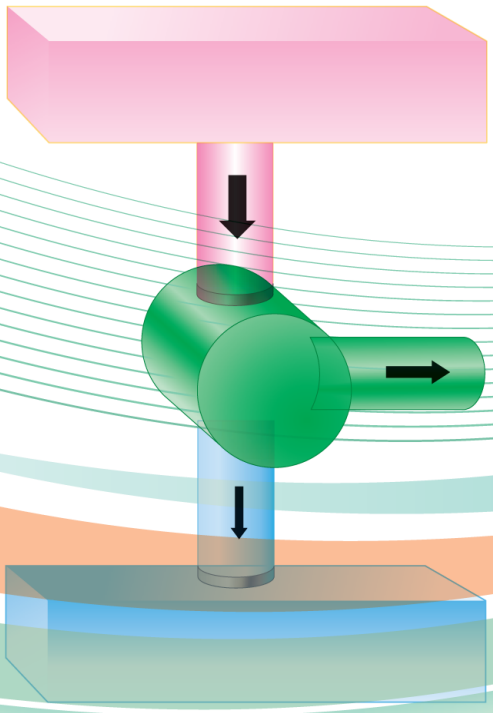
الجمهورية اليمنية
وزارة التربية والتعليم
قطاع المناهج والتوجيه
الإدارة العامة للمناهج

الفيزياء

للصف الثاني الثانوي



حقوق الطبع محفوظة لوزارة التربية والتعليم
١٤٣٦هـ / ٢٠١٥م

إيماناً منا بأهمية المعرفة ومواكبة لعصر التكنولوجيا تتشرف
الإدارة العامة للتعليم الإلكتروني بخدمة أبنائنا الطلاب والطالبات
في ربوع الوطن الحبيب بهذا العمل آملين أن ينال رضا الجميع

فكرة وإعداد

أ. عادل علي عبدالله البقع

مساعد

أ. زينب محمود السمان

مراجعة وتدقيق

أ. ميