوف (cm)

التحليل

1. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** مثِّل بيانيًّا البيانات التي حصلت عليها لتتوقع كيف يمكنك إصابة الهدف.
2. **حلّل** ما العلاقات بين كل متغير اختبرته وبين المسافة التي يقطعها المقذوف؟

الاستنتاج والتطبيق

1. ما العوامل الرئيسة المؤثرة في مسار المقذوف؟
2. توقع الشروط الضرورية لإصابة الهدف الذي زودك به المعلم.
3. **فسّر** إذا وضعت خطة متكاملة ونفذتها، إلا أنك لم تصب الهدف في المحاولة الأولى، فهل يمكن أن تكون المشكلة في قوانين الفيزياء؟ وضح ذلك.
4. أطلق مقذوفك نحو الهدف، وإذا أخطأت الهدف فأجرِ التعديلات الضرورية، ثم حاول ثانية.

التوسع في البحث

1. كيف يمكن أن تتغير نتائجك لو أجريت التجربة خارج المختبر؟ هل هناك عوامل إضافية تؤثر في حركة مقذوفاتك؟
2. كيف تتغير نتائج تجربتك إذا وضع الهدف في مكان أعلى من القاذف؟
3. كيف تختلف تجربتك إذا كان القاذف أعلى من الهدف؟

الفيزياء في الحياة

في لعبة كرة القدم يُقال إن الرياح تلعب مع الفريق أو تلعب ضده.

- لماذا يتم تبديل مرمى الفريقين في الشوط الثاني؟
- ما الزاوية التي يقذف بها حارس المرمى الكرة لتصل إلى أبعد مدى ممكن؟

محطات الفضاء الدوارة Spinning Space Stations

هناك الكثير مما يجري على متن محطة الفضاء الدولية ISS، فالعلماء من دول مختلفة يُجرون تجارب ويجمعون ملاحظات في هذه المحطة. لقد شاهدوا تشكل قطرات الماء بوصفها كرات طافية، واستنبتوا الفاصولياء في الفضاء لاختبار الزراعة في حالة انعدام الوزن.

ومن أهداف ISS اختبار المؤثرات في جسم الإنسان عند العيش في الفضاء فترات زمنية طولية. وملاحظة ظهور أي مؤثرات سلبية في الصحة، ودراسة إمكانية منعها، ممّا يمكّن الإنسان من العيش في الفضاء زمنًا أطول.

وقد شوهدت آثار سلبية لحالة انعدام الوزن؛ إذ تعمل العضلات على الأرض ضد قوة الجاذبية الأرضية، لكن في غياب هذه القوة فإن عدم استعمال العضلات يُضعفها، وتَضعف العظام للسبب نفسه. كما يقل حجم الدم؛ حيث تؤدي جاذبية الأرض إلى تجمع الدم في القدمين، بينما في حالة انعدام الوزن قد يتجمع الدم في رأس رائد الفضاء، فيستشعر الدماغ الدم الإضافي فيرسل إشارات للتقليل من إنتاجه. وتؤدي تأثيرات انعدام الوزن إلى عرقلة الحياة الطويلة الأمد في الفضاء. تخيل كيف تتغير الحياة اليومية عندئذ؟ يجب أن يكون كل شيء مربوطًا أو مثبتًا. فمثلاً يجب أن تُربط مع السرير المثبت في المركبة عند النوم. وستكون حياتك في محطة الفضاء صعبة إلا إذا عُدلت محطة الفضاء لتحاكي الجاذبية. فكيف يمكن تحقيق ذلك؟

دوران محطة الفضاء هل سبق أن ركبت لُعبة في مدينة الألعاب تعمل بالقوة المركزية؟ يقف كل شخص مستندًا إلى حائط أسطواني كبير، ثم تأخذ الأسطوانة في الدوران أسرع فأسرع، بحيث يشعر كل شخص أنه مضغوط إلى الجدار. ونتيجة للتسارع المركزي يلتصق كل شخص بالجدار ويبقى على هذه الحال حتى لو فتحت أرضية الأسطوانة الدوّارة.

يمكن تصميم المركبة الفضائية على أن تستغل تأثيرات الحركة الدورانية بدلاً من قوة الجاذبية.

عمل فني لمحطة فضاء دوّارة

تخيل محطة فضاء على هيئة حلقة كبيرة! إن الأشياء والأجسام كلها داخل المحطة سوف تطفو في حالة انعدام الوزن. وإذا دارت الحلقة في حركة مغزلية فإن الأجسام داخلها ستلتصق بها بسبب الحركة الدورانية. وإذا سُرّعت المحطة بمعدل صحيح وكان لها قطر مناسب فإن الحركة الدورانية تجعل مَن في الداخل يشعرون بقوة مساوية لقوة الجاذبية. إنّ الاتجاه السفلي للمحطة الفضائية يبدو ـ لمراقب يشاهده من خارج المحطة ـ كشعاع خارج منها بعيدًا عن مركز الحلقة.

وتتناسب القوة المركزية طرديًّا مع البعد عن مركز الجسم الدوّار عند ثبات الزمن الدوري. لذا يمكن بناء محطة فضاء دوّارة مكوّنة من حلقات متحدة في المركز، ولكل حلقة جاذبية مختلفة. فالحلقة الداخلية يكون لها أصغر جاذبية، في حين تتأثر الحلقة الخارجية بأكبر قوة.

التوسع

1. **ابحث** عن العوامل التي ينبغي أن يراعيها المصممون لعمل محطة دوّارة تُحاكي جاذبية الأرض.
2. **طبّق** إذا كنت رائد فضاء في محطة دوّارة، وشعرت بقوة تدفعك بعيدًا عن جدار المحطة، ففسر ما يجري بدلالة قوانين نيوتن والقوة المركزية.
3. **تفكير ناقد** ما المزايا التي تمنحها المحطة الدوّارة لروادها؟ وما سلبياتها؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 6

دليل مراجعة الفصل

6–1 حركة المقذوف Projectile Motion

المفردات

- المقذوف
- مسار المقذوف

المفاهيم الرئيسة

- الحركتان الرأسية والأفقية للمقذوف مستقلتان.
- المركّبة الرأسية لحركة المقذوف لها تسارع ثابت.
- إذا أهملنا مقاومة الهواء فلن يكون للمركّبة الأفقية لحركة المقذوف تسارع، وتكون سرعتها المتجهة ثابتة.
- تحل مسائل حركة المقذوفات أولاً باستعمال الحركة الرأسية لربط الارتفاع، وزمن التحليق، والسرعة الابتدائية الرأسية، ثم نجد المسافة المقطوعة أفقيًّا.
- يعتمد المدى الأفقي على تسارع الجاذبية وعلى مركّبتي السرعة المتجهة الابتدائية.
- يُسمى المسار الذي يتبعه المقذوف في الهواء القطع المكافئ.

6–2 الحركة الدائرية Circular Motion

المفردات

- الحركة الدائرية المنتظمة
- التسارع المركزي
- القوة المركزية

المفاهيم الرئيسة

- الجسم الذي يسير بسرعة ثابتة المقدار في مسار دائري يتسارع في اتجاه مركز الدائرة، لذا يكون له تسارع مركزي.
- مقدار التسارع المركزي يساوي حاصل قسمة مربع السرعة على نصف قطر المسار الدائري.

$$a_C = \frac{v^2}{r}$$

- يمكن التعبير عن التسارع المركزي بدلالة الزمن الدوري T.

$$a_C = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

- لا بد أن يكون هناك قوة محصلة في اتجاه المركز للحصول على تسارع مركزي.

$$F_{\text{محصلة}} = ma_C$$

- متجه السرعة لجسم له تسارع مركزي يكون دائمًا في اتجاه المماس للمسار الدائري.

6–3 السرعة المتجهة النسبية Relative Velocity

المفاهيم الرئيسة

- يمكن استعمال الجمع الاتجاهي لحل مسائل السرعة المتجهة النسبية.

$$\boldsymbol{v}_{a/c} = \boldsymbol{v}_{a/b} + \boldsymbol{v}_{b/c}$$

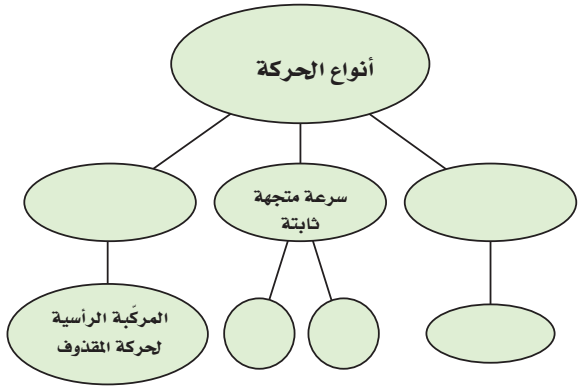
- مفتاح الحل لمسائل السرعة المتجهة النسبية في بعدين هو رسم المثلث المناسب الذي يمثل السرعات المتجهة الثلاث.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 6
التقويم

خريطة المفاهيم

27. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: سرعة ثابتة، المركّبة الأفقية لحركة المقذوف، تسارع ثابت، حركة بالسرعة النسبية، حركة دائرية منتظمة.



إتقان المفاهيم

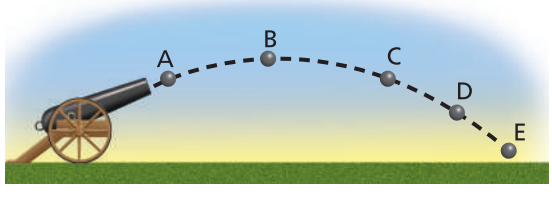
28. ادرس **الشكل 11–6** الذي يمثل مسار قذيفة مدفع، ثم أجب عن الأسئلة الآتية: (1–6)

a. أين يكون مقدار المركّبة الرأسية للسرعة المتجهة أكبر ما يمكن؟

b. أين يكون مقدار المركّبة الأفقية للسرعة المتجهة أكبر ما يمكن؟

c. أين تكون السرعة المتجهة الرأسية أقل ما يمكن؟

d. أين يكون مقدار التسارع أقل ما يمكن؟



الشكل 11–6

29. ألقى قائد طائرة تتحرك بسرعة متجهة ثابتة وعلى ارتفاع ثابت رزمة ثقيلة. إذا أُهملت مقاومة الهواء فأين تكون الطائرة بالنسبة للرزمة عندما ترتطم الرزمة بالأرض؟ ارسم مسار الرزمة كما يراه مراقب على الأرض. (1–6)

30. هل يمكنك الدوران في منعطف بالتسارعين الآتيين؟ فسّر إجابتك. (2–6)

a. تسارع يساوي صفرًا.

b. تسارع ثابت.

31. ما العلاقة بين القوة المحصلة وسرعة الجسم المتحرك للحصول على حركة دائرية منتظمة؟ (2–6)

32. لماذا تبدو سرعة السيارة المتحركة على الخط السريع وفي اتجاه معاكس للسيارة التي تركبها أكبر من السرعة المحددة؟ (3–6)

تطبيق المفاهيم

33. **كرة البيسبول** قذفت كرة رأسيًّا إلى أعلى بسرعة متجهة 20 m/s. ما سرعة الكرة المتجهة عند عودتها إلى نقطة الإطلاق نفسها؟ أهمل مقاومة الهواء.

34. **كرة القدم** يرمي لاعبٌ كرةً بسرعة 24 m/s في اتجاه يصنع زاوية 45° مع الأفقي. فإذا استغرقت الكرة 3.0 s للوصول إلى أقصى ارتفاع لها، ثم التُقطت عند الارتفاع نفسه الذي رُميت منه، فما زمن تحليقها في الهواء؟ مع إهمال مقاومة الهواء.

35. إذا كنت تعتقد أن ما تعلمته في هذا الفصل يؤدي إلى تحسين أدائك في الوثب الطويل، فهل يؤثر الارتفاع الذي تصل إليه في وثبتك؟ وما الذي يؤثر في طولها؟

36. تخيل أنك تجلس في سيارة وتقذف كرة رأسيًّا إلى أعلى.

a. إذا كانت السيارة تتحرك بسرعة متجهة ثابتة فهل تسقط الكرة أمامك أم خلفك، أم في يدك؟

b. إذا كانت السيارة تتحرك في منعطف بسرعة ثابتة المقدار فأين تسقط الكرة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

37. الطريق السريع إذا أردت أن تتجاوز سيارةً بسيارتك على الطريق السريع، وكانت السيارتان تسيران في الاتجاه نفسه فسوف تستغرق زمنًا أطول مما لو كانت السيارتان تسيران في اتجاهين متعاكسين. فسّر ذلك.

إتقان حل المسائل

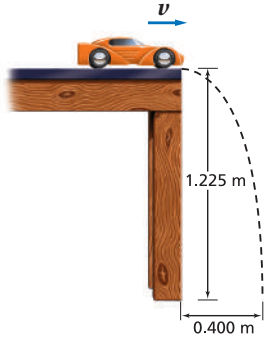
6–1 حركة المقذوف

38. إذا ألقيت مفاتيح سيارتك أفقيًّا من فوق سطح بناية ارتفاعها 64 m، وكانت سرعة المفاتيح 8.0 m/s، فعلى أي بُعد من قاعدة البناية ستبحث عنها؟

39. يبين **الشكل 6–12** نموذجًا لسيارة لعبة تسقط من حافة طاولة ارتفاعها 1.22 m لتصطدم بالأرض على بعد 0.40 m من قاعدة الطاولة.

a. ما الزمن الذي تستغرقه السيارة في الهواء؟

b. ما مقدار سرعة السيارة لحظة مغادرتها سطح الطاولة؟



الشكل 6–12

40. رمى لاعب سهمًا في اتجاه أفقي بسرعة 12.4 m/s، فأصاب السهم اللوحة عند نقطة أخفض 0.32 m من مستوى نقطة الإطلاق. احسب بُعد اللاعب عن اللوحة.

41. الرماية رُمي سهم سرعته 49 m/s في اتجاه يصنع زاوية 30.0° مع الأفقي فأصاب الهدف.

a. ما أقصى ارتفاع يصل إليه السهم؟

b. إذا كان ارتفاع لوحة الهدف هو الارتفاع نفسه لنقطة إطلاق السهم، فما بُعد اللوحة عن نقطة إطلاق السهم؟

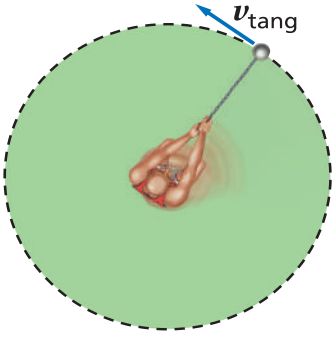
6–2 الحركة الدائرية

42. سباق السيارات تكمل سيارة كتلتها 615 kg دورة سباق في مضمار دائري نصف قطره 50.0 m في 14.3 s. إذا تحركت السيارة بسرعة ثابتة المقدار

a. فما مقدار تسارع السيارة؟

b. وما مقدار القوة التي تؤثر بها الطريق في عجلات السيارة لتنتج هذا التسارع؟

43. رمي كرة يُدوّر لاعبٌ كرة كتلتها 7.00 kg مربوطة في سلسلة طولها 1.8 m، وتتحرك في دائرة أفقية كما في **الشكل 6–13**. إذا أتمت الكرة دورة واحدة في 1.0 s، فاحسب مقدار تسارعها المركزي؟ واحسب كذلك مقدار قوة الشد في السلسلة؟



الشكل 6–13

44. يوفر الاحتكاك للسيارة القوة اللازمة للمحافظة على حركتها في مسار دائري أفقي مستوٍ خلال السباق. ما أقصى سرعة يمكن للسيارة أن تتحرك بها، علمًا بأن نصف قطر المسار 80.0 m، ومعامل الاحتكاك السكوني بين العجلات والشارع 0.40؟

تقويم الفصل 6

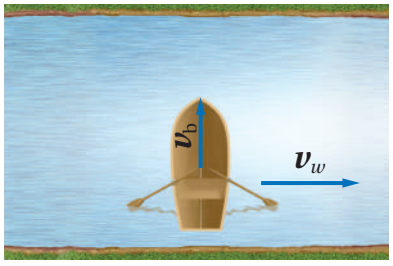
6–3 السرعة المتجهة النسبية

45. السفر بالطائرة إذا كنت تقود طائرة صغيرة وتريد الوصول إلى مطار يبعد 450 km جنوبًا في 3.0 h، وكانت الرياح تهب من الغرب بسرعة 50.0 km/h، فما مقدار واتجاه سرعة الطائرة التي يجب أن تتحرك بها لتصل في الوقت المناسب؟

46. عبور نهر إذا كنت تجدف بقارب كما في **الشكل 6–14** في اتجاه عمودي على ضفة نهر يتدفق الماء فيه بسرعة (v_w) تساوي 3.0 m/s، وكانت سرعة قاربك بالنسبة إلى الماء (v_b) تساوي 4.0 m/s:

a. فما سرعة قاربك بالنسبة إلى ضفة النهر؟

b. احسب مُركّبتي السرعة المتجهة لقاربك: الموازية لضفة النهر، والعمودية عليها.



الشكل 6–14

47. التجديف إذا كنت تجدف في نهر يتدفق في اتجاه الشرق، ولأنَّ معرفتك بالفيزياء –وخصوصًا بالسرعة النسبية– جيدة فإنك توجّه قاربك في اتجاه يصنع زاوية 53° غرب الشمال، وبسرعة 6.0 m/s في اتجاه الشمال بالنسبة إلى ضفة النهر.

a. احسب سرعة تيار الماء.

b. ما سرعة قاربك بالنسبة إلى ماء النهر؟

مراجعة عامة

48. إطلاق قذيفة تتحرك طائرة بسرعة 375 m/s بالنسبة إلى الأرض. فإذا أطلقت قذيفة إلى الأمام بسرعة 782 m/s بالنسبة إلى الطائرة، فما سرعة القذيفة بالنسبة إلى الأرض؟

49. كرة كتلتها 1.13 kg مربوطة في نهاية خيط طوله 0.50 m، وتتحرك حركة دائرية منتظمة في مستوى رأسي بسرعة ثابتة مقدارها 2.4 m/s. احسب مقدار قوة الشد في الخيط عند أخفض نقطة في المسار الدائري.

التفكير الناقد

50. تطبيق المفاهيم انظر الأفعوانية في **الشكل 6–15**، هل تتحرك السيارات في هذه الأفعوانية حركة دائرية منتظمة؟ فسّر إجابتك.

الشكل 6–15

51. التحليل والاستنتاج كرة مربوطة في نهاية خيط خفيف، وتتحرك في مسار دائري في المستوى الرأسي، حلّل حركة هذا النظام وصفه، مع أخذ قوة الجاذبية الأرضية وقوة الشد في الاعتبار. هل يتحرك هذا النظام حركة دائرية منتظمة؟ فسّر إجابتك.

مراجعة تراكمية

52. اضرب أو اقسم كما هو مبين أدناه، مستعملاً الأرقام المعنوية بصورة صحيحة.

a. $(5\times10^{8}\ \text{m})(4.2\times10^{7}\ \text{m})$

b. $(1.67\times10^{-2}\ \text{km})(8.5\times10^{-6}\ \text{km})$

c. $(2.6\times10^{4}\ \text{kg})/(9.4\times10^{3}\ \text{m}^3)$

d. $(6.3\times10^{-1}\ \text{m})/(3.8\times10^{2}\ \text{s})$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. يرمي طالب طوله 1.60 m كرة في اتجاه يصنع زاوية 41.0° مع الأفقي، وبسرعة ابتدائية 9.40 m/s. على أي بُعد من الطالب تسقط الكرة؟

Ⓐ 4.55 m Ⓒ 8.90 m

Ⓑ 5.90 m Ⓓ 10.5 m

2. تقف نحلة على حافة عجلة دوّارة، وعلى بُعد 2.8 m من المركز. إذا كان مقدار السرعة المماسية للنحلة 0.89 m/s، فما مقدار تسارعها المركزي؟

Ⓐ 0.11 m/s² Ⓒ 0.32 m/s²

Ⓑ 0.28 m/s² Ⓓ 2.2 m/s²

3. جسم كتلته 0.82 kg مربوط في نهاية خيط مهمل الكتلة طوله 2.0 m، ويتحرك في مسار دائري أفقي. إذا كان مقدار القوة المركزية المؤثرة فيه تساوي 4.0 N، فما مقدار السرعة المماسية لهذه الكتلة؟

Ⓐ 2.8 m/s Ⓒ 4.9 m/s

Ⓑ 3.1 m/s Ⓓ 9.8 m/s

4. تدخل سيارة كتلتها 1000 kg مسارًا دائريًّا نصف قطره 80.0 m، بسرعة مقدارها 20.0 m/s. ما مقدار القوة المركزية التي سبّبها الاحتكاك بحيث لا تنزلق السيارة؟

Ⓐ 5.0 N Ⓒ 5.0×10^3 N

Ⓑ 2.5×10^2 N Ⓓ 1.0×10^3 N

5. يركض طالب على ضفة نهر بسرعة مقدارها 10 km/h، ويرى قاربًا يتقدم نحوه بسرعة مقدارها 20 km/h. ما مقدار سرعة اقتراب الطالب من القارب؟

Ⓐ 3 m/s Ⓒ 40 m/s

Ⓑ 8 m/s Ⓓ 100 m/s

6. ما أقصى ارتفاع تصل إليه تفاحة كتلتها 125 g تُقذف في اتجاه يميل على الأفقي بزاوية مقدارها 78° وبسرعة ابتدائية مقدارها 18 m/s؟

Ⓐ 0.70 m Ⓒ 32 m

Ⓑ 16 m Ⓓ 33 m

7. أُسقطت برتقالة من ارتفاع معيَّن في اللحظة نفسها التي أُطلقت فيها رصاصة أفقيًّا من بندقية من الارتفاع نفسه. أي العبارات الآتية صحيحة؟

Ⓐ تسارع الجاذبية الأرضية أكبر على البرتقالة؛ لأن البرتقالة أثقل.

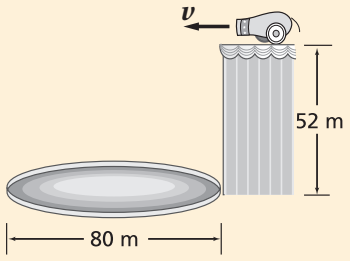
Ⓑ تؤثر قوة الجاذبية الأرضية في الرصاصة بصورة أقل من البرتقالة؛ لأن الرصاصة أسرع كثيرًا.

Ⓒ ستكون سرعتاهما متساويتين.

Ⓓ سيصطدم الجسمان بالأرض في اللحظة نفسها.

الأسئلة الممتدة

8. تُطلق قذيفة مدفع (كرة مملوءة بريش ملون) أفقيًّا بسرعة مقدارها 25 m/s من منصة ارتفاعها 52 m، فوق حلقة قطرها 80 m في قاعة سيرك. هل تسقط الكرة ضمن حلقة السيرك أم تتجاوزها؟



9. يحرك لاعب سلسلة مهملة الكتلة طولها 86 cm، في نهايتها كرة كتلتها 5.6 kg، في مسار دائري أفقي فوق رأسه. إذا أكملت الكرة دورة كاملة في 1.8 s فاحسب قوة الشد في السلسلة.

✓ إرشاد

تدريب تحت ظروف مشابهة للاختبار

أجب عن جميع الأسئلة خلال الزمن الذي يحدِّده لك المعلم دون الرجوع إلى الكتاب. هل أتممت الاختبار؟ هل تعتقد أنه كان بإمكانك استثمار الوقت بصورة أفضل؟ وما المواضيع التي تحتاج إلى مراجعتها؟

الفصل 7

الجاذبية
Gravitation

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف طبيعة قوة الجاذبية.
- الربط بين قوانين كبلر في حركة الكواكب وقوانين نيوتن في الحركة.
- وصف مدارات الكواكب والأقمار الاصطناعية باستعمال قانون الجذب الكوني (العام).

الأهمية

تساعدك قوانين كبلر وقانون الجذب الكوني على فهم حركة الكواكب والأقمار الاصطناعية.

المُذنّبات اكتُشف مذنب هال- بوب على يد العالمين ألن هال وتوماس بوب عام 1995م. ودخل هذا المذنب نظامنا الشمسي عام 1997م، وكان مرئيًّا في كاليفورنيا، وظهرت مناظر لذيله الغباري الأبيض وذيله الأيوني الأزرق.

فكِّر ◄

تدور المذنبات حول الشمس كما تفعل الكواكب والنجوم. كيف تستطيع وصف مدار مذنب مثل مذنب هال- بوب؟

تجربة استهلالية

هل يمكنك عمل نموذج لحركة عطارد؟

سؤال التجربة هل تتحرك الكواكب في نظامنا الشمسي في مدارات دائرية أم في مدارات لها أشكال أخرى؟

الخطوات

1. استعمل جدول البيانات لرسم مدار عطارد باستعمال مقياس الرسم $10\ cm = 1\ AU$. ولاحظ أن الوحدة الفلكية الواحدة AU تساوي بُعْدَ الأرض عن الشمس، $1\ AU = 1.5\times10^{8}\ km$.
2. احسب المسافة بوحدة cm لكل مسافة مقيسة بوحدة AU.
3. عيّن نقطة في مركز ورقتك، وارسم المحاور الرئيسة x و y عند هذه النقطة.
4. ضع المنقلة على الخط الأفقي على أن يكون مركزها منطبقًا على مركز الورقة، وقس الدرجات، ثم ضع علامة.
5. ضع المسطرة بحيث تمر بالمركز وعلامة الزاوية، وعلّم المسافة للزاوية المقصودة بالسنتمترات. قد تحتاج إلى وضع المنقلة على الخط الرأسي لقياس بعض الزوايا.
6. عندما تنتهي من وضع علامات لنقاط البيانات كلها ارسم خطًّا يجمعها.

التحليل

صف شكل مدار عطارد، وارسم خطًّا يمر بالشمس يمثل أطول محور للمدار، وسمّه المحور الرئيس.

التفكير الناقد كيف يمكن مقارنة مدار عطارد بمدار المذنب هال – بوب الظاهر في الصفحة السابقة؟

مسار عطارد	
θ (°)	d (AU)
4	0.35
61	0.31
122	0.32
172	0.38
209	0.43
239	0.46
266	0.47
295	0.44
330	0.40
350	0.37

7–1 حركة الكواكب والجاذبية Planetary Motion and Gravitation

كان يُعتقد قديمًا أن الشمس والقمر والكواكب والنجوم تدور كلها حول الأرض، إلا أن العالم البولندي كوبرنيكس لاحظ أن المشاهدات المتوافرة لحركة الكواكب والنجوم لا تتفق كليًّا مع هذا النموذج الذي مركزه الأرض. وقد نُشرت نتائج أعمال كوبرنيكس عام 1543م، حيث بيّن أن حركة الكواكب يمكن فهمها بصورة أفضل إذا افترضنا أن الأرض وغيرها من الكواكب تدور حول الشمس.

ثم جاء تايكو براهي، الذي ولد بعد سنوات قليلة من موت كوبرنيكس، حيث لاحظ –وهو في الرابعة عشرة من عمره في الدنمارك – كسوفًا للشمس عام 1560م، فقرّر أن يُصبح فلكيًّا، درس الفلك خلال سفره عبر أوربا مدة خمس سنوات. ولم يستعمل التلسكوب، بل استعمل أجهزة صممها بنفسه. وتوصل خطأً – كما سيتبين لاحقًا– إلى أن الشمس والقمر يدوران حول الأرض، في حين تدور الكواكب الأخرى حول الشمس.

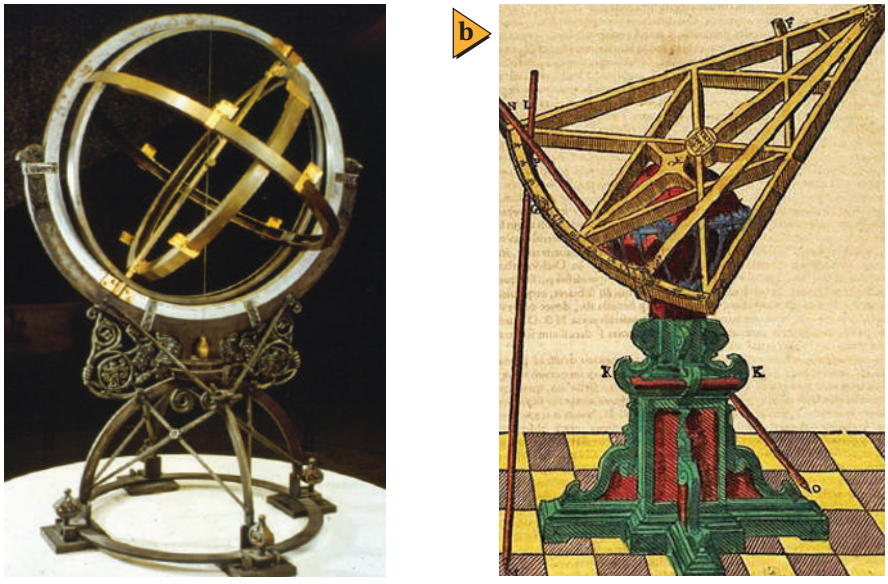
رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

الأهداف

- **تربط** بين قوانين كبلر وقانون الجذب الكوني.
- **تحسب** الزمن الدوري ومقدار السرعة المدارية.
- **تصف** أهمية تجربة كافندش.

المفردات

القانون الأول لكبلر
القانون الثاني لكبلر
القانون الثالث لكبلر
قوة الجاذبية
قانون الجذب الكوني (العام)

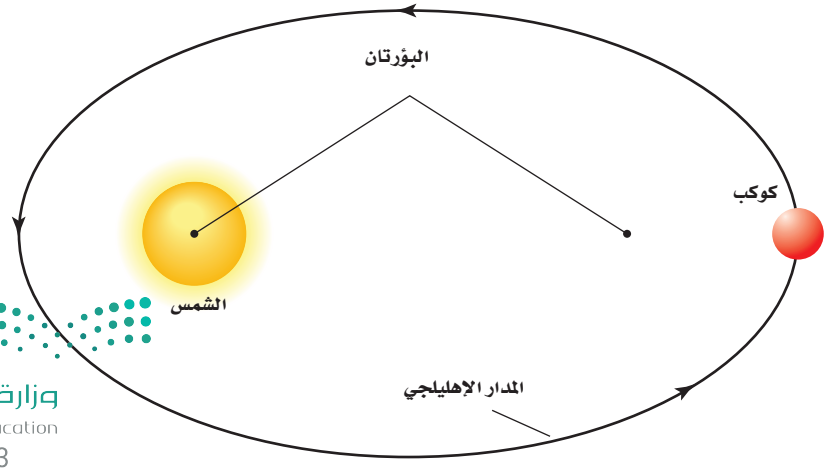


■ **الشكل 1–7** من بين الأجهزة الضخمة التي بناها براهي واستعملها على جزيرة Hven جهاز الأسطرلاب (a)، وآلة السُّدس (b)، وهي في الأصل من ابتكار علماء المسلمين.

قوانين كبلر Kepler's Laws

أصبح يوهان كبلر الألماني مساعدًا لبراهي عندما انتقل إلى براغ. ودرّب براهي مساعديه على كيفية استعمال أجهزة كالمبيَّنة في **الشكل 1–7**. وعندما تُوفي براهي ورث كبلر نتائج مشاهداته، ودرس البيانات. اعتقد كبلر أن الشمس تولّد قوة على الكواكب المحيطة، واعتبرها مركز المجموعة الشمسية. وبعد عدة سنوات من الدراسة التحليلية لبيانات حركة المريخ اكتشف كبلر القوانين التي تصف حركة كل كوكب.

ينص **القانون الأول لكبلر** على أن مدارات الكواكب إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين؛ فالشكل الإهليلجي له بؤرتان كما في **الشكل 2–7**. و تدور المذنبات في مدارات إهليلجية أيضًا مثل الكواكب والنجوم، وتقسم إلى مجموعتين اعتمادًا على الزمن الدوري لها، وهو الزمن اللازم للمذنب ليكمل دورة واحدة. المجموعة الأولى لها زمن دوري أكبر من 200 سنة. أما الزمن الدوري للمجموعة الثانية فأقل من 200 سنة. إن الزمن الدوري للمذنب هال – بوب هو 2400 سنة، وهو مثال على المجموعة الأولى، في حين أن الزمن الدوري لمذنب هالي هو 76 سنة، ويُعدّ مثالاً على المجموعة الثانية.



■ **الشكل 2–7** تدور الكواكب حول الشمس في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.

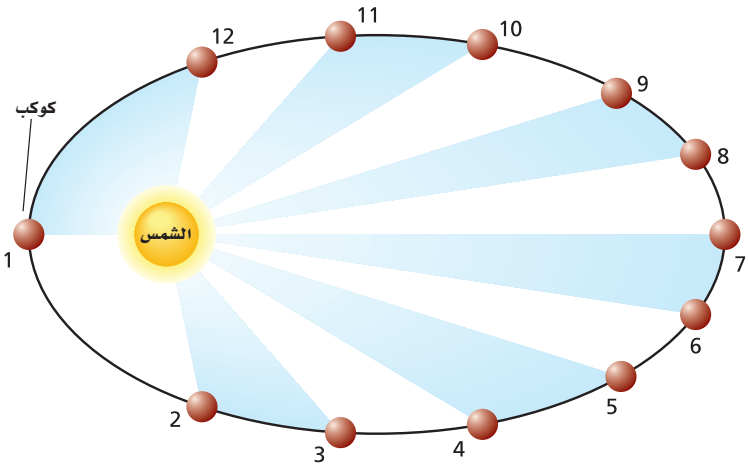
King Faisal PRIZE

مُنِح البروفيسور راشد عليفتش سنييف جائزة الملك فيصل لعام ١٤٣٠هـ-٢٠٠٩م تقديرًا لإنجازه عملاً رائدًا ومساهمة أساسية في مجال فيزياء الفلك، حيث أسست بحوثه النظرية حول خلفية الإشعاع الكوني قاعدة للمشاهدات الفلكية واستكشاف بُنْية الكون والمجرّات. ويُعدُّ عمله المتعلّق بالثقوب السوداء والنجوم الثنائية حاسمًا في تطوير مجال الأشعة السينية الكونية.

المصدر: موقع جائزة الملك فيصل / فرع العلوم
http://kingfaisalprize.org/ar/science/

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

وجد كبلر أن الكواكب تتحرك بسرعة أكبر عندما تكون قريبة من الشمس، بينما تتحرك أبطأ عندما تكون بعيدة عنها. وهكذا ينص **القانون الثاني لكبلر** على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية، كما في **الشكل 3–7**. وقد توصل كبلر كذلك إلى علاقة رياضية تربط بين الزمن الدوري للكوكب ومتوسط بُعده عن الشمس؛ حيث ينص **القانون الثالث لكبلر** على أن مربع النسبة بين زمنين دوريين لكوكبين حول الشمس يساوي مكعب النسبة بين متوسطي بُعديهما عن الشمس. وهكذا إذا كان الزمنان الدوريان لكوكبين هما T_A وT_B ومتوسط بعديهما عن الشمس r_A وr_B فيصبح القانون الثالث لكبلر على النحو الآتي:



الشكل 3–7 يتحرك الكوكب بأقصى سرعة عندما يكون قريبًا من الشمس، ويتحرك أبطأ عندما يكون بعيدًا عنها. ويمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية.

القانون الثالث لكبلر

$$\left(\frac{r_A}{r_B}\right)^3 = \left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2$$

لاحظ أن القانونين الأول والثاني يطبقان على كل كوكب على حدة، أما القانون الثالث فيربط بين حركة أكثر من كوكب حول الجسم نفسه. لذا يستعمل لمقارنة أبعاد الكواكب عن الشمس بأزمانها الدورية، كما في **الجدول 1–7**. ويستعمل لمقارنة الأبعاد والأزمان الدورية للقمر وللأقمار الاصطناعية حول الأرض.

ومما تجدر الإشارة إليه أن مدارات الكواكب حول النجوم تتفاوت في مدى إهليلجية أشكالها؛ فبعضها شبه دائري (مدار كوكب الزهرة مثلاً)، كما أن مدارات الأقمار حول الكواكب شبه دائرية. وسنتعامل هنا مع مدارات الكواكب والأقمار على أنها دائرية؛ لتسهيل إجراء العمليات الرياضية.

الجدول 1–7

بيانات الأجرام

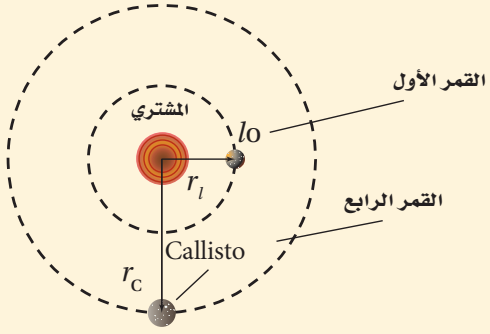
الجرم	متوسط نصف القطر (m)	الكتلة (kg)	متوسط البعد عن الشمس (m)
الشمس	6.96×10^{8}	1.99×10^{30}	—
عطارد	2.44×10^{6}	3.30×10^{23}	5.79×10^{10}
الزهرة	6.05×10^{6}	4.87×10^{24}	1.08×10^{11}
الأرض	6.38×10^{6}	5.98×10^{24}	1.50×10^{11}
المريخ	3.40×10^{6}	6.42×10^{23}	2.28×10^{11}
المشتري	7.15×10^{7}	1.90×10^{27}	7.78×10^{11}
زحل	6.03×10^{7}	5.69×10^{26}	1.43×10^{12}
أورانوس	2.56×10^{7}	8.68×10^{25}	2.87×10^{12}
نبتون	2.48×10^{7}	1.02×10^{26}	4.50×10^{12}

مثـــال 1

بُعد القمر الرابع عن المشتري قاس جاليليو أبعاد مدارات أقمار المشتري مستعملًا قطر المشتري وحدةَ قياس. ووجد أن الزمن الدوري لأقرب قمر هو 1.8 يوم، وكان على بُعد 4.2 وحدات من مركز المشتري. أما القمر الرابع فزمنه الدوري 16.7 يومًا. احسب بُعد القمر الرابع عن المشتري باستعمال الوحدات التي استعملها جاليليو.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مداري القمرين الأول والرابع للمشتري.
- عيّن نصفيْ قطرَي المدارين.



المعلوم

$T_C = 16.7 \text{ days}$ $T_l = 1.8 \text{ days}$

$r_l = 4.2 \text{ units}$

المجهول

$r_C = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل القانون الثالث لكبلر لإيجاد r_C

دليل الرياضيات

فصل المتغير 222

$$\left(\frac{r_C}{r_l}\right)^3 = \left(\frac{T_C}{T_l}\right)^2$$

$$r_C^3 = r_l^3\left(\frac{T_C}{T_l}\right)^2$$

بالتعويض: يوم $T_l = 1.8$ و يومًا $T_C = 16.7$، وحدة $r_l = 4.2$

$$r_C = \sqrt[3]{r_l^3\left(\frac{T_C}{T_l}\right)^2} = \sqrt[3]{(4.2 \text{ units})^3\left(\frac{16.7 \text{ days}}{1.8 \text{ days}}\right)^2}$$

$$= \sqrt[3]{6.4\times10^3 \text{ units}^3}$$

$$= 19 \text{ units}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** ستكون r_C بوحدات جاليليو مثل r_l.
- **هل الجواب منطقي؟** الزمن الدوري كبير، لذلك سيكون نصف القطر كبيرًا.

مسائل تدريبية

1. الزمن الدوري لأحد أقمار المشتري 7.15 أيام. فكم وحدة يبلغ نصف قطر مداره؟ استعمل المعلومات المُعطاة في مثال 1.
2. يدور كويكب حول الشمس في مدار متوسط نصف قطره يساوي ضعف متوسط نصف قطر مدار الأرض. احسب زمنه الدوري بالسنوات الأرضية.
3. يمكنك أن تجد من **الجدول 1–7** أن بُعد المريخ عن الشمس أكبر 1.52 مرة من بُعد الأرض عن الشمس. احسب الزمن اللازم لدوران المريخ حول الشمس بالأيام الأرضية.
4. الزمن الدوري لدوران القمر حول الأرض 27.3 يومًا، ومتوسط بُعد القمر عن مركز الأرض 3.90×10^5 km.
   a. استعمل قوانين كبلر لحساب الزمن الدوري لقمر اصطناعي يبعد مداره 6.70×10^3 km عن مركز الأرض.
   b. كم يبعد القمر الاصطناعي عن سطح الأرض؟
5. استعمل البيانات المتعلقة بالزمن الدوري للقمر ونصف قطر مداره التي يتضمنها السؤال السابق لحساب متوسط بُعد قمر اصطناعي عن مركز الأرض والذي زمنه الدوري يساوي يومًا واحدًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

قانون نيوتن في الجذب الكوني
Newton's Law of Universal Gravitation

في عام 1666م، بعد مضي 45 سنة على نشر كبلر نتائجه، بدأ نيوتن دراسة حركة الكواكب، فوجد أن مقدار قوة جذب الشمس F المؤثرة في كوكب تتناسب عكسيًّا مع مربع البعد r بين مركز الكوكب ومركز الشمس؛ أيْ أن F تتناسب طرديًّا مع $\frac{1}{r^2}$، وتؤثر القوة F في اتجاه الخط الواصل بين مركزي الجسمين.

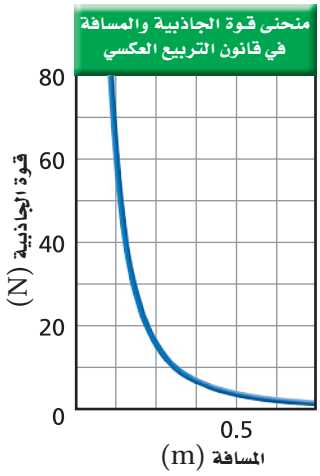
يُقال إن مشاهدة سقوط تفاحة جعلت نيوتن يتساءل: ماذا لو امتد أثر هذه القوة التي تسببت في سقوط التفاحة إلى القمر أو حتى أبعد من ذلك؟ وجد نيوتن أن تسارع كل من التفاحة والقمر متوافق مع العلاقة $\frac{1}{r^2}$. وبحسب قانون نيوتن الثالث فإن القوة التي تؤثر بها الأرض في التفاحة تساوي تلك القوة التي تؤثر بها التفاحة في الأرض. ويجب أن تتناسب قوة التجاذب بين أي جسمين مع كتل هذه الأجسام، وتُسمى هذه القوة **قوة الجاذبية**.

كان نيوتن واثقًا أن قوة التجاذب هذه موجودة بين أي جسمين في أي مكان من هذا الكون. وقد صاغ **قانونه في الجذب الكوني** الذي ينص على أن الأجسام تجذب أجسامًا أخرى بقوة تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب كتلها، وعكسيًّا مع مربع المسافة بين مراكزها. ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة الآتية:

قانون الجذب الكوني

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

قوة الجاذبية تساوي ثابت الجذب الكوني مضروبًا في كتلة الجسم الأول مضروبًا في كتلة الجسم الثاني مقسومًا على مربع المسافة بين مركزي الجسمين.



الشكل 4–7 تتغيّر قوة الجاذبية بتغير المسافة وفق قانون التربيع العكسي.

تبعًا لقانون نيوتن، تتناسب F طرديًّا مع m_1 و m_2، لذلك إذا تضاعفت كتلة الكوكب القريب من الشمس فإن القوة ستتضاعف. استعمل الرياضيات في الفيزياء في الجدول الآتي؛ لمساعدتك على إدراك أن تغير أحد المتغيرات يؤثر في الآخر. و يبين **الشكل 4–7** منحنى لقانون التربيع العكسي (العلاقة بين قوة الجاذبية والمسافة).

الرياضيات في الفيزياء

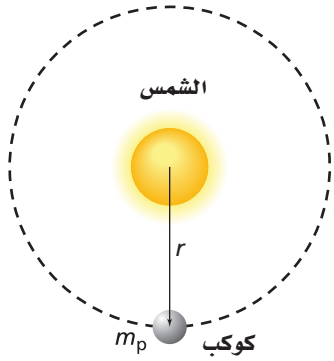
العلاقات الطردية والعكسية يحتوي قانون نيوتن في الجذب الكوني كلا التناسبين الطردي والعكسي.

$F \propto \frac{1}{r^2}$		$F \propto m_1 m_2$	
التغير	النتيجة	التغير	النتيجة
$2r$	$\frac{1}{4}F$	$2\,m_1 m_2$	$2F$
$3r$	$\frac{1}{9}F$	$3\,m_1 m_2$	$3F$
$\frac{1}{2}r$	$4F$	$2\,m_1 3m_2$	$6F$
$\frac{1}{3}r$	$9F$	$\frac{1}{2}\,m_1 m_2$	$\frac{1}{2}F$

الجذب الكوني والقانون الثالث لكبلر
Universal Gravitation and Kepler's Third Law

وضع نيوتن قانون الجذب الكوني بتعابير تنطبق على حركة الكواكب حول الشمس. وهذا يتفق مع القانون الثالث لكبلر، ويؤكد أن قانون نيوتن في الجذب الكوني يتطابق مع أفضل المشاهدات الحديثة.

إذا اعتبرت كوكبًا ما يدور حول الشمس، كما في **الشكل 5–7**، فيمكن كتابة القانون الثاني لنيوتن في الحركة على الصورة $F_{\text{محصلة}} = m_p a_C$، حيث F قوة الجاذبية، و m_p كتلة الكوكب، و a_C التسارع المركزي للكوكب. ولتبسيط أكثر اعتبر المدارات دائرية الشكل. ولأنك درست في الفصل السادس أن التسارع المركزي في الحركة الدائرية المنتظمة يساوي $a_C = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$، لذا يمكن كتابة العلاقة الآتية $F_{\text{محصلة}} = m_p a_C$ على النحو الآتي: $F_{\text{محصلة}} = \frac{m_p 4\pi^2 r}{T^2}$. والمقصود بـ T في هذه المعادلة الزمن اللازم لدوران الكوكب دورة كاملة حول الشمس. وإذا ساويت الحد الأيمن في هذه المعادلة بالحد الأيمن لقانون الجذب الكوني تحصل على النتيجة الآتية:



الشكل 5–7 كوكب كتلته m_p ونصف قطر مداره r، يدور حول الشمس التي كتلتها m_s.

$$G\frac{m_s m_p}{r^2} = \frac{m_p 4\pi^2 r}{T^2}$$

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{Gm_s}\right) r^3$$

$$T = \sqrt{\left(\frac{4\pi^2}{Gm_s}\right) r^3}$$

يمكن التعبير عن الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس كما يأتي:

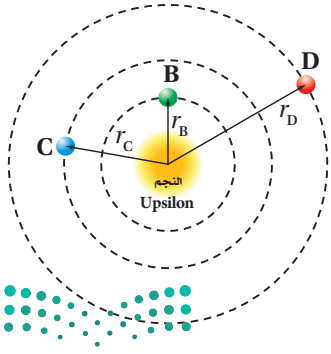
الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_s}}$$

وبتربيع الطرفين يتبين أن هذه المعادلة هي القانون الثالث لكبلر في حركة الكواكب. حيث يتناسب مربع الزمن الدوري طرديًّا مع مكعب المسافة الفاصلة بين مراكز الأجسام. ويعتمد المعامل $\frac{4\pi^2}{Gm_s}$ على كتلة الشمس وثابت الجذب الكوني. وقد وجد نيوتن أن هذا الاشتقاق ينطبق كذلك على المدارات الإهليلجية.

مسألة تحفيز

اكتشف الفلكيون ثلاثة كواكب تدور حول النجم Upsilon وهذه الكواكب هي: الكوكب B الذي يبلغ نصف قطر مداره 0.059 AU وزمنه الدوري 4.6170 أيام، والكوكب C يبلغ نصف قطر مداره 0.829 AU وزمنه الدوري 241.5 يومًا، والكوكب D الذي يبلغ نصف قطر مداره 2.53 AU وزمنه الدوري 1284 يومًا. (المسافة بين الأرض والشمس تساوي 1.00 AU)



1. هل تحقق هذه الكواكب القانون الثالث لكبلر؟
2. أوجد كتلة النجم Upsilon بدلالة كتلة الشمس.

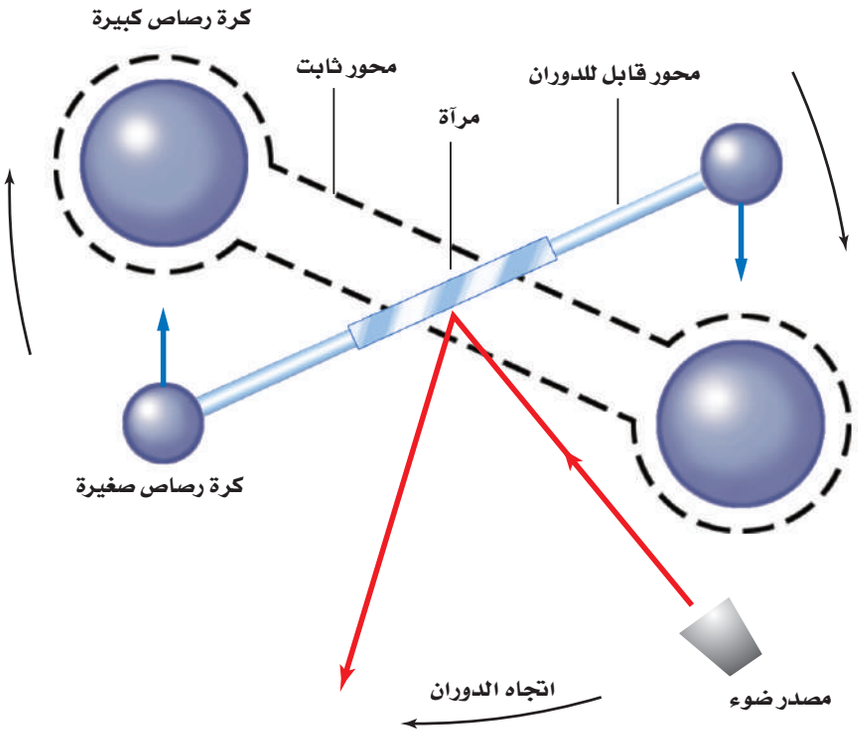
وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

قياس ثابت الجذب الكوني
Measuring the Universal Gravitational Constant

ما قيمــة ثابت الجذب الكوني G؟ تبدو قوة التجاذب بين جســمين على الأرض ضعيفة نسبيًّا، ويصعب الكشــف عن هذه القوة بين كتلتي كرتي البولنج مثلًا. في الواقع استغرق الأمر 100 عام بعد نيوتن ليتمكن العلماء من تصميم جهاز حســاس بما يكفي لقياس قوة الجاذبية.

الشكل 6–7 تستعمل موازين كافندش الحديثة لقياس قوى الجذب بين جسمين.

تجربــة كافندش اســتعمل العــالم هنري كافنــدش في عــام 1798م جهــازًا، كما في **الشــكل 6–7**، لقياس قوة الجاذبية بين جســمين. وللجهاز ذراع أفقية تحمل كرتين من الرصــاص عند نهايتيها. وهــذه الذراع معلقة من منتصفها بســلك رفيع قابل للدوران. ولأن الذراع معلقة بسلك رفيع فهي حساسة لأي قوة أفقية. ولقياس G، وضع كافندش كرتين ثقيلتين من الرصاص قريبتين من الكتلتين الصغيرتين، كما يبين **الشكل 7–7**. وقد أدت قــوة التجاذب بين الكرتين الكبيرة والصغيرة إلى دوران الذراع. وعند تســاوي قوة اللّيّ للســلك الرفيع وقوة التجاذب بين الكرات، تتوقف الذراع عن الدوران. وقد تمكن كافندش من قياس قوة التجاذب بين الكتل من خلال قياســه للزاوية التي شكَّلها دوران الذراع؛ حيث تقاس الزاوية التي يشكلها دوران الذراع بالشعاع المنعكس عن مرآة مستوية. وقد تمكن كافندش – من خلال قياس الكتل والمســافة بــين مراكز الكرات، والتعويض بذلك مستعملًا قانون نيوتن في الجذب الكوني – من تحديد قيمة تجــريبية للثــابت G، حيــث $G = 6.67 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2$، وذلك عندما تكــون وحدة قياس m_1 و m_2 بـ (kg)، و r بـ(m)، و F بـ (N).



الشكل 7–7 عند وضع الكرات الكبيرة بالقرب من الصغيرة تؤدي قوة الجاذبية إلى دوران الذراع. ويقاس الدوران بمساعدة الشعاع الضوئي المنعكس.

أهمية الثابت G تسمى تجربة كافندش أحيانًا "إيجاد كتلة الأرض"؛ لأنها ساعدت على حساب كتلة الأرض. وبمعرفة قيمة الثابت G يمكن حساب كتلة الشمس أيضًا، إضافةً إلى حساب قوة الجاذبية بين أي كتلتين، وذلك بتطبيق قانون نيوتن في الجذب الكوني. فمثلاً، قوة التجاذب بين كرتي بولنج كتلة كل منهما 7.26 kg والمسافة بين مركزيهما 0.30 m يمكن حسابها على النحو الآتي:

$$F_g = \frac{(6.67 \times 10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2)\ (7.26\ \text{kg})\ (7.26\ \text{kg})}{(0.30\ \text{m})^2}$$

$$F_g = 3.9 \times 10^{-8}\ \text{N}$$

وتعلم أن وزن جسم كتلته m على سطح الأرض هو مقياس لقوة جذب الأرض له $F_g = mg$. فإذا سميت كتلة الأرض m_E ونصف قطر الأرض r_E فإن:

$$F_g = G\frac{m_E m}{r_E^2} = mg$$

وينتج عن ذلك أن $$g = G\frac{m_E}{r_E^2}$$

ويمكن إعادة كتابة هذه المعادلة بدلالة m_E، أي $m_E = \frac{g\, r_E^2}{G}$

وبما أن $r_E = 6.38 \times 10^6\ \text{m}$؛ $g = 9.80\ \text{m/s}^2$؛ وكذلك $G = 6.67 \times 10^{-11}\ \frac{\text{N.m}^2}{\text{kg}^2}$

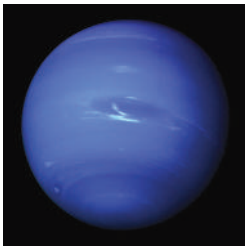
فإننا نحصل على القيمة الآتية لكتلة الأرض:

$$m_E = \frac{(9.80\ \text{m/s}^2) \times (6.38 \times 10^6\ \text{m})^2}{(6.67 \times 10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2)}$$

$$= 5.98 \times 10^{24}\ \text{kg}$$

وعندما تقارن كتلة الأرض بكتلة كرة البولنج تدرك لماذا لا تظهر بوضوح قوة التجاذب بين الأجسام التي نشاهدها في حياتنا اليومية. لقد ساعدت تجربة كافندش على تحديد قيمة الثابت G، وأكدت توقعات نيوتن من حيث وجود قوة تجاذب بين أي جسمين، وساعدت

7–1 مراجعة



الشكل 8–7

6. **الزمن الدوري لنبتون** يدور نبتون حول الشمس في مدار نصف قطره 4.495×10^{12} m، مما يسمح للغازات- ومنها الميثان- بالتكثف وتكوين جوٍّ كما يوضحه **الشكل 8–7**. إذا كانت كتلة الشمس 1.99×10^{30} kg، فاحسب الزمن الدوري لنبتون.

7. **الجاذبية** إذا بدأت الأرض في الانكماش، ولكن كتلتها بقيت ثابتة، فماذا يمكن أن يحدث لقيمة تسارع الجاذبية ***g*** على سطحها؟

8. **قوة الجاذبية** ما قوة الجاذبية بين جسمين كتلة كل منهما 15 kg والمسافة بين مركزيهما 35 cm؟ وما نسبة هذه القوة إلى وزن أي منهما؟

9. **ثابت الجذب الكوني** أجرى كافندش تجربته باستعمال كرات مصنوعة من الرصاص. افترض أنه استبدل بكرات الرصاص كرات من النحاس ذات كتل متساوية فهل تكون قيمة G هي نفسها أم تختلف؟ وضح ذلك.

10. **التفكير الناقد** يحتاج رفع صخرة على سطح القمر إلى قوة أقل من التي تحتاج إليها على الأرض.
   a. كيف تؤثر قوة الجاذبية الضعيفة على سطح القمر في مسار الحجر عند قذفه أفقيًّا؟
   b. إذا سقط الحجر على إصبع شخص، فأيهما يؤذيه أكثر: سقوطه -من الارتفاع نفسه- على سطح القمر، أم على سطح الأرض؟ فسّر ذلك.

الأهداف

- **تحل** مسائل على الحركة المداريّة.
- **تربط** انعدام الوزن مع أجسامٍ في حالة سقوطٍ حر.
- **تصف** مجال الجاذبية.
- **تقارن** بين كتلة القصور وكتلة الجاذبية.
- **تقارن** بين وجهتي نظر نيوتن وأينشتاين حول الجاذبية.

المفردات

مجال الجاذبية
كتلة القصور
كتلة الجاذبية

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

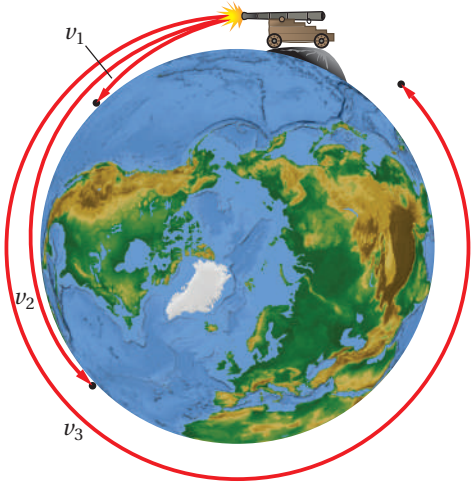
اكتُشف الكوكب أورانوس عام 1781م، وبحلول عام 1830م كان واضحًا أن مدار أورانوس الذي تم حسابه بقانون الجاذبية لا يتّفق مع المدار الفعلي لهذا الكوكب. فاقترح عالمان فلكيان وجود كوكب آخر غير مكتشف يجذب أورانوس بالإضافة إلى جذب الشمس له. وقد قاما بحساب مدار هذا الكوكب عام 1845م، وبعد سنة أعلن فلكيون في مرصد برلين أنهم وجدوا ذلك الكوكب الذي يعرف اليوم بنبتون.

مدارات الكواكب والأقمار الاصطناعية
Orbits of Planets and Satellites

استخدم نيوتن رسمًا، كما في **الشكل 9–7**؛ ليوضح تجربة ذهنية، فتخيّل مدفعا يطلق قذيفة في اتجاه أفقي بسرعة معينة. هذه القذيفة لها سرعة أفقية وأخرى رأسية، ولذلك يكون مسارها قطعًا مكافئًا، ثم تسقط على الأرض.

إذا زادت السرعة الأفقية للقذيفة ستقطع مسافة أطول على سطح الأرض، ولكنها ستسقط في النهاية على سطحها. أما إذا كان هناك مدفع ضخم تنطلق منه القذيفة بسرعة مناسبة فإن القذيفة تسير المسافة كاملةً حول الأرض وتستمر في ذلك، أي أن القذيفة ستتحرك في مدار دائري حول الأرض.

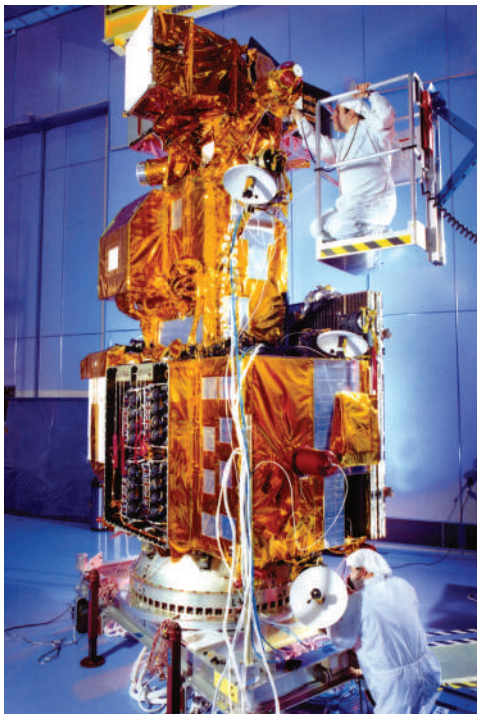
لقد أهملت تجربة نيوتن الذهنية مقاومة الهواء المحيط بالأرض. ولكي تتخلص القذيفة من مقاومة الهواء يجب أن تُطلق من مدفع على جبل ارتفاعه أكثر من 150 km فوق سطح الأرض. وبالمقارنة فإن الجبل سيكون أعلى كثيرًا من قمة جبل إفرست التي يبلغ ارتفاعها 8.85 km. إن قذيفة تطلق من ارتفاع 150 km لن تواجه مقاومة الهواء؛ لأنها تكون خارج معظم الغلاف الجوي الأرضي. لذا فإن قذيفة أو قمرًا اصطناعيًّا عند هذا الارتفاع سيدور في مدار ثابت حول الأرض.



الشكل 9–7 السرعة الأفقية v_1 ليست كبيرة، لذا ستسقط القذيفة على الأرض. وعند سرعة أكبر v_2 فإن القذيفة تقطع مسافة أكبر. وتقطع القذيفة المسار كله حول الأرض عندما تكون السرعة v_3 كبيرة بدرجة كافية.

تطبيق الفيزياء

المدار المتزامن مع الأرض يدور القمر الاصطناعي GOES–12 للتوقعات الجوية حول الأرض دورة كل يوم على ارتفاع 35,785 km. وتطابق السرعة المدارية للقمر معدل دوران الأرض، لذا يبدو القمر بالنسبة لمراقب على الأرض كأنه فوق بقعة معينة على خط الاستواء. ولذلك يُوجّه طبق الاستقبال على الأرض في اتجاه معين، ولا يلزم تغيير اتجاهه لالتقاط الإشارات المرسلة من القمر الاصطناعي.



الشكل 10–7 يوجّه القمر الاصطناعي لاندسات 7 عن بُعد، وكتلته 2200 kg، ويدور حول الأرض على ارتفاع 705 km.

يتحرك القمر الاصطناعي الذي يدور على ارتفاع ثابت عن الأرض حركة دائرية منتظمة. تذكّر أن تسارعه المركزي يُعبّر عنه بالعلاقة الآتية: $a_C = \frac{v^2}{r}$، لذا يكتب القانون الثاني لنيوتن على الصورة الآتية: $F_{\text{محصلة}} = \frac{mv^2}{r}$. فإذا كانت كتلة الأرض m_E، ودُمج هذا القانون مع قانون نيوتن في الجذب الكوني، فإنه يُعبّر عنه بالعلاقة:

$$G\frac{m_E m}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$$

ولذا تحصل على مقدار سرعة القمر الاصطناعي الذي يدور حول الأرض بالعلاقة:

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

الزمن الدوري للقمر الاصطناعي مدار القمر الاصطناعي حول الأرض يشبه مدار كوكب حول الشمس. وتعلم أن الزمن الدوري للكوكب حول الشمس يُعبّر عنه بالعلاقة:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_s}}$$

لذا فإن الزمن الدوري للقمر الاصطناعي حول الأرض يُعبّر عنه بالعلاقة:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$$

يمكن استعمال معادلتي سرعة القمر الاصطناعي وزمنه الدوري لأي جسم آخر يتحرك في مدار حول جسم ثانٍ. ويحل محل m_E في المعادلتين كتلة الجسم المركزي، وستكون r المسافةَ بين مركز الجسم الذي يتحرك في المدار ومركز الجسم المركزي. أمّا إذا كانت كتلة الجسم المركزي أكبر كثيرًا من كتلة الجسم الذي يتحرك في المدار فإن r ستكون المسافةَ بين الجسم الذي يتحرك في المدار ومركز الجسم المركزي. إن السرعة المدارية v والزمن الدوري T مستقلان عن كتلة القمر الاصطناعي. فهل هناك أي عوامل تحد من كتلة القمر الاصطناعي؟

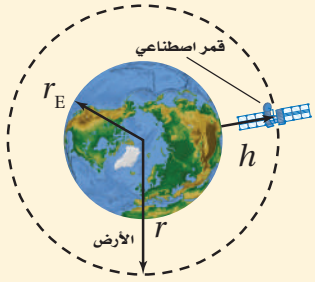
كتلة القمر الاصطناعي يزودنا القمر الاصطناعي لاندسات 7 الموضح في **الشكل 10–7** بصور سطحية للأرض، تستعمل في رسم الخرائط ودراسة الاستغلال الأمثل للأرض، كما يقوم هذا القمر بعمل مسح للمصادر الأرضية والخامات والتغيرات التي تحدث على الكرة الأرضية. ويمكن تسريع مثل هذه الأقمار باستعمال الصواريخ التي تزوِّدها بالسرعة المناسبة من أجل وضعها في مداراتها حول الأرض. ولأن تسارع أي جسم يحسب بقانون نيوتن الثاني في الحركة، $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$، فإنه كلما زادت كتلة القمر تطلّب ذلك صاروخًا أقوى لإيصاله إلى مداره.

الربط مع علم الأرض

مثـــــال 2

السرعة المدارية والزمن الدوري افترض أن قمرًا اصطناعيًّا يدور حول الأرض على ارتفاع 225 km فوق سطحها. فإذا علمت أن كتلة الأرض تساوي 5.97×10^{24} kg ونصف قطر الأرض 6.38×10^{6} m، فما مقدار سرعة القمر المدارية وزمنه الدوري؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم الوضع مبينًا ارتفاع المدار.

المعلوم		المجهول
$r_E = 6.38\times10^{6}$ m	$h = 2.25\times10^{5}$ m	$v = ?$
$G = 6.67\times10^{-11}$ N.m^2/kg^2	$m_E = 5.97\times10^{24}$ kg	$T = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد نصف قطر المدار بإضافة ارتفاع القمر عن الأرض إلى نصف قطر الكرة الأرضية.

بالتعويض $h = 2.25\times10^{5}$ m ،$r_E = 6.38\times10^{6}$ m

$$r = h + r_E$$
$$= 2.25\times10^{5}\ \text{m} + 6.38\times10^{6}\ \text{m} = 6.61\times10^{6}\ \text{m}$$

احسب السرعة

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}} = \sqrt{\frac{(6.67\times10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2)(5.97\times10^{24}\ \text{kg})}{6.61\times10^{6}\ \text{m}}}$$
$$= 7.76\times10^{3}\ \text{m/s}$$

بالتعويض $r = 6.61\times10^{6}$ m، $m_E = 5.97\times10^{24}$ kg، $G = 6.67\times10^{-11}$ N.m^2/kg^2

احسب الزمن الدوري

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{G\,m_E}}$$
$$= 2\pi\sqrt{\frac{(6.61\times10^{6}\ \text{m})^3}{(6.67\times10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2)\,(5.97\times10^{24}\ \text{kg})}}$$
$$= 5.35\times10^{3}\ \text{s}$$

بالتعويض $G = 6.67\times10^{-11}$ N.m^2/kg^2، $m_E = 5.97\times10^{24}$ kg، $r = 6.61\times10^{6}$ m

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة السرعة هي m/s، ووحدة الزمن الدوري هي الثانية.

مسائل تدريبية

افترض أن مدار الأقمار دائري عند حل المسائل الآتية:

11. افترض أن القمر في المثال السابق تحرك إلى مدار نصف قطره أكبر 24 km من نصف القطر السابق، فكم يصبح مقدار سرعته؟ وهل هذه السرعة أكبر أم أقل ممّا في المثال السابق؟

12. استعمل تجربة نيوتن الذهنية في حركة الأقمار الاصطناعية لحل ما يأتي:

a. حساب مقدار سرعة إطلاق قمر اصطناعي من مدفع بحيث يصبح في مدار يبعد 150 km عن سطح الأرض.

b. احسب الزمن الذي يستغرقه القمر الاصطناعي (بالثواني والدقائق) ليكمل دورة حول الأرض ويعود إلى المدفع.

13. استعمل البيانات المتعلقة بعطارد المعطاة في **الجدول 1-7** لإيجاد ما يأتي:

a. مقدار سرعة قمر اصطناعي في مدار على بُعد 260 km من سطح عطارد.

b. الزمن الدوري لهذا القمر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تسارع الجاذبية الأرضية
Acceleration Due To Gravity

يمكن إيجاد تسارع الأجسام الناشئ عن الجاذبية الأرضية باستعمال القانون الثاني لنيوتن وقانون الجذب الكوني، وذلك من خلال تطبيق المعادلة الآتية على الجسم الذي كتلته m ويسقط سقوطًا حرًّا:

$$F = \frac{Gm_E m}{r^2} = ma$$

ولذلك فإن

$$a = \frac{Gm_E}{r^2}$$

وبما أن $a = g$ و $r = r_E$ عند سطح الأرض، لذا يمكن التعبير عن ذلك بالعلاقتين:

$$g = \frac{Gm_E}{r_E^2}$$

$$m_E = \frac{g\, r_E^2}{G}$$

وإذا عوضنا عن m_E في العلاقة $a = \frac{Gm_E}{r^2}$ للجسم الساقط سقوطًا حرًّا سنحصل على:

$$a = G\frac{\frac{g\, r_E^2}{G}}{r^2}$$

وبالتالي فإن

$$a = g\left(\frac{r_E}{r}\right)^2$$

يوضح هذا أنه كلما ابتعدت عن الأرض فإن التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية يقل تبعًا لعلاقة التربيع العكسي هذه. ترى، ماذا يحدث لوزنك F_g كلما ابتعدت أكثر وأكثر عن مركز الأرض؟

الوزن وانعدام الوزن من المحتمل أنك شاهدت صورًا مشابهة لتلك الموضحة في **الشكل 11–7**، حيث يظهر رواد الفضاء في مركبة فضائية في حالة تسمى (zero–g) أو انعدام الوزن. يدور المكوك على ارتفاع 400 km فوق سطح الأرض، وعند هذه المسافة يكون $g = 8.7\ m/s^2$؛ أيْ أقل قليلاً من قيمته على سطح الأرض. لذا فإن قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في المكوك لا تساوي صفرًا بالتأكيد. وتسبب هذه الجاذبية دوران المكوك حول الأرض. فلماذا يبدو رواد الفضاء إذًا عديمي الوزن؟

تذكّر أنك تشعر بوزنك عندما يؤثر فيك شيء بقوة تماسّ كالأرض أو الكرسي. لكن إذا كنت أنت والكرسي وأرض الغرفة، تتسارعون بالكيفية نفسها في اتجاه الأرض فإنه لا توجد قوى تماس تؤثر فيك. لذا يكون وزنك الظاهري صفرًا وتشعر بانعدام الوزن. وكذلك يشعر رواد الفضاء في المكوك.

■ **الشكل 11–7** يظهر أحد رواد الفضاء في حالة انعدام الوزن في مكوك الفضاء كولومبيا، حيث يسقط المكوك بما فيه سقوطًا حرًّا في اتجاه الأرض

تجربة

ماء عديم الوزن

يُجرى هذا النشاط خارج الفصل.

استعمل قلم رصاص لإحداث فتحتين في كأس ورقية: إحداهما في قاع الكأس والأخرى في جانبها، ثم أغلق الفتحتين بإصبعيك واملأ ثلثي الكأس بالماء الملون.

1. **توقع** ما يحدث عندما تُسقط الكأس سقوطًا حرًّا.
2. **اختبر توقعك**: أسقط الكأس، وراقب ما يحدث.

التحليل والاستنتاج

3. **صف** مشاهداتك.
4. **فسّر** النتائج.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

مجال الجاذبية
The Gravitational Field

تذكر من الفصل الرابع أن الكثير من القوى هي قوى تماس. فالاحتكاك يتولد عند تلامس جسمين، ومن ذلك دفع الأرض أو الكرسي عليك. لكن الجاذبية مختلفة؛ فهي تؤثر في التفاحة التي تسقط من الشجرة، وتؤثر في القمر. أيْ أن الجاذبية تؤثر عن بُعد، وهي تعمل بين أجسام غير متلامسة، أو قد تكون بعيدة. وقد انشغل نيوتن بذلك وكان يتساءل: كيف تؤثر الشمس بقوة في الأرض البعيدة؟

جاء الجواب عن هذا التساؤل من خلال دراسة المغناطيسية. ففي القرن التاسع عشر طوّر فارادي مفهوم المجال لتفسير كيفية جذب المغناطيس للأشياء. ثم طُبق مبدأ المجال على الجاذبية. فكل جسم له كتلة محاط **بمجال جاذبي** يؤثر من خلاله بقوة في أي جسم آخر يوجد في ذلك المجال نتيجة التفاعل المتبادل بين كتلته والمجال الجاذبي g. ويوصف ذلك بالمعادلة الآتية:

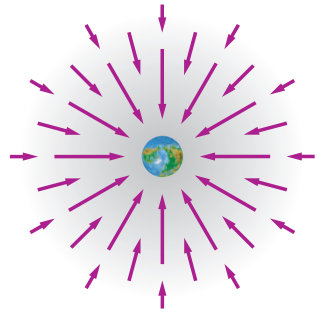
المجال الجاذبي $$g = \frac{GM}{r^2}$$

المجال الجاذبي يساوي ثابت الجذب الكوني مضروبًا في كتلة الجسم، مقسومًا على مربع البعد عن مركز الجسم. ويكون اتجاهه في اتجاه مركز الكتلة.

افترض أن هناك مجالاً جاذبيًّا ناتجًا عن الشمس، فإن أي كوكب كتلته m سيخضع لقوة تؤثر فيه، تعتمد على كتلة الكوكب ومقدار المجال في ذلك المكان؛ أيْ $F = mg$ في اتجاه الشمس.

تنتج القوة بسبب تفاعل كتلة الكوكب مع المجال الجاذبي في مكان وجود الكوكب وليس مع الشمس نفسها التي تبعد ملايين الكيلومترات. وإذا أردنا إيجاد المجال الجاذبي الذي يسببه أكثر من جسم فيجب حساب المجال الجاذبي لكل جسم، ثم تُجْمع جمعًا اتجاهيًّا. ويمكن حساب مجال الجاذبية بوضع جسم كتلته m في المجال، ثم تقاس القوة المؤثرة فيه، وتقسم القوة F على الكتلة m، كما في العلاقة الآتية: $g = F/m$، حيث يُقاس المجال الجاذبي بوحدة N/kg التي تساوي أيضًا m/s^2 .

إن شدة المجال الجاذبي عند سطح الأرض تساوي 9.80 N/kg في اتجاه مركز الأرض. ويمكن تمثيل المجال بمتجه طوله g يشير إلى مركز الجسم الذي يُنتج هذا المجال. ويمكنك تصور مجال الأرض بمجموعة من المتجهات تحيط بالأرض وتشير إلى مركزها، **الشكل 12–7**. ويتناسب المجال عكسيًّا مع مربع البعد عن مركز الأرض، كما يعتمد على كتلة الأرض لا على كتلة الجسم.



الشكل 12–7 تشير كل المتجهات الممثلة لمجال الجاذبية إلى اتجاه مركز الأرض. ويضعف المجال كلما ابتعدنا عن الأرض.

نوعا الكتلة
Two Kinds of Mass

تذكـر أنه عند مناقشـة مفهوم الكتلـة في الفصل الرابع، تم تعريف ميل المنحنى في الرسـم البياني للتسارع – القوة أنه مقلوب الكتلة، ويعبّر عنه بالعلاقة $k=\frac{1}{m}$. ومن العلاقة الخطية بـين القوة والتسـارع تم التوصـل إلى أن: $a \propto F$، ومنها $a=kF$، ومن ثم فـإن $a=\frac{1}{m}F$، ولـذا فـإن $m=\frac{F}{a}$؛ أيْ أن الكتلة هي نسـبة مقـدار القوة المحصلة المؤثرة في جسـم ما إلى مقدار تسـارعه. ويسـمى هذا النوع من الكتلة المرتبط بقصور الجسم **كتلة القصور**، وتُمثل بالمعادلة:

كتلة القصور $$m_{\text{القصور}}=\frac{F_{\text{محصلة}}}{a}$$

كتلة القصور تساوي مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الجسم مقسومة على مقدار تسارعه.

تجربة عملية

هـل كتلـة القصـور تسـاوي كتلـة الجاذبية؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين

تُقـاس كتلة القصور بالتأثير بقوة في الجسـم ثم قياس تسـارعه باسـتعمال ميـزان القصور، ومنها الميزان الموضح في **الشكل 13–7**. وكلما كانت كتلة الجسم أكبر كان الجسم أقل تأثرًا بأي قوة، لذا يكون تسـارعه أقل. وتُعد كتلة القصور مقياسًـا لممانعة أو مقاومة الجسم لأي نوع من أنواع القوى المؤثرة فيه.

يحتوي قانون نيوتن في الجذب الكوني على كتلة، غير أنها نوع آخر من الكتل. وتحدد الكتلة المستعملة في هذا القانون مقدار قوة الجاذبية بين جسمين، وتسمى **كتلة الجاذبية**. ويمكن

الشكل 13–7 يُمكّنك ميزان القصور من حساب كتلة القصور لجسم ما من خلال الزمن الدوري T لحركة الذهاب والإياب للجسم. وتستعمل كتل معايرة كما في الشكل للحصول على منحنى بين T^2 والكتلة، ثم يقاس الزمن الدوري للكتلة المجهولة التي يمكن معرفتها من الرسم.

الشكل 14–7 يُمكِّننا الميزان ذو الكفتين المبين في الشكل من قياس كتل الأجسام؛ وذلك بمقارنة قوة جذب الأرض لها بقوة جذبها لكتل معيارية.

تجربة عملية

كيف تقيس الكتلة؟

ارجع إلى دليل التجارب في منصة عين

قياسها باستعمال الميزان ذي الكفتين كما في **الشكل 14–7**. فإذا قِسْتَ قوة الجذب المؤثرة في جسم من جسم آخر كتلته m، وعلى بُعد r أمكنك تعريف كتلة الجاذبية بالطريقة الآتية:

كتلة الجاذبية

$$m_{\text{الجاذبية}} = \frac{r^2 F_{\text{الجاذبية}}}{Gm}$$

كتلة الجاذبية لجسم ما تساوي مربع المسافة بين الجسمين مضروبة في مقدار قوة الجاذبية بين الجسمين مقسومة على حاصل ضرب ثابت الجذب الكوني في كتلة الجسم الثاني.

الشكل 15–7 التطورات التي شهدها علم الفلك حول حركة الكواكب والجاذبية.

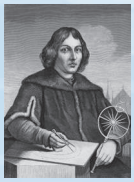
في نحو عام 370 ق.م صمم الإغريق نظامًا ميكانيكيًّا لشرح حركات الكواكب. اقترح يودوكسوس أن الكواكب والشمس والقمر والنجوم تدور كلها حول الأرض. وفي القرن الرابع قبل الميلاد أدخل أرسطو هذه النظرية الهندسية، وهي نظرية مركزية الأرض، في نظامه الفلسفي.

600

1400

اهتم المسلمون بدراسة علم الفلك، لمعرفة أوقات الصلاة بحسب الموقع الجغرافي والفصل الموسمي، وتحديد اتجاه القبلة، ورؤية هلال رمضان، واخترعوا حسابات وطرائق بديعة لم يسبقهم إليها أحد. ويعود إلى المسلمين فضل تخليص علم الفلك من الشعوذة والدجل وجعله علمًا خالصًا يعتمد على النظريّة والبرهان.

في عام 1543 م في عصر النهضة الأوربية، قدم نيكولاس كوبرنيكس نموذج مركزية الشمس؛ حيث تدور الكواكب حول الشمس، لا حول الأرض.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

كيف يختلف نوعا الكتلتين؟ افترض أن لديك بطيخة في أرضية صندوق سيارتك، فإذا تسارعت السيارة في اتجاه الأمام فإن البطيخة ستتدحرج إلى الخلف بالنسبة إلى السيارة. وهذا بسبب كتلة قصور البطيخة التي تقاوم التسارع. والآن افترض أن السيارة بدأت صعود منحدر، فإن البطيخة ستتدحرج إلى الخلف مرة أخرى ولكنها ستنجذب هذه المرة بسبب كتلة الجاذبية إلى أسفل في اتجاه الأرض. وقد أعلن نيوتن أن كتلة القصور وكتلة الجاذبية متساويتان من حيث المقدار. وتُسمى هذه الفرضية مبدأ التكافؤ. وكل التجارب التي أُجريت حتى الآن توصلت إلى نتائج تدعم صحة هذا المبدأ. وكان العالم ألبرت أينشتاين أيضًا مهتمًّا بمبدأ التكافؤ وجعله نقطة رئيسة في نظريته عن الجاذبية. ويبين **الشكل 15–7** التطورات التي شهدها علم الفلك حول حركة الكواكب والجاذبية.

نظرية أينشتاين في الجاذبية
Einstein's Theory of Gravity

يمكِّننا قانون نيوتن في الجذب الكوني من حساب قوة الجاذبية المتبادلة بين جسمين بسبب كتلتيهما.

إن مفهوم مجال الجاذبية يتيح لنا تصور طريقة تأثير الجاذبية في الأجسام عندما تكون بعيدة بعضها عن بعض. افترض أينشتاين أن الجاذبية ليست مجرد قوة، بل هي تأثير من الفضاء نفسه، وبناءً على فرضية أينشتاين فإن الكتل تغير الفضاء (الزمكان) المحيط بها، فتجعله منحنيًا، وتتسارع الأجسام الأخرى بسبب الطريقة التي تسير بها في هذا الفضاء المنحني.

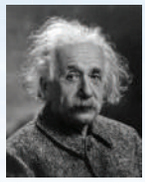
فاز ثلاثة علماء أمريكيين بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 2017 تقديرا لإسهاماتهم الحاسمة في رصد موجات الجاذبية، وهي تموجات في نسيج الزَّمْكان تنبأت بها النظرية النسبية العامة لألبرت أينشتاين.

قدم نيوتن قانون الجاذبية العام ليفسّر حركة الكواكب، واستطاع تفسير الإشكالات التي لم تستطع قوانين كبلر تفسيرها.

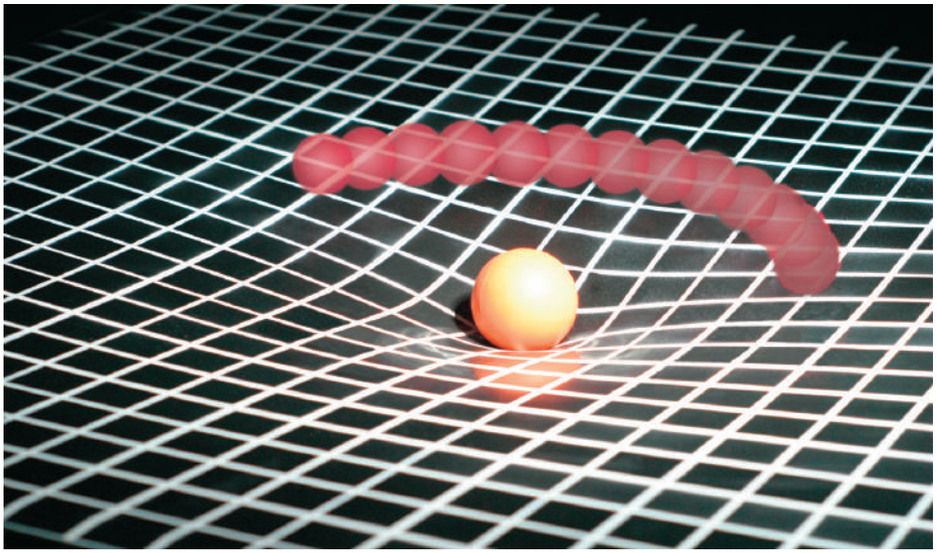
1600

يعد كبلر أول من وضع نظامًا لوصف تفاصيل حركة الكواكب حول الشمس في مدارات إهليلجية. ورغم ذلك، لم ينجح كبلر في صياغة نظرية تدعم القوانين التي سجّلها.

1900



النظرية النسبية العامة هي نظرية هندسية للجاذبية، نشرها ألبرت أينشتاين عام 1916 م، وتمثّل الوصف الحالي للجاذبية في الفيزياء الحديثة، وذلك بتعميمها للنسبية الخاصة وقانون الجذب العام لنيوتن، وإعطاء وصف موحّد للجاذبية كخاصية هندسية للمكان والزمان، أو الزَّمْكان.



الشكل 16–7 تسبب المادة انحناء الفضاء (الزمكان) تماما كما يؤثر جسم في شبك مطاطي حوله. الأجسام المتحركة بالقرب من الكتلة تسلك مسارًا منحنيًا في الفضاء. تتحرك الكرة الحمراء في اتجاه حركة عقارب الساعة حول الكتلة المركزية.

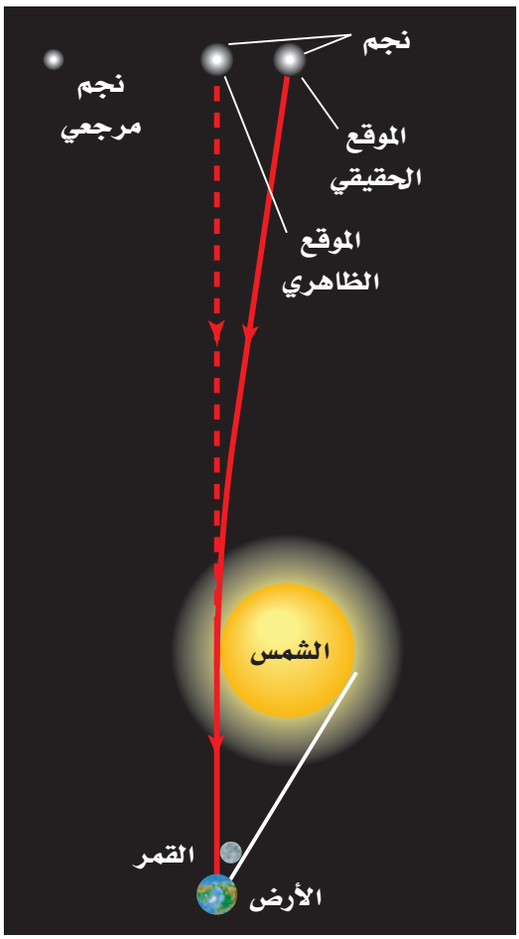
من طُرق تصور كيفية تأثر الفضاء بالكتلة، مقارنة الفضاء بشبكة كبيرة من المطاط ثنائية الأبعاد، كما هو موضح في **الشكل 16– 7**، حيث تمثل الكرة الصفراء جسمًا كتلته كبيرة جدًّا على الشبكة، وهي تسبب الانحناء. والكرة الحمراء تدور عبر الشبكة، وتحاكي حركة كوكب حول نجم في الفضاء (الزمكان).

تتسارع الكرة الحمراء عندما تتحرك بالقرب من المنطقة المنحنية من الشبكة. وبالطريقة نفسها فإن كلًّا من الشمس والأرض تجذب الأخرى؛ بسبب طريقة تشوه الفضاء الناجم عن الجسمين.

وقد تنبأت نظرية أينشتاين ـ التي تسمى النظرية النسبية العامة ـ بعدة تنبؤات حول كيفية تأثير الأجسام ذات الكتل الكبيرة بعضها في بعض. وقد أعطت نتائج صحيحة لكل الاختبارات التي أجريت في الفترات اللاحقة.

انحراف الضوء تنبأت نظرية أينشتاين بانحراف الضوء عند مروره بالقرب من أجسام ذات كتل كبيرة جدًّا، حيث يتبع الضوء الفضاء المنحني حول الأجسام ذات الكتل الكبيرة مما يؤدي إلى انحنائه، كما هو موضح في **الشكل 17 –7**.

لاحظ علماء الفلك في أثناء كسوف الشمس سنة 1919م أن الضوء القادم من النجوم البعيدة، الذي يمر بالقرب من الشمس، قد انحرف عن مساره بما يحقق تنبؤات أينشتاين.



الشكل 17–7 الضوء القادم من النجوم البعيدة يتأثر بمجال جاذبية الشمس. الرسم للتوضيح ولا يمثل مقياس رسم حقيقي.

ومن نتائج النسبية العامة أيضًا تأثير الأجسام ذات الكتل الكبيرة في الضوء. فإذا كانت كتلة الجسم كبيرة جدًّا وكثافته كبيرة بشكل كاف فإن الضوء الخارج

منه يرتدّ إليه بشكل كامل، وبذلك لا يستطيع الضوء الخروج منه أبدًا. وتسمى مثل هذه الأجسام الثقوب السوداء. ويستدل على وجودها من خلال تأثيرها في النجوم القريبة منها. كما يُستفاد من الأشعة الناتجة عن انجذاب المادة إلى الثقوب السوداء وسقوطها فيها – في تحديد هذه الثقوب والكشف عن أماكن وجودها.

وعلى الرغم من أن نظرية أينشتاين تنبأت بشكل دقيق في تأثيرات الجاذبية، إلا أنها لا تزال غير مكتملة؛ فهي لا توضح أصل الكتلة، ولا كيف تعمل الكتلة على تحدب (انحناء) الفضاء. ويعمل الفيزيائيون على فهم الجاذبية وأصل الكتلة نفسها بشكل أعمق.

2–7 مراجعة

14. مجالات الجاذبية يبعد القمر مسافة 3.9×10^5 km عن مركز الأرض، في حين يبعد 1.5×10^8 km عن مركز الشمس. وكتلتا الأرض والشمس 6.0×10^{24} kg، و 2.0×10^{30} kg على الترتيب.

a. أوجد النسبة بين مجال جاذبية الأرض وبين مجال جاذبية الشمس عند مركز القمر.

b. عندما يكون القمر في طور ربعه الثالث (ليلة 21 في الشهر)، **الشكل 18–7**، يكون اتجاهه بالنسبة إلى الأرض عموديًّا على اتجاه الأرض بالنسبة إلى الشمس. ما محصلة المجال الجاذبي للأرض والشمس عند مركز القمر؟

الشكل 18–7

15. مجال الجاذبية كتلة القمر 7.3×10^{22} kg ونصف قطره 1785 km، ما شدة مجال الجاذبية على سطحه؟

16. الزمن الدوري والسرعة قمران اصطناعيان في مدارين دائريين حول الأرض؛ يبعد الأول 150 km عن سطح الأرض، والثاني 160 km.

a. أي القمرين له زمن دوري أكبر؟

b. أي القمرين سرعته أكبر؟

17. حالة انعدام الوزن تكون المقاعد داخل محطة الفضاء عديمة الوزن. إذا كنت على متن إحدى هذه المحطات وكنت حافي القدمين فهل تشعر بالألم إذا ركلت كرسيًّا؟ فسر ذلك.

18. التفكير الناقد لماذا يُعد إطلاق قمر اصطناعي من الأرض إلى مدار ليدور في اتجاه الشرق أسهل من إطلاقه ليدور في اتجاه الغرب؟ وضّح.

مختبر الفيزياء

نمذجة مدارات الكواكب والأقمار

ستحلل في هذه التجربة نموذجًا يبين كيف يُطبق القانونان الأول والثاني لكبلر في الحركة على مدارات الأجسام في الفضاء. ينص القانون الأول لكبلر على أن مدارات الكواكب إهليلجية وتقع الشمس في إحدى بؤرتي المدار. أما القانون الثاني لكبلر فينص على أن الخط الوهمي الواصل بين الشمس والكوكب يمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية. ويعرف شكل المدار الإهليلجي باللامركزية e، وهي تساوي نسبة البعد بين البؤرتين إلى المحور الرئيس. وعندما يكون الجسم في أبعد مكان له عن الشمس على امتداد المحور الرئيس فإنه يكون في (الأوج). وعندما يكون في أقرب مسافة له من الشمس على امتداد المحور الرئيس فإنه يكون في (الحضيض).

سؤال التجربة

ما شكل مدارات الكواكب والأقمار في النظام الشمسي؟

الأهداف

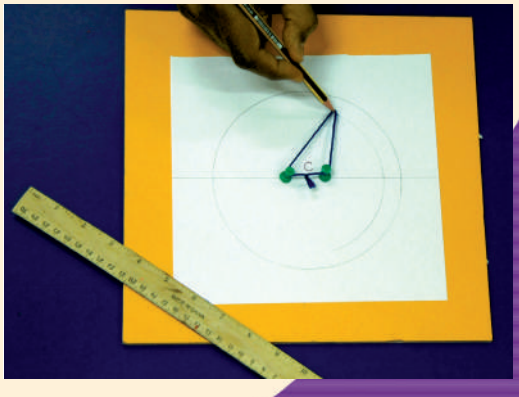
- **تصوغ نماذج** للاستدلال على شكل مدارات الكواكب والأقمار.
- **تجمع وتنظم البيانات** لمسافات الأوج والحضيض للأجسام عندما تدور حول الشمس.
- **تستخلص نتائج** حول القانونين الأول والثاني لكبلر في الحركة.

احتياطات السلامة

- **الدبابيس حادة ويمكن أن تخدش الجسم.**

المواد والأدوات

قطعة ورق مقوى	مسطرة مترية
طبق ورقي أبيض	قلم رصاص
دبوسان	خيوط (25 cm)



الخطوات

1. ثبت قطعة الورق البيضاء على الورق المقوى.
2. ارسم خطًّا عبر منتصف الورقة في اتجاه طولها؛ ليمثّل المحور الرئيس.
3. عين منتصف الخط وسمّه C.
4. اربط أحد الخيوط لتكون حلقة يكون طولها عند سحبها 10 cm. واحسب المسافة بين البؤرتين(d) لكل جسم في الجدول باستعمال المعادلة:

$$d = \frac{2e\ (10.0\ cm)}{e+1}$$

5. لرسم دائرة، ثبّت دبوسًا عند C، وضع الحلقة فوق الدبوس واسحبها بالقلم. وحرك القلم بصورة دائرية حول المركز على أن يتحكم الخيط في حركة القلم.
6. لرسم مدار الأرض، انزع الدبوس من النقطة C، ثم ثبّته على بُعد $\frac{d}{2}$ cm من C على المحور الرئيس.
7. ثبّت الدبوس الآخر على بعد $\frac{d}{2}$ من الجهة الأخرى بالنسبة إلى C، حيث يمثل الدبوسان البؤرتين.
8. ضع الحلقة فوق الدبوسين واسحبها بقلم الرصاص بحيث يتحكم الخيط في حركته.
9. كرّر الخطوات 8 –6 للمذنّب.

جدول البيانات						
الجسم	اللامركزية (e)	d (cm)	الأوج A	الحضيض P	e التجريبية	الخطأ %
الدائرة	0					
الأرض	0.017					
المذنّب	0.70					

10. بعد رسم جميع المدارات، علّم كل مدار بوضع اسمه وقيمة (e) اللامركزية له.

التحليل

1. قِس مسافة الأوج A، وهي البعد بين إحدى البؤرتين وأبعد نقطة على المدار على امتداد المحور الرئيس. وسجّل النتيجة في جدول البيانات.

2. قِس مسافة الحضيض P، وهي البعد بين البؤرة السابقة نفسها وأقرب نقطة على المدار على امتداد المحور الرئيس.

3. احسب اللامركزية التجريبية e من المعادلة:

$$e = \frac{A - P}{A + P}$$

4. **حلّل الخطأ** احسب الخطأ النسبي بين القيمة التجريبية والقيمة المحسوبة لـ e.

5. **حلّل** لماذا يكون المدار ذو القيمة ($e = 0$) دائريًّا؟

6. **قارن** بين مدار الأرض وشكل الدائرة.

7. **لاحظ** أي المدارات يكون إهليلجيًّا في الواقع؟

الاستنتاج والتطبيق

1. هل ينطبق القانون الأول لكبلر على المدار الذي رسمته؟ وضح.

2. درس كبلر بيانات مدار المريخ ($e = 0.093$) واستنتج أن الكواكب تتحرك حول الشمس في مدارات إهليلجية. ماذا كان يستنتج لو كان على المريخ ودرس حركة الأرض؟

3. أين تكون سرعة الكوكب أكبر: عند الأوج أم الحضيض؟ ولماذا؟

4. يساعد القانون الثاني لكبلر على تحديد نسبة سرعة الأرض في الأوج والحضيض (v_A / v_P). لتحديد هذه النسبة احسب أولاً المساحة التي تمسحها الأرض في مدارها، وهذه المساحة تساوي تقريبًا مساحة مثلث مساحته = ½ البعد عن الشمس × سرعته في تلك الفترة × الزمن. إذا كانت المساحة التي يمسحها الكوكب في فترات زمنية محددة(30 يومًا مثلًا) متساوية عند الأوج والحضيض، فإنه يمكن كتابة هذه العلاقة على النحو الآتي:

$$\frac{1}{2} P v_P t = \frac{1}{2} A v_A t$$

ما النسبة $\frac{v_P}{v_A}$ لكوكب الأرض؟

التوسع في البحث

1. استعملت طريقة تقريبية للنظر إلى القانون الثاني لكبلر. اقترح تجربة للحصول على نتائج أدق لإثبات القانون الثاني.

2. صمّم تجربة لإثبات القانون الثالث لكبلر.

الفيزياء في الحياة

يدور قمر اصطناعي للاتصالات أو الأرصاد الجوية حول الأرض. هل يحقق هذا القمر قوانين كبلر؟ اجمع بيانات لإثبات إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الثقوب السوداء Black Holes

ماذا يحدث لو كنت تسافر إلى ثقب أسود؟ سوف يتمدد جسمك، ويصبح مفلطحًا ومن ثم يسحب إلى أجزاء ويتمزق. ما الثقب الأسود؟ وماذا تعرف عن الثقوب السوداء؟

الثقب الأسود إحدى المراحل النهائية المحتملة لتطور نجم. فعندما تتوقف تفاعلات الاندماج في قلب نجم كتلته أكبر من كتلة الشمس 20 مرة ينهار قلب النجم إلى الأبد، وتتجمع الكتلة في أصغر حجم. ويسمى هذا الجسم المتناهي الصغر ذو الكثافة المتناهية في الكبر الجسمَ المفردَ (الاستثنائي). وتكون قوة الجاذبية هائلة حول هذا الجسم فلا يفلت منها شيء حتى الضوء، وتُعرف هذه المنطقة بالثقب الأسود.

لا شيء يستطيع الإفلات في عام 1917 م استنتج العالم الألماني شوارتزشيلد -رياضيًّا- إمكانية وجود الثقوب السوداء. وقد استعمل حلاًّ لنظرية أينشتاين في النسبية العامة لوصف خصائص الثقب الأسود، واشتق صيغة لنصف قطر سمِّي نصف قطر شوارتزشيلد، لا يمكن للضوء ولا للمادة الإفلات من قوة الجاذبية خلاله. ويعبَّر عن نصف قطر شوارتزشيلد بالعلاقة:

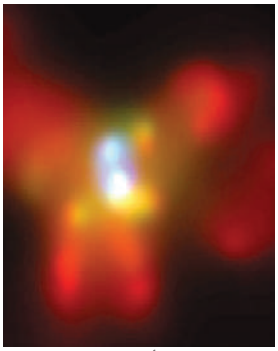
$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

حيث تمثل G ثابت نيوتن في الجذب الكوني، وM كتلة الثقب الأسود، وc سرعة الضوء.

تُعرف حافة الكرة التي نصف قطرها R_s بأفق الحدث. وسرعة الإفلات عند أفق الحدث تساوي سرعة الضوء؛ ولأنه لا يوجد شيء يسير بسرعة أكبر من سرعة الضوء فإن الأجسام التي تقترب من هذه المنطقة لا يمكن أن تنجو أو تفلت.

دلائل مباشرة وغير مباشرة للثقوب السوداء ثلاث خصائص يمكن قياسها نظريًّا، هي: الكتلة، والزخم الزاوي، والشحنة الكهربائية. ويمكن تحديد كتلة الثقب الأسود من خلال المجال الجاذبي الذي يولده. وتحسب الكتلة باستعمال صيغة معدلة للقانون الثالث لكبلر في حركة الكواكب. وقد أثبتت دراسات (ناسا) أن الثقب الأسود يدور حول نفسه مثل النجوم والكواكب. ويدور الثقب الأسود لأنه يحتفظ بالزخم الزاوي للنجم الذي كوَّنه. ويفترض العلماء أن الثقب الأسود يمكن أن يُشْحَن كهربائيًّا عندما يسقط عليه أحد أنواع الشحنة الكهربائية الزائدة، على الرغم من عدم قدرة العلماء على قياس شحنته حتى الآن. كما أمكن الكشف عن الأشعة السينية الناتجة عن الغازات الفائقة الحرارة.

على الرغم من أننا لا نعرف كل شيء عن الثقوب السوداء إلا أن هناك دلائل مباشرة وغير مباشرة على وجودها. وسوف تؤدي الأبحاث المتواصلة والبعثات الخاصة إلى فهم أكبر لحقيقة الثقوب السوداء.



صورة شاندرا بالأشعة السينية لثقبين أسودين في NGC 6240.

صورة هابل للمجرة NGC 6240

التوسع

حل يمكن تحديد سرعة الإفلات لجسم لدى مغادرته لجرم فضائي وفقًا للمعادلة:

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R_s}}$$

حيث: G ثابت نيوتن في الجذب الكوني، وM كتلة الثقب الأسود، وR_s نصف قطر الثقب الأسود. بيّن أن هذه السرعة تساوي سرعة الضوء c.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الفصل 7

دليل مراجعة الفصل

7–1 حركة الكواكب والجاذبية Planetary Motion and Gravitation

المفردات

- القانون الأول لكبلر
- القانون الثاني لكبلر
- القانون الثالث لكبلر
- قوة الجاذبية
- قانون الجذب الكوني (العام)

المفاهيم الرئيسة

- ينص القانون الأول لكبلر على أن الكواكب تتحرك في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.
- ينص القانون الثاني لكبلر على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في أزمان متساوية.
- ينص القانون الثالث لكبلر على أن مربع النسبة بين الزمنين الدوريين لأي كوكبين يساوي مكعب النسبة بين بعديهما عن الشمس.

$$\left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{r_A}{r_B}\right)^3$$

- ينص قانون نيوتن في الجذب الكوني على أن قوة الجاذبية بين أي جسمين تتناسب طرديًا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًا مع مربع المسافة بين مركزيهما، ويعبر عن قوة الجذب بالعلاقة:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

- يمكن استعمال قانون نيوتن في الجذب الكوني لإعادة كتابة القانون الثالث لكبلر على الصورة الآتية:

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{Gm_s}\right) r^3$$

حيث m_s كتلة الشمس.

7–2 استخدام قانون الجذب الكوني Using the Law of Universal Gravitation

المفردات

- مجال الجاذبية
- كتلة القصور
- كتلة الجاذبية

المفاهيم الرئيسة

- يُعبر عن سرعة جسم يتحرك في مدار دائري بالقانون:

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

- يُعبر عن الزمن الدوري لقمر اصطناعي يتحرك في مدار دائري بالعلاقة:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$$

- كل الأجسام لها مجالات جاذبية تحيط بها. $g = \frac{Gm}{r^2}$
- كتلتا القصور والجاذبية مفهومان مختلفان، إلا أنهما متساويان في مقدار الكتلتين.

$$m_{\text{القصور}} = \frac{F_{\text{محصلة}}}{a} \qquad m_{\text{الجاذبية}} = \frac{r^2 F_{\text{الجاذبية}}}{Gm}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

خريطة المفاهيم

19. كوّن خريطة مفاهيمية مستعملاً هذه المصطلحات: كواكب، نجوم، قانون نيوتن للجذب الكوني، القانون الأول لكبلر، القانون الثاني لكبلر، القانون الثالث لكبلر.

إتقان المفاهيم

20. تتحرك الأرض في مدارها خلال الصيف ببطء في نصفها الشمالي أكبر ممّا هي عليه في الشتاء، فهل هي أقرب إلى الشمس في الصيف أم في الشتاء؟ (7-1)

21. هل المساحة التي تمسحها الأرض في وحدة الزمن (m^2/s) عند دورانها حول الشمس تساوي المساحة التي يمسحها المريخ في وحدة الزمن (m^2/s) عند دورانه حول الشمس؟ (7-1)

22. لماذا اعتقد نيوتن أن هناك قوة تؤثر في القمر؟ (7-1)

23. كيف أثبت كافندش وجود قوة جاذبية بين جسمين صغيرين؟ (7-1)

24. ماذا يحدث لقوة الجذب بين كتلتين عند مضاعفة المسافة بينهما؟ (7-1)

25. ما الذي يحافظ على القمر الاصطناعي فوقنا؟ وضح ذلك. (7-2)

26. يدور قمر اصطناعي حول الأرض. أي العوامل الآتية تعتمد عليها سرعته؟ (7-2)

a. كتلة القمر.

b. البعد عن الأرض.

c. كتلة الأرض.

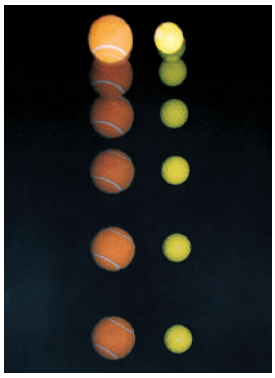
27. ما مصدر القوة التي تسبب التسارع المركزي لقمر اصطناعي في مداره؟ (7-2)

28. بيّن أن وحدات g في المعادلة $g = F/m$ هي m/s^2. (7-2)

29. لو كانت كتلة الأرض ضعف ما هي عليه مع بقاء حجمها ثابتًا، فماذا يحدث لقيمة g؟ (7 - 2)

تطبيق المفاهيم

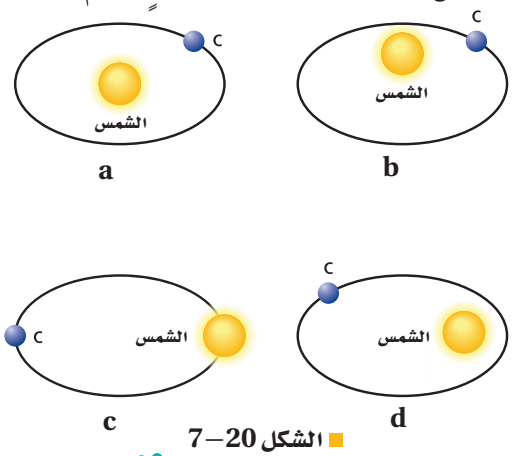
30. **كرة التنس** قوة الجاذبية التي تؤثر في جسم ما قرب سطح الأرض تتناسب مع كتلة الجسم. يبين **الشكل 19-7** كرة تنس وكرة تنس طاولة في حالة سقوط حر. لماذا لا تسقط كرة التنس بسرعة أكبر من كرة تنس الطاولة؟



الشكل 19-7

31. ما المعلومات التي تحتاج إليها لإيجاد كتلة المشتري باستعمال صيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر؟

32. قرّر إذا كان كل مدار من المدارات الموضحة في **الشكل 20-7** مدارًا ممكنًا لكوكبٍ ما أم لا.



الشكل 20-7

33. يجذب القمر والأرض كل منهما الآخر، فهل تجذب الأرض ذات الكتلة الأكبر القمر بقوة أكبر من قوة جذب القمر لها؟ فسّر ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تقويم الفصل 7

34. ماذا يحدث للثابت G إذا كانت كتلة الأرض ضعف قيمتها، وبقي حجمها ثابتًا؟

35. إذا ارتفع مكوك فضاء إلى مدار أبعد من مداره، فماذا يحدث لزمنه الدوري؟

36. كتلة المشتري أكبر 300 مرة من كتلة الأرض، ونصف قطره أكبر عشر مرات من نصف قطر الأرض. احسب بالتقريب قيمة g على سطح المشتري.

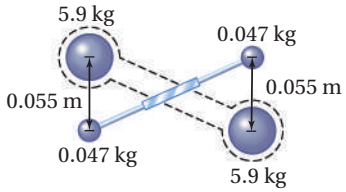
37. إذا ضاعفنا كتلة تخضع لمجال الأرض الجاذبي، فماذا يحدث للقوة التي يولدها هذا المجال على هذه الكتلة؟

إتقان حل المسائل

7–1 حركة الكواكب والجاذبية

38. المشتري أبعد من الأرض عن الشمس 5.2 مرة. احسب الزمن الدوري له بالسنوات الأرضية.

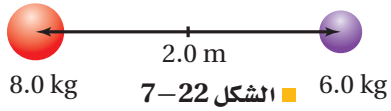
39. يبين **الشكل 7–21** جهاز كافندش المستعمل في حساب G. وهناك كتلة رصاص كبيرة 5.9 kg وكتلة صغيرة 0.047 kg، المسافة بين مركزيهما 0.055 m، احسب قوة التجاذب بينهما.



الشكل 7–21

40. باستعمال **الجدول 1–7**، احسب القوة التي تؤثر بها الشمس في المشتري.

41. إذا كان البعد بين مركزي كرتين 2.0 m، كما في **الشكل 22–7**. وكانت كتلة إحداهما 8.0 kg وكتلة الأخرى 6.0 kg، فما قوة الجاذبية بينهما؟



الشكل 7–22

42. كرتان متماثلتان، كتلة كل منهما 6.8 kg، والبعد بين مركزيهما 21.8 cm. ما قوة الجاذبية التي تؤثر بها كل منهما في الأخرى؟ (2–7)

43. إذا كانت قوة الجاذبية بين إلكترونين البعد بينهما 1.00 m تساوي 5.54×10^{-71} N، فاحسب كتلة الإلكترون.

44. **أورانوس** يحتاج أورانوس إلى 84 سنة ليدور حول الشمس. احسب نصف قطر مدار أورانوس بدلالة نصف قطر مدار الأرض.

45. كرتان المسافة بين مركزيهما 2.6 m، وقوة الجاذبية بينهما 2.75×10^{-12} N. ما كتلة كل منهما إذا كانت كتلة إحداهما ضعف كتلة الأخرى؟

46. تُقاس المساحة بوحدة m^2، لذا فإن المعدل الزمني للمساحة التي يمسحها كوكب أو قمر هي m^2/s.

a. ما معدل المساحة (m^2/s) التي تمسحها الأرض في مدارها حول الشمس؟

b. ما معدل المساحة (m^2/s) التي يمسحها القمر في مداره حول الأرض؟ افترض أن متوسط المسافة بين الأرض والقمر 3.9×10^8 m، والزمن الدوري للقمر حول الأرض 27.33 يومًا.

7–2 استخدام قانون الجذب الكوني

47. كتاب كتلته 1.25 kg ووزنه في الفضاء 8.35 N، ما قيمة المجال الجاذبي في ذلك المكان؟

48. إذا كانت كتلة القمر 7.34×10^{22} kg وبُعد مركزه عن مركز الأرض 3.8×10^8 m، وكتلة الأرض 5.97×10^{24} kg، فاحسب:

a. مقدار قوة الجذب الكتلي بينهما.

b. مقدار مجال الجاذبية للأرض على القمر.

49. إذا كان وزن أخيك الذي كتلته 91 kg على سطح القمر هو 145.6 N، فما قيمة مجال الجاذبية للقمر على سطحه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

تقويم الفصل 7

50. رائد فضاء إذا كانت كتلة رائد فضاء 80 kg، وقد فقد 25% من وزنه عند نقطة في الفضاء، فما شدة مجال جاذبية الأرض عند هذه النقطة؟

مراجعة عامة

51. استعمل البيانات الخاصة بالأرض في **الجدول 1-7** لحساب كتلة الشمس باستخدام صيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر.

52. استعمل البيانات في **الجدول 1-7** لحساب مقدار السرعة والزمن الدوري لقمر اصطناعي يدور حول المريخ على ارتفاع 175 km من سطحه.

53. ما سرعة دوران كوكب بحجم الأرض وكتلتها، بحيث يبدو الجسم الموضوع على خط الاستواء عديم الوزن؟ أوجد الزمن الدوري للكوكب بالدقائق.

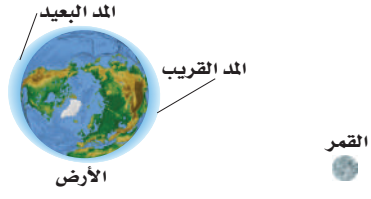
التفكير الناقد

54. حلل واستنتج يقول بعض الناس إن المد الذي يحدث للماء على سطح الأرض تسببه قوة سحب من القمر. هل هذه العبارة صحيحة؟

a. أوجد القوى التي تؤثر بها الشمس والقمر في كتلة m من الماء على سطح الأرض. اجعل إجابتك بدلالة m.

b. أي الجسمين يجذب الماء الموجود على سطح الأرض بقوة أكبر: الشمس أم القمر؟

c. أوجد الفرق بين القوتين اللتين يؤثر بهما القمر في الماء الموجود على سطح الأرض القريب منه، والبعيد عنه، كما يبين **الشكل 23-7**، وذلك بدلالة الكتلة m.



الشكل 23-7

d. أوجد الفرق بين القوتين اللتين تؤثر بهما الشمس في الماء الموجود على سطح الأرض، القريب منها، والبعيد عنها.

e. أيّ الجسمين- الشمس أم القمر- له فرق كبير بين القوتين اللتين يسببهما على الماء الموجود على سطح الأرض، القريب منه والسطح البعيد عنه؟

f. لماذا تُعد العبارة الآتية مضلّلة: "ينتج المد عن قوة جذب من القمر"؟ استبدل بها عبارة صحيحة توضح كيف يسبب القمر ظاهرة المدّ على الأرض.

الكتابة في الفيزياء

55. اكتب نبذة عن التطور التاريخي لقياس البعد بين الشمس والأرض.

56. استكشف جهود الفلكيين في اكتشاف كواكب حول نجوم أخرى غير الشمس، وما الطرائق التي استعملها الفلكيون؟ وما القياسات التي أجروها وحصلوا عليها؟ وكيف استعملوا القانون الثالث لكبلر؟

مراجعة تراكمية

57. الطائرات أقلعت طائرة من مدينة الدمام عند الساعة 2:20 بعد الظهر، وحطت في مطار الرياض عند الساعة 3:15 بعد الظهر من اليوم نفسه. فإذا كان متوسط سرعة الطائرة في الهواء 441.0 km/h، فما مقدار المسافة بين المدينتين؟

58. حشرة البطاطس تدور حشرة كتلتها 1.0 g حول الحافة الخارجية لقرص قطره 17.2 cm بسرعة 0.63 cm/s. ما مقدار القوة المركزية المؤثرة في الحشرة؟ وما المصدر الذي يسبب هذه القوة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. قمران في مداريهما حول كوكب؛ نصف قطر مدار أحدهما $8.0\times10^{6}\ m$ وزمنه الدوري $1.0\times10^{6}\ s$، ونصف قطر مدار القمر الثاني $2.0\times10^{7}\ m$. ما الزمن الدوري للقمر الثاني؟

(A) $5.0\times10^{5}\ s$ (C) $4.0\times10^{6}\ s$

(B) $2.5\times10^{6}\ s$ (D) $1.3\times10^{7}\ s$

2. يبين الرسم الآتي قمرًا نصف قطر مداره $6.7\times10^{4}\ km$ ومقدار سرعته $2.0\times10^{5}\ m/s$، يدور حول كوكب صغير. ما كتلة الكوكب الذي يدور حوله القمر؟

(A) $2.5\times10^{18}\ kg$ (C) $2.5\times10^{23}\ kg$

(B) $4.0\times10^{20}\ kg$ (D) $4.0\times10^{28}\ kg$

3. قمران في مداريهما حول كوكب ما. فإذا كانت كتلة القمر A تساوي $1.5\times10^{2}\ kg$، وكتلة القمر B تساوي $4.5\times10^{3}\ kg$، وكتلة الكوكب $6.6\times10^{24}\ kg$، وكان لمداريهما نصف القطر نفسه وهو $6.8\times10^{6}\ m$، فما الفرق بين الزمنين الدوريين للقمرين؟

(A) لا يوجد فرق (C) $2.2\times10^{2}\ s$

(B) $1.5\times10^{2}\ s$ (D) $3.0\times10^{2}\ s$

4. يدور قمر حول كوكب بسرعة مقدارها $9.0\times10^{3}\ m/s$، فإذا كانت المسافة بين مركزي القمر والكوكب $5.4\times10^{6}\ m$، فما الزمن الدوري للقمر؟

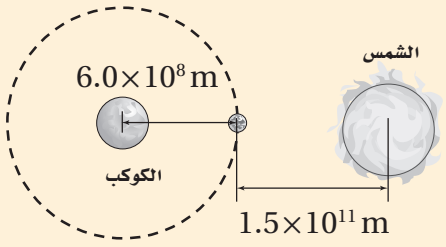
(A) $1.2\ \pi\times10^{2}\ s$ (C) $1.2\ \pi\times10^{3}\ s$

(B) $6.0\ \pi\times10^{2}\ s$ (D) $1.2\ \pi\times10^{9}\ s$

5. يدور قمر حول كوكب، ويخضع في أثناء ذلك لقوة جذب من الكوكب وقوة جذب من الشمس أيضًا. يبين الرسم أدناه القمر في حالة كسوف الشمس عندما يكون الكوكب والقمر والشمس على خط واحد. فإذا كانت كتلة القمر $3.9\times10^{21}\ kg$، وكتلة الكوكب $2.4\times10^{26}\ kg$، وكتلة الشمس $2.0\times10^{30}\ kg$، وبُعد القمر عن مركز الكوكب $6.0\times10^{8}\ m$، وبُعد القمر عن مركز الشمس $1.5\times10^{11}\ m$، فما النسبة بين قوة الجاذبية التي يؤثر بها الكوكب في القمر وقوة الجاذبية التي تؤثر بها الشمس في القمر خلال كسوف الشمس؟

(A) 0.5 (C) 5.0

(B) 2.5 (D) 7.5



الأسئلة الممتدة

6. قمران في مداريهما حول كوكب، فإذا كان القمر S_1 يستغرق 20 يومًا ليدور حول الكوكب ويبعد عن مركزه $2\times10^{5}\ km$، في حين أن القمر S_2 يستغرق 160 يومًا، فما بُعد القمر S_2 عن مركز الكوكب؟

إرشاد

خطّط لعملك ونفّذ خطتك

خطِّط لعملك بحيث تعمل قليلاً ولكن بشكل يومي منتظم، بدلاً من عمل الكثير في وقت واحد؛ فمفتاح فهم وحفظ المعلومات يكون بتكرار المراجعة والممارسة. فإذا درست ساعة واحدة في الليلة خمسة أيام متتالية سيكون فهم المعلومات وحفظها أفضل من الاعتكاف على الدراسة طوال الليل قبل الاختبار.

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

دليل الرياضيات

I. الرموز symbols

Δ	التغير في الكمية	$a \times b$ ab $a(b)$	a مضروبة في b
$\pm$	زائد أو ناقص الكمية		
$\propto$	يتناسب مع		
$=$	يساوي	$a \div b$ a/b $\frac{a}{b}$	a مقسومة على b
$\approx$	تقريبًا يساوي		
$\cong$	يُكافئ	$\sqrt{a}$	الجذر التربيعي لـ a
$\leq$	أقل من أو يساوي	$\lvert a \rvert$	القيمة المطلقة لـ a
$\geq$	أكبر من أو يساوي	$\log_b x$	لوغاريتم x بالنسبة إلى الأساس b
$<<$	أقل جدًّا من		
$\equiv$	يعرف كـ		

II. القياسات والأرقام المعنوية Measurement and Significant Digits

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء تعد الرياضيات لغة الفيزياء؛ فباستعمال الرياضيات يستطيع الفيزيائيون وصف العلاقات بين مجموعة من القياسات عن طريق المعادلات. ويرتبط كل قياس مع رمز معين في المعادلات الفيزيائية، وتسمى هذه الرموز المتغيرات.

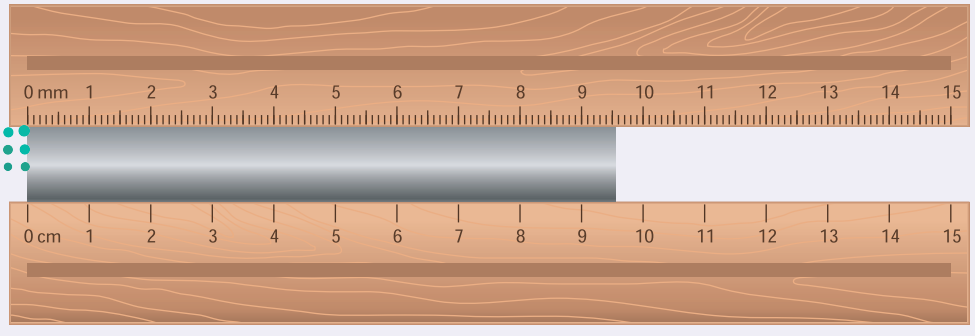
الأرقام المعنوية Significant Digits

إن جميع القياسات تقريبية وتُمثل بأرقام معنوية، بحيث يعبر عدد الأرقام المعنوية عن الدقة في القياس. وتعد الدقة مقياسًا للقيمة الحقيقية. ويعتمد عدد الأرقام المعنوية في القياس على الوحدة الصغرى في أداة القياس. ويكون الرقم الأبعد إلى اليمين في نتيجة القياس مقدَّرًا.

مثال: ما الرقم المقدَّر لكل من مسطرة قياس موضحة في الشكل أدناه والمستخدمة لقياس طول القضيب الفلزي؟

باستعمال أداة القياس السفلية نجد أن طول القضيب الفلزي بين 9 cm و 10 cm لذلك فإن القياس سوف يقدَّر إلى أقرب جزء عشري من السنتمتر. وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9 cm أو 10 cm فإنه يجب عليك تسجيل نتيجة القياس 9.0 cm أو 10.0 cm.

أما عند استعمال أداة القياس العليا فإن نتيجة القياس تقع بين 9.5 cm و 9.6 cm، لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء مئوي من السنتمتر، وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9.5 cm أو 9.6 cm فيجب عليك تسجيل القياس 9.50 cm أو 9.60 cm



دليل الرياضيات

كل الأرقام غير الصفرية في القياسات أرقام معنوية. وبعض الأصفار أرقام معنوية، وبعضها ليست معنوية، وكل الأرقام من اليسار وحتى الرقم الأخير من اليمين والمتضمنة الرقم الأول غير الصفري تعد أرقامًا معنوية.

استعمل القواعد الآتية عند تحديد عدد الأرقام المعنوية:

1. الأرقام غير الصفرية أرقام معنوية.
2. الأصفار الأخيرة بعد الفاصلة العشرية أرقام معنوية.
3. الأصفار بين رقمين معنويين أرقام معنوية.
4. الأصفار التي تستعمل بهدف حجز منازل فقط هي أرقام ليست معنوية.

مثال: حدّد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

5.0 g يتضمن رقمين معنويين	استعمال القاعدتين 1و2
14.90 g يتضمن أربعة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و2
0.0 يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا	استعمال القاعدتين 2و4
300.00 mm يتضمن خمسة أرقام معنوية	استعمال القواعد 1و2و3
5.06 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
304 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
0.0060 mm يتضمن رقمين معنويين (6 والصفر الأخير)	استعمال القواعد 1و2و4
140 mm يتضمن رقمين معنويين (1و4 فقط)	استعمال القاعدتين 1و4

مسائل تدريبية

1. حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

a. 1405 m	**d.** 12.007 kg
b. 2.50 km	**e.** 5.8×10^{6} kg
c. 0.0034 m	**f.** 3.03×10^{-5} ml

هناك حالتان تعد الأعداد فيهما دقيقة:

1. الأرقام الحسابية، وتتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.
2. معاملات التحويل، وتتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

دليل الرياضيات

التقريب Rounding

يمكن تقريب العدد إلى خانة (منزلة) معينة (مثل المنزلة المئوية أو العشرية) أو إلى عدد معين من الأرقام المعنوية. وحتى تقوم بذلك حدّد المنزلة المراد تقريبها، ثم استعمل القواعد الآتية:

1. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أقل من 5، فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ويبقى الرقم الأخير في العدد المقرّب دون تغيير.

2. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أكبر من 5 فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ويزيد الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.

3. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه هو 5 متبوعًا برقم غير صفري فإنه يتم إسقاط ذلك الرقم والأرقام الأخرى التي تليه، ويزيد الرقم الأخير في العدد المقرَّب بمقدار واحد.

4. إذا كان الرقم الواقع عن يمين الرقم المعنوي الأخير المراد التقريب إليه يساوي 5 ومتبوعًا بالصفر، أو لا يتبعه أي أرقام أخرى فانظر إلى الرقم المعنوي الأخير، فإذا كان فرديًّا فزده بمقدار واحد، وإذا كان زوجيًّا فلا تزده.

أمثلة: قرّب الأرقام الآتية للعدد المعيّن إلى الأرقام المعنوية:

8.7645 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.76	استعمال القاعدة 1
8.7676 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.77	استعمال القاعدة 2
8.7519 تقريبه إلى رقمين معنويين ينتج 8.8	استعمال القاعدة 3
92.350 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.4	استعمال القاعدة 4
92.25 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.2	استعمال القاعدة 4

مسائل تدريبية

2. قرّب كل رقم إلى عدد الأرقام المعنوية المتضمنة بين الأقواس الآتية:

a. 1405 m (2)　　**c.** 0.0034 m (1)

b. 2.50 km (2)　　**d.** 12.007 kg (3)

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية Operations with Significant Digits

عندما تستعمل الآلة الحاسبة نفّذ العمليات الحسابية بأكبر قدر من الدقة التي تسمح بها الآلة الحاسبة، ثم قرب النتيجة إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية. يعتمد عدد الأرقام المعنوية في النتيجة على القياسات وعلى العمليات التي تجريها.

الجمع والطرح Addition and subtraction

انظر إلى الأرقام عن يمين الفاصلة العشرية، وقرّب النتيجة إلى أصغر قيمة دقيقة بين القياسات، وهو العدد الأصغر من الأرقام الواقعة عن يمين الفاصلة العشرية.

مثال: اجمع الأعداد 1.456 m ، 4.1 m و 20.3 m

القيم الأقل دقة هي 4.1 m و 20.3 m؛ لأن كلتيهما تتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا فقط يقع عن يمين الفاصلة العشرية.

اجمع الأعداد

$$\begin{array}{r} 1.456\ \text{m} \\ 4.1\ \text{m} \\ +20.3\ \text{m} \\ \hline 25.856\ \text{m} \end{array}$$

وفي النتيجة تكون دقة حاصل عملية الجمع هي دقة الرقم المُضاف الأقل دقة.

قرب النتيجة إلى القيمة الكبرى 25.9m

الضرب و القسمة Multiplication and division

حدد عدد الأرقام المعنوية في كل عملية قياس. ونفذ العملية الحسابية، ثم قرّب النتيجة بحيث يكون عدد الأرقام المعنوية فيها مساويًا لتلك الموجودة في قيمة القياس ذي الأرقام المعنوية الأقل.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكميتين 20.1 m و 3.6 m

$$(20.1\,\text{m})(3.6\,\text{m})=72.36\,\text{m}^2$$

القيمة الصغرى الدقيقة هي 3.6 m التي تتضمن رقمين معنويين. وحاصل عملية الضرب يجب أن يتضمن فقط عدد الأرقام المعنوية في العدد ذي الأرقام المعنوية الأقل.

قرّب النتيجة إلى رقمين معنويين 72 m

مسائل تدريبية

3. بسّط التعابير الرياضية الآتية مستعملًا العدد الصحيح من الأرقام المعنوية:

a. $2.33\,\text{km} + 3.4\,\text{km} + 5.012\,\text{km}$

b. $45\,\text{g} - 8.3\,\text{g}$

c. $3.40\,\text{cm} \times 7.125\,\text{cm}$

d. $54\,\text{m} \div 6.5\,\text{s}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

المجاميع Combination

عند إجراء الحسابات التي تتضمن عمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة استعمل قاعدة عملية الضرب/ عملية القسمة.

أمثلة:

$$d=19\ m + (25.0\ m/s)(2.50\ s) + \frac{1}{2}\ (-10.0\ m/s^2)(2.50)^2$$

$$= 5.0 \times 10^1\ m$$

المقدار 19 m يتضمن رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن النتيجة رقمين معنويين.

$$m\ (\text{الميل}) = \frac{70.0\ m - 10.0\ m}{29\ s - 11\ s}$$

$$= 3.3\ m/s$$

29 s و 11 s يتضمن كل منهما رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن الإجابة رقمين معنويين فقط.

الحسابات المتعددة الخطوات Multistep Calculation

لا تُجرِ عملية تقريب الأرقام المعنوية خلال إجراء الحسابات المتعددة الخطوات. وبدلاً من ذلك قم بالتقريب إلى العدد المعقول من المنازل العشرية، بشرط ألا تفقد دقة إجابتك. وعندما تصل إلى الخطوة النهائية في الحل عليك أن تقرّب الجواب إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

مثال:

لا تُجرِ التقريب إلى $580N^2$ و $1300N^2$

لا تُجرِ التقريب إلى $1800N^2$

النتيجة النهائية، هنا يجب أن نقرّب إلى رقمين معنويين

$$F = \sqrt{(24\ N)^2 + (36\ N)^2}$$

$$\sqrt{576\ N^2 + 1296\ N^2}$$

$$= \sqrt{1872\ N^2}$$

$$= 43\ N$$

III. إجراء العمليات باستخدام الأسس Operations With Exponents

لإجراء العمليات الآتية باستخدام الأسس فإن كلًّا من a ، b يمكن أن يكونا أرقامًا أو متغيرات.

ضرب القوى: لإجراء عملية ضرب حدود لها الأساس نفسه اجمع الأسس، كما هو موضح في الصيغة الآتية:

$(a^m)(a^n) = a^{m+n}$

قسمة القوى: لإجراء عملية قسمة حدود لها الأساس نفسه اطرح الأسس، كما هو موضح في الصيغة الآتية:

$a^m / a^n = a^{m-n}$

القوة مرفوعة لقوة: لايجاد ناتج قوة مرفوعة لقوة استخدم الأساس نفسه واضرب الأسس معًا، كما هو موضح في الصفحة الآتية: $(a^m)^n = a^{mn}$

الجذر مرفوع لقوة: لإيجاد ناتج جذر مرفوع لقوة استخدم الأساس نفسه وقسّم أس القوة على أس الجذر، كما هو موضح في الصيغة الآتية: $\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n}$

القوة لحاصل الضرب: لإيجاد القوة لحاصل الضرب a و b ، ارفع كليهما للقوة نفسها، ثم أوجد حاصل ضربهما معًا، كما في $(ab)^n = a^n b^n$

مسائل تدريبية

4. اكتب الصيغة المكافئة مستعملًا خصائص الأسس.

a. $x^2 t / x^3$ **b.** $\sqrt{t^3}$ **c.** $(d^2 n)^2$ **d.** $x^2 \sqrt{x}$

5. بسّط $\frac{m}{q}\sqrt{\frac{2qv}{m}}$

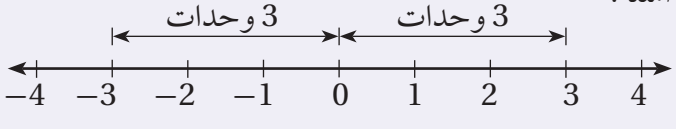
القيمة المطلقة Absolute Value

إن القيمة المطلقة للرقم n عبارة عن قيمته بغض النظر عن إشارته. وتكتب القيمة المطلقة للرقم n على صورة $|n|$، ولأن المقادير لا تكون أقل من الصفر فإن القيم المطلقة دائمًا أكبر من صفر أو تساوي صفرًا.

أمثلة:

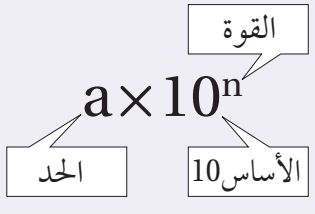
$|3| = 3$

$|-3| = 3$



IV. التعبير العلمي Scientific Notation

إن الرقم على الصيغة $a \times 10^n$ مكتوب بدلالته العلمية، حيث $1 \le a \le 10$، والرقم n عدد صحيح. الأساس 10 مرفوع للقوة n والحد a يجب أن يكون أقل من 10.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

دليل الرياضيات

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون الدلالة العلمية مع القياسات التي تزيد على 10 أو الأقل من 1 للتعبير عنها، والمقارنة بينها، وحسابها. فمثلاً تكتب كتلة البروتون على صورة 6.73×10^{-28} kg، وتكتب كثافة الماء على الصورة 1.000×10^{3} kg/m³ وهذا يوضح استعمال قواعد الأرقام المعنوية، حيث يساوي هذا القياس 1000 تمامًا، وذلك لأربعة أرقام معنوية. لذا عند كتابة كثافة الماء على الصورة 1000 kg/m³ فهذا يشير إلى أن الرقم يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا، وهذا غير صحيح. لقد ساعدت الدلالة العلمية الفيزيائيين على الحفاظ على المسار الدقيق للأرقام المعنوية.

الأرقام الكبيرة، واستخدام الأسس الموجبة Large Numbers – Using Positive Exponents

إن عملية الضرب للقوة 10 تشبه تمامًا عملية تحريك النقطة العشرية لنفس عدد المنازل إلى يسار العدد (إذا كانت القوة سالبة) أو إلى اليمين (إذا كانت القوة موجبة). وللتعبير عن الرقم الكبير في الدلالة العلمية حدد أولاً قيمة الحد a، $1 \le a < 10$، ثم عد المنازل العشرية من النقطة العشرية في الحد a لغاية النقطة العشرية في العدد. ثم استعمل العدد كقوة للرقم 10. وتبين الآلة الحاسبة الدلالة العلمية باستعمال e للأسس كما في $2.4 \text{ e+}11 = 2.4 \times 10^{11}$ وبعض الآلات الحاسبة تستخدم E لتبيان الأس أو يوجد غالبًا على الشاشة موضع مخصص، حيث تظهر أرقام ذات أحجام صغيرة نسبيًّا لتمثل الأسس في الآلة الحاسبة.

مثال: اكتب 7,530,000 بدلالته العلمية.

إن قيمة a هي 7.53 (النقطة العشرية عن يمين أول رقم غير صفري)، لذلك سيكون الشكل في صورة 7.53×10^{n}.

هناك ست منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 6 $7{,}530{,}000 = 7.53 \times 10^{6}$

لكتابة الصورة القياسية للرقم المعبَّر عنه بدلالته العلمية اكتب قيمة a، وضع أصفارًا إضافية عن يمين الرقم. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية للرقم a عدة منازل إلى اليمين.

مثال: اكتب الرقم الآتي في صورته القياسية $2.389 \times 10^{5} = 2.38900 \times 10^{5} = 238{,}900$

إجراء العمليات الرياضية بدلالتها العلمية Operations with Scientific Notation

لإجراء العمليات الرياضية للأرقام المعبّر عنها بدلالتها العلمية نستخدم خصائص الأسس.

عملية الضرب أوجد حاصل عملية ضرب الحدود، ثم اجمع القوى للأساس 10.

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $(4.0 \times 10^{-8})\ (1.2 \times 10^{5}) = (4.0 \times 1.2)\ (10^{-8} \times 10^{5})$

أوجد حاصل ضرب الحدود $= (4.8)\ (10^{-8+5})$

اجمع القوى للأساس 10 $= (4.8)\ (10^{-3})$

أعد صياغة النتيجة بدلالتها العلمية $= 4.8 \times 10^{-3}$

عملية القسمة قم بإجراء عملية قسمة الأرقام الممثلة للقواعد، ثم اطرح أسس الأساس 10.

مثال: بسّط

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $\frac{9.60 \times 10^{7}}{1.60 \times 10^{3}} = \left(\frac{9.60}{1.60}\right) \times \left(\frac{10^{7}}{10^{3}}\right)$

قسّم الحدود واطرح القوس للأساس 10 $= 6.00 \times 10^{7-3}$

$= 6.00 \times 10^{4}$

عمليتا الجمع والطرح إن إجراء عملية الجمع وعملية الطرح للأرقام بدلالتها العلمية هي عملية تحدٍّ أكبر؛ لأن قوى الأساس 10 يجب أن تكون متماثلة لكي تستطيع جمع أو طرح الأرقام. وهذا يعني أن أحد تلك الأرقام يمكن أن يحتاج إلى إعادة كتابته بدلالة قوة مختلفة للأساس 10 بينما إذا كانت القوى للأساس 10 متساوية فاستعمل الخاصية التوزيعية للأعداد.

مثال: بسّط

جمّع الحدود $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^5) = (3.2+4.8)\times10^5$

اجمع الحدود $= 8.0\times10^5$

مثال: بسّط

أعد كتابة 4.8×10^4 على صورة 0.48×10^5 $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^4) = (3.2\times10^5)+ (0.48\times10^5)$

جمّع الحدود $= (3.2+0.48)\times10^5$

اجمع الحدود $= 3.68\times10^5$

قرّب النتيجة مستعملًا قاعدة الجمع / الطرح للأرقام المعنوية. $= 3.7\times10^5$

V. المعادلات Equations

ترتيب العمليات Order of Operations

اتفق العلماء والرياضيون على مجموعة من الخطوات أو القواعد، وتسمى ترتيب العمليات، لذلك يفسّر كل شخص الرموز الرياضية بالطريقة نفسها.

اتّبع هذه الخطوات بالترتيب عندما تريد تقدير نتيجة تعبير رياضي أو عند استخدام صيغة رياضية معينة.

1. بسّط التعابير الرياضية داخل الرموز التجميعية، مثل القوسين ( )، والقوسين المعقوفين [ ]، والأقواس المزدوجة { }، وأعمدة الكسر.
2. قدّر قيمة جميع القوى والجذور.
3. نفّذ جميع عمليات الضرب و / أو جميع عمليات القسمة من اليسار إلى اليمين.
4. نفّذ جميع عمليات الجمع و / أو جميع عمليات الطرح من اليسار إلى اليمين.

مثال: بسّط التعبير الآتي:

الخطوة 1 ترتيب العمليات $4+3\,(4-1)-2^3 = 4+3\,(3)-2^3$

الخطوة 2 ترتيب العمليات $=4+3\,(3)-8$

الخطوة 3 ترتيب العمليات $=4+9-8$

الخطوة 4 ترتيب العمليات $= 5$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يوضح المثال السابق تنفيذ عملية ترتيب العمليات خطوة بخطوة. فعند حل المسائل الفيزيائية لا تُجرِ عملية التقريب للرقم الصحيح للأرقام المعنوية إلا بعد حساب النتيجة النهائية. في حالة الحسابات التي تتضمن تعابير رياضية في البسط وتعابير رياضية في المقام عليك معاملة كل من البسط والمقام

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

بوصفهما مجموعتين منفصلتين، ثم جد نتيجة كل مجموعة قبل أن تجري عملية قسمة البسط على المقام، لذلك فإن قاعدة الضرب / القسمة تستخدم لحساب الرقم النهائي للأرقام المعنوية.

حل المعادلات Solving Equations

إن حل المعادلة يعني إيجاد قيمة المتغير الذي يجعل المعادلة تعبيرًا رياضيًّا صحيحًا. وعند حل المعادلات طبّق خاصية التوزيع وخصائص التكافؤ، وإذا طبقت أيًّا من خصائص المتكافئات في أحد طرفي المعادلة وجب أن تطبق الخصائص نفسها في الطرف الآخر.

الخاصية التوزيعية لأي من الأعداد a ، b ، c يكون:

$a\,(b+c) = ab+ac$ $\qquad$ $a\,(b-c) = ab-ac$

مثال: استعمل الخاصية التوزيعية لتفكيك التعابير الآتية:

$$3\,(x+2) = 3\,x + (3)\,(2)$$
$$= 3\,x + 6$$

خصائص الجمع والطرح للمتكافئات إذا تساوت كميتان وأضيف العدد نفسه أو طرح العدد نفسه من كليهما، فإن الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

مثال: حل المعادلة $x-3=7$ مستعملًا خاصية الجمع

$$x-3 = 7$$
$$x-3+3 = 7+3$$
$$x=10$$

مثال: حل المعادلة $t+2 = -5$ مستعملًا خاصية الطرح

$$t+2 = -5$$
$$t+2-2 = -5-2$$
$$t = -7$$

خصائص الضرب والقسمة للمتكافئات إذا ضربت أو قسمت كميتين متساويتين في/ على العدد نفسه، فستكون الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

$$a\,c = b\,c$$
$$\frac{a}{c} = \frac{b}{c}\text{, for } c \neq 0$$

مثال: حل المعادلة $\frac{1}{4}\,a = 3$ مستعملًا خاصية الضرب

$$\frac{1}{4}\,a = 3$$
$$(\frac{1}{4}\,a)\,(4) = 3\,(4)$$
$$a = 12$$

مثال: حل المعادلة $6\,n = 18$ مستخدمًا خاصية القسمة

$$6\,n = 8$$
$$\frac{18}{6} = \frac{6n}{6}$$
$$n = 3$$

مثال: حل المعادلة $2\,t + 8 = 5\,t - 4$ بالنسبة للمتغير t

$$2\,t + 8 = 5\,t - 4$$
$$8 + 4 = 5\,t - 2\,t$$
$$12 = 3\,t$$
$$4 = t$$

فصل المتغير Isolating a Variable

افترض معادلة تتضمن أكثر من متغير، لفصل المتغير- وذلك لحل المعادلة بالنسبة لذلك المتغير- اكتب المعادلة المكافئة بحيث يتضمن كل طرف متغيرًا ذا معامل 1.

الرياضيات في الفيزياء افصل المتغير P (الضغط) في معادلة قانون الغاز المثالي.

$$PV = nRT$$

قسّم طرفي المعادلة على v
$$\frac{PV}{V} = \frac{nRT}{V}$$

جمّع $(\frac{V}{V})$
$$P(\frac{V}{V}) = \frac{nRT}{V}$$

بالتعويض عن $\frac{V}{V} = 1$
$$P = \frac{nRT}{V}$$

مسائل تدريبية

6. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $2 + 3x = 17$
b. $x - 4 = 2 - 3x$
c. $t - 1 = \frac{x+4}{3}$
d. $a = \frac{b+x}{c}$
e. $6 = \frac{2x+3}{x}$
f. $ax + bx + c = d$

الجذور التربيعية والجذور التكعيبية Square and Cube Roots

الجذر التربيعي للرقم يساوي أحد معامليه الاثنين المتساويين. ويعبّر الرمز الجذري $\sqrt{\ }$ ، عن الجذر التربيعي. ويمكن أن يُعبّر عن الجذر التربيعي بالأس $\frac{1}{2}$ كما في $\sqrt{b} = b^{\frac{1}{2}}$. ويمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد قيمة الجذور التربيعية.

أمثلة: بسّط حدود الجذور التربيعية الآتية:

$$\sqrt{a^2} = \sqrt{(a)(a)} = a$$
$$\sqrt{9} = \sqrt{(3)(3)} = 3$$

$$\sqrt{64} = \sqrt{(8.0)(8.0)} = 8.0$$

تتضمن الإجابة صفرًا عن يمين الفاصلة العشرية وذلك للإبقاء على رقمين معنويين.

$$\sqrt{38.44} = 6.200$$

ضع صفرين عن يمين إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على أربعة أرقام معنوية.

$$\sqrt{39} = 6.244997 = 6.2$$

قرّب إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على رقمين معنويين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

إن الجذر التكعيبي للرقم يمثل أحد معاملاته الثلاثة المتساوية. ويعبر الرمز الجذري $\sqrt[3]{\ }$ أي استعمال الرقم **3**، عن الجذر التكعيبي. كما يمكن تمثيل الجذر التكعيبي أيضًا في صورة أس $\frac{1}{3}$ كما في $\sqrt[3]{b} = b^{\frac{1}{3}}$.

مثال: بسّط حدود الجذر التكعيبي الآتية:

$$\sqrt[3]{125} = \sqrt[3]{(5.00)(5.00)(5.00)} = 5.00$$

$$\sqrt[3]{39.304} = 3.4000$$

المعادلات التربيعية Quadratic Equations

التعبير العام للمعادلة التربيعية $ax^2 + bx + c = 0$ ، حيث $a \neq 0$، وتتضمن المعادلة التربيعية متغيرًا واحدًا مرفوعًا للقوة (الأس) 2 بالإضافة إلى المتغير نفسه مرفوعًا للأس 1 . كما يمكن تقدير حلول المعادلة التربيعية بالتمثيل البياني باستعمال الآلة الحاسبة الراسمة بيانيًّا.

إذا كانت $b = 0$ فإن الحد a غير موجود في المعادلة التربيعية. يمكن حل المعادلة بفصل المتغير المربع، ثم إيجاد الجذر التربيعي لكل من طرفي المعادلة باستخدام خاصية الجذر التربيعي.

الصيغة التربيعية Quadratic Formula

إن حلول أي معادلة تربيعية يمكن إيجادها باستعمال الصيغة التربيعية، لذلك فإن حلول المعادلة $ax^2 + bx + c = 0$، حيث $a \neq 0$، تعطى من خلال المعادلة الآتية:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

وكما في حالة خاصية الجذر التربيعي من المهم الأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت حلول الصيغة التربيعية تعطيك الحل الصحيح للمسألة التي بصدد حلّها. عادة من الممكن إهمال أحد الحلول لكونه حلاً غير حقيقي. تتطلب حركة المقذوف غالبًا استعمال الصيغة التربيعية عند حل المعادلة، لذلك حافظ على واقعية الحل في ذهنك عند حل المعادلة.

مسائل تدريبية

7. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $4x^2 - 19 = 17$

b. $12 - 3x^2 = -9$

c. $x^2 - 2x - 24 = 0$

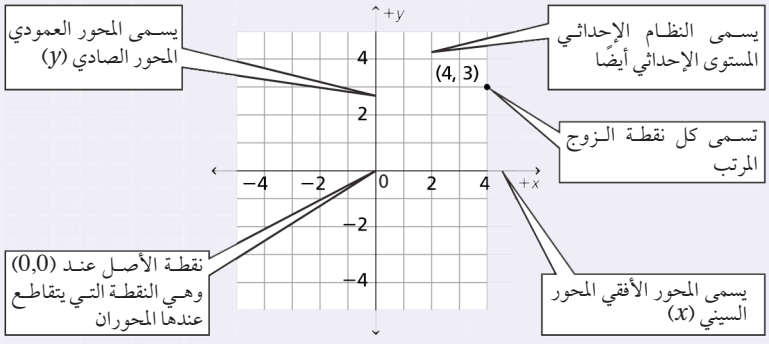
d. $24x^2 - 14x - 6 = 0$

دليل الرياضيات

VI. التمثيل البياني للعلاقات Graphs of Relations

المستوى الإحداثي (الديكارتي) The Coordinate Plane

تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مدرّجين متعامدين يطلق على كل منهما اسم المحور، ويسمى خط الأعداد الأفقي المحور السيني (x). أما خط الأعداد العمودي فيسمى المحور الصادي (y). ويمثل المحور السيني عادة المتغير المستقل (العامل الذي يُغيَّر أو يُعدَّل خلال التجربة)، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع (العامل الذي يعتمد على المتغير المستقل)، بحيث تُمثّل النقطة بإحداثيين (x,y) يسميان أيضًا الزوج المرتب. وتَرد دائمًا قيمة المتغير التابع (x) أولًا في الزوج المرتب الذي يمثل (0,0) نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.



استعمال التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Grahping Data to Determine Relationships

استعمل الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستعملًا أسماء المتغيرات.
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقّم المقاييس.
4. عيّن كل نقطة بيانيًّا.
5. عندما تبدو لك البيانات واقعة على خط مستقيم واحد ارسم الخط الأكثر ملاءمة خلال مجموعة النقاط. وعندما لا تقع النقاط على خط واحد ارسم منحنى بيانيًّا بسيطًا، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطًّا أو منحنًى.
6. اكتب عنوانًا يصف بوضوح ما يمثله الرسم البياني.

نوع الخدمة	ريال	دولار
الفندق (الإقامة)	1500	398
الوجبات	850	225
الترفيه	670	178
المواصلات	220	58

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

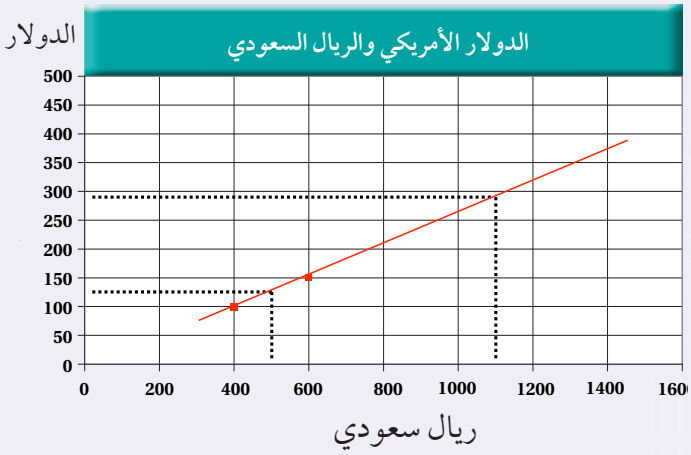
دليل الرياضيات

الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating

تستعمل طريقة الاستيفاء في تقدير قيمة تقع بين قيمتين معلومتين على الخط الممثل لعلاقة ما، في حين أن عملية تقدير قيمة تقع خارج مدى القيم المعلومة تسمى الاستقراء. إن معادلة الخط الممثل لعلاقة ما تساعدك في عمليتي الاستيفاء والاستقراء.

مثال: مستعينًا بالرسم البياني استعمل طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السّعْر) المقابلة لـ 500 ريال.

حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 500 (400 ريال، 600 ريال)، ثم ارسم خطًّا مستمرًّا يصل بينهما.



ارسم الآن خطًّا متقطعًا عموديًّا من النقطة (500 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه يتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولارًا.

مثال: استعمل الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 ريال.

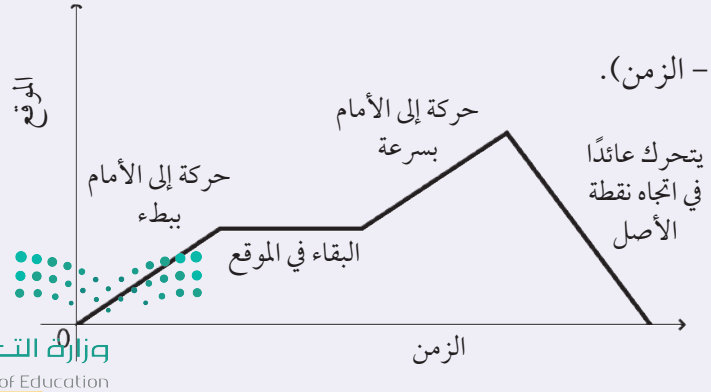
ارسم خطًّا متقطعًا من النقطة (1100 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال السابق، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا. ستجد أنه يتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولارًا.

تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graph

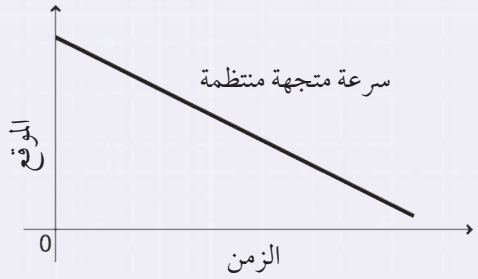
يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين. وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة تستخدم عادة في الفيزياء.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

a. يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع – الزمن).

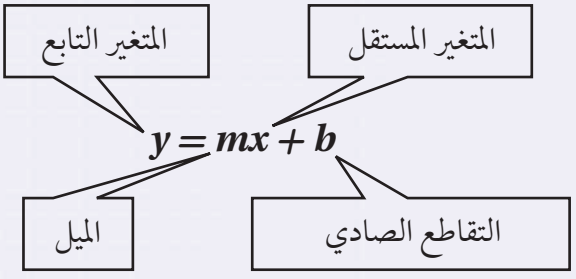


b. يوضح الخط البياني علاقة خطية ثابتة بين متغيرين (الموقع – الزمن)



المعادلة الخطية Linear Equation

يمكن كتابة المعادلة الخطية بالشكل: $y = mx + b$، حيث b و m عددان حقيقيان، و(m) يمثل ميل الخط، و(b) يمثل التقاطع الصادي؛ وهي نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الصادي.



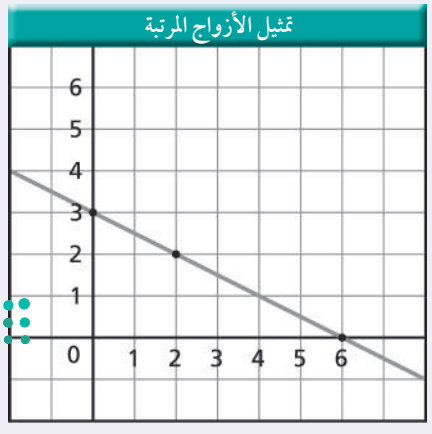
تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانيًّا قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين (x, y)، وارسم أفضل خط يمر بالنقاط جميعها.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة

$$y = -\left(\frac{1}{2}\right)x + 3$$

احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.

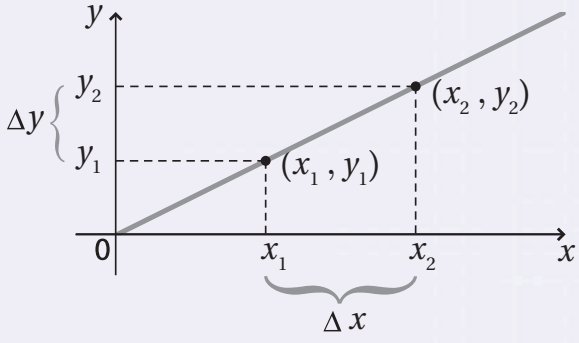
الأزواج المرتبة	
x	y
0	3
2	2
6	0



وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الميل Slope

ميل الخط هو النسبة بين التغير في الإحداثيات الصادية، والتغير في الإحداثيات السينية، أو النسبة بين التغير العمودي (المقابل) والتغير الأفقي (المجاور). وهذا الرقم يخبرك بكيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقمًا موجبًا أو سالبًا. ولإيجاد ميل الخط قم باختيار نقطتين (x_1 , y_1) ، (x_2 , y_2)، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين $\Delta x = x_2 - x_1$، والاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$، ثم أوجد النسبة بين Δy و Δx .



$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابتٍ غير صفري m، بحيث كانت $y = mx$، فإن y تتغير طرديًّا بتغير x؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يزداد أيضًا، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا طرديًّا. وهذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$ ، حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0,0)$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة القوة المعيدة (المُرجعة) للنابض المثالي $\boldsymbol{F} = -k\boldsymbol{x}$ ، حيث $\boldsymbol{F}$ القوة المُرجعة، k ثابت النابض و x استطالة النابض، تتغير القوة المرجعة للنابض طرديًّا مع تغير استطالته؛ ولذلك تزداد القوة المرجعة عندما تزداد استطالة النابض.

التغير العكسي Inverse Variation

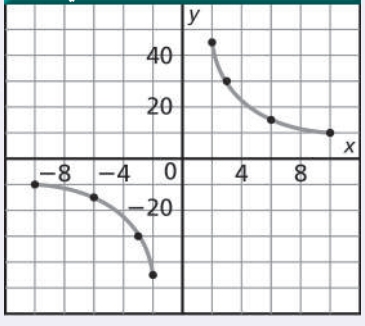
إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m، بحيث كانت $y=m/x$ ، فإن y تتغير عكسيًّا بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًّا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$xy = m$$
$$y = m\,\frac{1}{x}$$
$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثِّل المعادلة $xy = 90$ بيانيًّا.

الأزواج المرتبة	
x	y
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9

التمثيل البياني للتغير العكسي



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة سرعة الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، حيث λ الطول الموجي، و f التردد، و v سرعة الموجة، نجد أن الطول الموجي يتناسب عكسيًّا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما ازداد تردد الموجة تناقص الطول الموجي، أما v فتبقى قيمتها ثابتة.

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

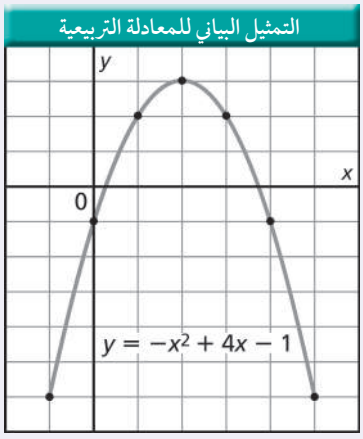
الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

$$y = ax^2 + bx + c$$

حيث $a \neq 0$

التمثيل البياني للعلاقة التربيعية يكون على صورة قطع مكافئ، ويعتمد اتجاه فتحة هذا القطع على معامل مربع المتغير المستقل (a)، إذا كان موجبًا أو سالبًا.

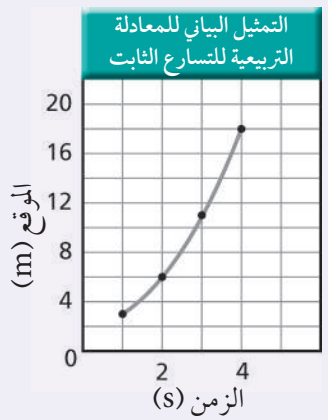
مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$.



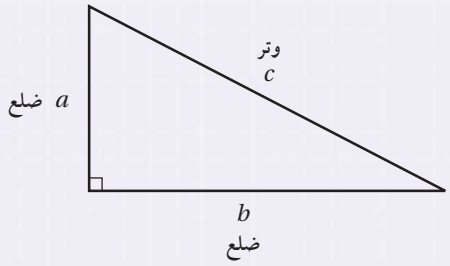
الأزواج المرتبة	
x	y
−1	−6
0	−1
1	2
2	3
3	2
4	−1
5	−6

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء عندما يكون منحنى (الموقع – الزمن) على شكل المنحنى البياني للمعادلة التربيعية فهذا يعني أن الجسم يتحرك بتسارع ثابت.

الأزواج المرتبة	
الزمن (s)	الموقع (m)
1	3
2	6
3	11
4	18



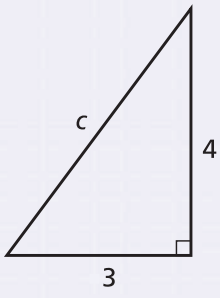
المثلثات القائمة Right Triangles



تنص نظرية فيثاغورس على أنه إذا كان كل من a، b يمثلان قياس ضلعي المثلث القائم الزاوية وكانت c تمثل قياس الوتر فإن $c^2 = a^2 + b^2$ ولحساب طول الوتر استعمل خاصية الجذر التربيعي. ولأن المسافة موجبة فإن القيمة السالبة للمساحة ليس لها معنى.

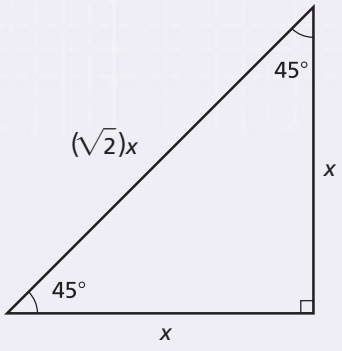
$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

مثال: احسب طول الوتر c في المثلث حيث $a = 4\text{ cm}$ و $b = 3\text{ cm}$

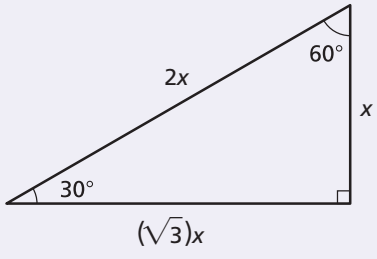


$$\begin{aligned} c &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ &= \sqrt{(4\text{ cm})^2 + (3\text{ cm})^2} \\ &= \sqrt{16\text{ cm}^2 + 9\text{ cm}^2} \\ &= \sqrt{25\text{ cm}^2} \\ &= 5\text{ cm} \end{aligned}$$

إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية 45°، 45°، 90° فإن طول الوتر يساوي $\sqrt{2}$ مضروبًا في طول ضلع المثلث.



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية 90°، 60°، 30° فإن طول الوتر يساوي ضعف طول الضلع الأقصر، وطول الضلع الأطول يساوي $\sqrt{3}$ مرة من طول الضلع الأصغر.



النسب المثلثية Trigonometric Ratios

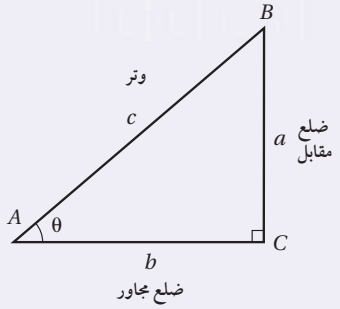
النسب المثلثية عبارة عن نسب أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية. والنسب المثلثية الأكثر شيوعًا هي الجيب $\sin\theta$، وجيب التمام $\cos\theta$ والظل $\tan\theta$. ولاختصار هذه النسب تعلّم الاختصارات الآتية SOH–CAH–TOA. تشير SOH إلى جيب ، مقابل الوتر، وتشير CAH إلى جيب تمام، مجاور الوتر وتشير TOA إلى ظل تمام، مقابل المجاور.

التعابير	مساعدة الذاكرة	الرموز
يشير الـ sin إلى نسبة المقابل للزاوية إلى طول الوتر	$\sin\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$	$\sin\theta = \frac{a}{c}$
يشير الـ cos إلى نسبة طول الضلع المجاور للزاوية إلى طول الوتر.	$\cos\theta = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$	$\cos\theta = \frac{b}{c}$
يشير الـ tan إلى نسبة طول الضلع المقابل للزاوية إلى طول الضلع المجاور للزاوية	$\tan\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$	$\tan\theta = \frac{a}{b}$

مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت $a = 3\text{ cm}$، $b = 4\text{ cm}$، $c = 5\text{ cm}$، فأوجد كلًّا من $\cos\theta$ و $\sin\theta$

$$\sin\theta = \frac{3\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.6$$

$$\cos\theta = \frac{4\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.8$$



مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت $\theta = 30.0°$، $c = 20.0\text{ cm}$، فأوجد a و b.

$$\sin 30.0° = \frac{a}{20.0\text{ cm}} \qquad \cos 30.0° = \frac{b}{20.0\text{ cm}}$$

$$a = (20.0\text{ cm})(\sin 30.0°) = 10.0\text{ cm}$$

$$b = (20.0\text{ cm})(\cos 30.0°) = 17.3\text{ cm}$$

قانون جيب التمام وقانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

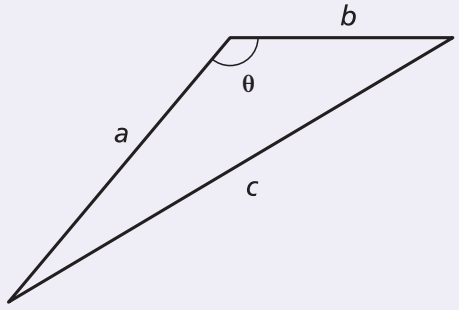
يمنحك قانونا جيب التمام والجيب القدرة على حساب أطوال الأضلاع والزوايا في أي مثلث.

قانون جيب التمام يشبه قانون جيب التمام نظرية فيثاغورس فيما عدا الحد الأخير. وتمثل θ الزاوية المقابلة للضلع c. فإذا كان قياس الزاوية $\theta = 90°$ فإن جتا $\theta = 0$ والحد الأخير يساوي صفرًا.

وإذا كان قياس الزاوية θ أكبر من 90° فإن جتا (θ) عبارة عن رقم سالب.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

مثال: احسب طول الضلع الثالث للمثلث، إذا كان $a = 10.0\text{ cm}$، $b = 12.0\text{ cm}$، $\theta = 110.0°$.



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta}$$

$$= \sqrt{(10.0\text{ cm})^2 + (12.0\text{ cm})^2 - 2(10.0\text{ cm})(12.0\text{ cm})(\cos 110.0°)}$$

$$= \sqrt{1.00\times10^2\text{ cm}^2 + 144\text{ cm}^2 - (2.4\times10^2\text{ cm}^2)(\cos 110.0°)}$$

$$= 18.1\text{ cm}$$

قانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

قانون الجيب عبارة عن معادلة مكوّنة من ثلاث نسب، حيث A، B، C الأضلاع المقابلة للزوايا c، b، a بالترتيب.

استعمل قانون الجيب عندما يكون قياس زاويتين وأي من الأضلاع الثلاثة للمثلث معلومة.

$$\frac{\sin a}{A} = \frac{\sin b}{B} = \frac{\sin c}{C}$$

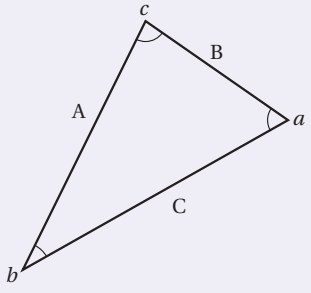
مثال: في المثلث أدناه، إذا كان $c = 60.0°$، $A = 4.0\text{ cm}$، $C = 4.6\text{ cm}$، فاحسب قياس الزاوية a.

$$\frac{\sin a}{A} = \frac{\sin c}{C}$$

$$\sin a = \frac{A\sin c}{C}$$

$$= \frac{(4.0\text{ cm})(\sin 60.0°)}{4.6\text{ cm}}$$

$$= 49°$$



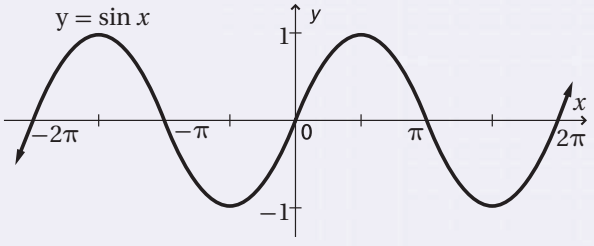
معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل Inverses of Sine, Cosine, and Tangent

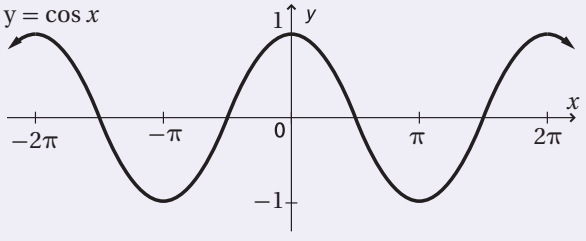
إن معكوس كل من الجيب وجيب التمام وظل التمام يمكنك من عكس اقترانات الجيب وجيب التمام وظل التمام، ومن ثم إيجاد قياس الزاوية، والاقترانات المثلثية ومعكوسها على النحو الآتي:

الاقتران المثلثي	المعكوس
$y = \sin x$	$x = \sin^{-1} y$ أو معكوس $x = \sin y$
$y = \cos x$	$x = \cos^{-1} y$ أو معكوس $x = \cos y$
$y = \tan x$	$x = \tan^{-1} y$ أو معكوس $x = \tan y$

التمثيل البياني للاقترانات المثلثية Graphs of Trigonometric Functions

إن كل اقتران الجيب، $y = \sin x$ واقتران جيب التمام، $y = \cos x$ هي اقترانات دورية. وفترة كل اقتران يمكن أن تكون كل من y ، x أي عدد حقيقي.





الجداول

البادئات		
البادئة	الرمز	التعبير العلمي
femto	f	10^{-15}
pico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
milli	m	10^{-3}
centi	c	10^{-2}
deci	d	10^{-1}
dica	da	10^{1}
hecto	h	10^{2}
kilo	k	10^{3}
mega	M	10^{6}
giga	G	10^{9}
tera	T	10^{12}
peta	P	10^{15}

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

الجداول

الوحدات الأساسية SI		
الكمية	الوحدة	الرمز
الطول	meter	m
الكتلة	kilogram	kg
الزمن	second	s
درجة الحرارة	kelvin	K
مقدار المادة	mole	mol
التيار الكهربائي	ampere	A
شدة الإضاءة	candela	cd

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	الرمز	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joule	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	Pascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	$1kg = 6.02 \times 10^{26}$ u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz ↔ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg ↔ 2.21 lb	$1ev = 1.60 \times 10^{-19}$ J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kwh = 3.60 MJ
$1 m^3 = 264$ gal	$1 atm = 14.7 lb/in^2$	1 hp = 746 W
	$1atm = 1.01 \times 10^5 N/m^2$	$1 mol= 6.022 \times 10^{23}$

المصطلحات

أ

الاتزان Equilibrium
إذا كانت القوة المحصلة المؤثرة في جسم ما تساوي صفرًا فإن هذا الجسم في حالة اتزان.

الاحتكاك الحركي Kinetic Friction
القوة التي يؤثر بها أحد السطحين في السطح الآخر عندما يحتكّ سطحان أحدهما بالآخر بسبب حركة أحدهما أو كليهما.

الاحتكاك السكوني Static Friction
القوة التي يؤثر بها أحد السطحين في الآخر عندما لا توجد حركة بينهما.

الإزاحة Displacement
كمية فيزيائية متجهة تمثل مقدار التغير الذي يحدث لموقع الجسم في اتجاه معين خلال فترة زمنية محددة.

أزواج التأثير المتبادل Interaction pair
زوجان من القوى متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه.

ت

تحليل المتجه Vector Resolution
عملية تجزئة المتجه إلى مركّبتيه الأفقية والعمودية.

تحليل الوحدات Dimensional analysis
طريقة التعامل مع الوحدات بوصفها كميات جبرية؛ بحيث يمكن إلغاؤها، ويمكن أن تستخدم للتأكد من أن وحدات الإجابة صحيحة.

التسارع acceleration
المعدل الزمني لتغير السرعة المتجهة للجسم.

التسارع اللحظي Instantaneousacceleration
التغير في السرعة المتجهة للجسم خلال فترة زمنية صغيرة جدًّا.

التسارع المتوسط average acceleration
التغير في السرعة المتجهة للجسم خلال فترة زمنية مقيسة، مقسومًا على هذه الفترة الزمنية، ويقاس بوحدة m/s^2.

التسارع المركزي Centripetal Acceleration
تسارع جسم يتحرك حركة دائرية بسرعة ثابتة المقدار ويكون في اتجاه مركز الدائرة التي يتحرك فيها الجسم.

التسارع الناشئ عن الجاذبية الأرضية acceleration due to gravity
تسارع الجسم في حالة السقوط الحر، وينتج عن تأثير جاذبية الأرض، ويساوي $g = 9.80\ m/s^2$ واتجاهه نحو مركز الأرض.

ح

الحركة الدائرية المنتظمة Uniform Circular Motion
حركة جسم أو جسيم في مسار بسرعة ثابتة المقدار حول دائرة نصف قطرها ثابت.

المصطلحات

د

الدقة precision: خاصية من خصائص الكمية المقيسة، التي تصف درجة الإتقان في القياس، وتُعبّر عن مدى تقارب نتائج القياس بغض النظر عن صحتها.

س

السرعة الحدية terminal velocity: سرعة منتظمة يصل إليها الجسم الساقط سقوطًا حرًّا عندما تتساوى القوة المعيقة مع قوة الجاذبية.

السرعة المتجهة اللحظية instantaneous velocity: مقدار سرعة الجسم واتجاه حركته عند لحظة زمنية تؤول إلى الصفر.

السرعة المتجهة المتوسطة average velocity: التغير في موقع الجسم مقسومًا على الفترة الزمنية التي حدث التغير خلالها. وهي تساوي ميل الخط البياني في منحنى (الموقع -الزمن).

السرعة المتوسطة average speed: القيمة الحسابية لسرعة الجسم؛ وهي القيمة المطلقة لميل الخط البياني في منحنى (الموقع-الزمن) .

السقوط الحر free fall: حركة جسم تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط، وبإهمال تأثير مقاومة الهواء.

ض

الضبط Accuracy: من خصائص الكمية المقيسة، وهو يصف مدى اتفاق نتائج القياس مع القيمة الحقيقية؛ أي القيمة المعتمدة المقيسة من خلال تجارب مخصصة ومن قبل خبراء مؤهلين.

ط

الطريقة العلمية scientific method: عملية منظمة للمشاهدة والتجريب والتحليل؛ للإجابة عن الأسئلة حول العالم الطبيعي.

ف

الفترة الزمنية time interval: الزمن النهائي مطروحًا منه الزمن الابتدائي.

الفرضية hypothesis: تخمين علمي عن كيفية ارتباط المتغيرات معًا.

الفيزياء physics: فرع العلوم المعنيّ بدراسة العالَم الطبيعي: الطاقة والمادة وكيفية ارتباطهما.

ق

القانون الأول لكبلر Kepler's First law	ينص على أن الكواكب تتحرك في مدارات إهليلجية، وتكون الشمس في إحدى البؤرتين.
القانون الثالث لكبلر Kepler's Third law	ينص على أن مربع نسبة الزمن الدوري لأي كوكبين يساوي مكعب النسبة بين متوسط بُعديهما عن الشمس.
القانون الثاني لكبلر Kepler's Second law	ينص على أن الخط الوهمي من الشمس إلى الكوكب يمسح مساحات متساوية في فترات زمنية متساوية.
قانون الجذب الكوني (العام) Law of Universal Gravitation	ينص على أن قوة التجاذب بين أي جسمين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًّا مع مربع المسافة بين مركزيهما.
القانون العلمي scientific law	قاعدة طبيعية تجمع المشاهدات المترابطة لوصف ظاهرة طبيعية متكررة.
قانون نيوتن الأول Newton's first law	الجسم الساكن يبقى ساكنًا، والجسم المتحرك يبقى متحركًا في خط مستقيم وبسرعة منتظمة فقط إذا كانت محصلة القوى المؤثرة فيه تساوي صفرًا.
قانون نيوتن الثالث Newton's third law	جميع القوى تظهر على شكل أزواج، وقوَّتا كل زوج تؤثران في جسمين مختلفين، وهما متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه.
قانون نيوتن الثاني Newton's secand law	تسارع الجسم يساوي محصلة القوى المؤثرة فيه مقسومة على كتلة الجسم.
القصور الذاتي inertia	خاصية للجسم لممانعة أي تغيير في حالته الحركية.
القوة force	سحب أو دفع يؤثر في الأجسام ويسبب تغيرًا في الحركة مقدارًا واتجاهًا.
قوة التلامُس contact force	قوة تتولد عندما يلامس جسم من المحيط الخارجي النظام.
قوة الجاذبية Gravitational Force	قوة التجاذب بين جسمين، وتتناسب طرديًّا مع كتل الأجسام.
قوة الشد tension	اسم يطلق على القوة التي يؤثر بها خيط أو حبل في جسم ما.
القوة الطاردة عن المركز Centrifugal Force	قوة وهمية يبدو أنها تسحب الجسم المتحرك بسرعة دائرية ثابتة.
القوة العمودية normal force	قوة تلامُس يؤثر بها سطح في جسم آخر.
قوة المجال field force	قوة تؤثر في الأجسام بغضّ النظر عن وجود تلامس فيما بينها؛ كالمغناطيسات التي تؤثر في الأجسام دون ملامستها.
القوة المحصلة net force	قوة تعمل عمل مجموعة من القوى مقدارًا واتجاهًا وتساوي ناتج جمع متجهات القوى المؤثرة في الجسم جميعها.
القوة المركزية Centripetal Force	محصلة القوى التي تؤثر في اتجاه مركز دائرة، وتسبب التسارع المركزي للجسم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443

المصطلحات

القوة المعيقة drag force
هي قوة ممانعة يؤثر بها المائع في جسم يتحرك خلاله، وتعتمد على حركة الجسم وعلى خصائص كل من الجسم والمائع.

القوة الموازِنة Equilibrant
قوة تجعل الجسم متزنًا، وتكون مساوية في المقدار لمحصلة القوى ومعاكسة لها في الاتجاه.

القياس measurement
المقارنة بين كمية مجهولة وأخرى معيارية.

ك

كتلة الجاذبية Gravitational Mass
تحدد مقدار قوة الجاذبية بين جسمين.

كتلة القصور Inertial Mass
مقياس لممانعة أو مقاومة الجسم لأي نوع من القوى.

الكميات العددية (القياسية) scalars
كميات فيزيائية لها مقدار، وليس لها اتجاه.

الكميات المتجهة vectors
كميات فيزيائية لها مقدار واتجاه.

م

مجال الجاذبية Gravitational Field
تأثير محيط بجسم له كتلة، و يساوي ثابت الجذب الكوني مضروبًا في كتلة الجسم ومقسومًا على مربع البُعد عن مركز الجسم.

المحصلة resultant
متجه ناتج عن جمع متجهين آخرين، ويشير دائمًا من ذيل المتجه الأول إلى رأس المتجه الآخر.

المخطط التوضيحي للحركة motion diagram
صور متتابعة تُظهر مواقع جسم متحرك في فترات زمنية متساوية.

مخطط الجسم الحر free-body diagram
نموذج فيزيائي يمثل القوى المؤثرة في نظام ما.

مُركّبة المتجه Component of Vector
مسقط المتجه على أحد المحاور.

مسار المقذوف Trajectory
مسار يسلكه الجسم المقذوف في الفضاء.

المسافة distance
كمية عددية تصف بعد الجسم عن نقطة الأصل.

معامل الاحتكاك الحركي Coefficient of Kinetic Friction
ميل الخط الممثل للعلاقة البيانية بين قوة الاحتكاك الحركي والقوة العمودية، وهو ثابت بلا وحدات قياس.

معامل الاحتكاك السكوني Coefficient of Static Friction
ثابت بلا وحدات قياس، يعتمد على السطحين المتلامسين، ويستعمل لحساب قوة الاحتكاك السكونية العظمى قبل بداية الحركة.

المقذوف Projectile
جسم يُطلق في الهواء مثل كرة القدم، وله حركتان مستقلتان إحداهما أفقية والأخرى رأسية، وبعد إطلاقه يتحرك تحت تأثير قوة الجاذبية فقط.

المصطلحات

منحنى (السرعة المتجهة-الزمن) velocity-time graph
رسم بياني يمثل تغير السرعة المتجهة بدلالة الزمن، وتحديد إشارة تسارع الجسم المتحرك.

منحنى (الموقع-الزمن) position - time graph
رسم بياني يستخدم في تحديد موقع الجسم وحساب سرعته المتجهة، وتحديد نقاط التقاء جسمين متحركين. ويرسم بتثبيت بيانات الزمن على المحور الأفقي وبيانات الموقع على المحور الرأسي.

الموقع position
المسافة الفاصلة بين الجسم ونقطة الأصل، ويمكن أن تكون موجبة أو سالبة.

الموقع اللحظي instantaneous position
موقع الجسم عند لحظة زمنية تؤول إلى الصفر.

ن

النظام الإحداثي coordinate system
نظام يستخدم لوصف الحركة، بحيث يحدد موقع نقطة الصفر للمتغير المدروس، والاتجاه الذي تتزايد فيه قيم المتغير.

النظرية العلمية scientific theory
تفسير يعتمد على عدة مشاهدات مدعومة بنتائج تجريبية. تفسر النظريات القوانين وكيفية عمل الأشياء.

نقطة الأصل origin
نقطة تكون عندها قيمة كل من المتغيرين صفرًا.

نموذج الجسيم النقطي particle model
تمثيل لحركة الجسم بسلسلة متتابعة من النقاط المفردة.

و

الوزن الظاهري apparent weight
قراءة الميزان لوزن جسم يتحرك بتسارع.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2021 - 1443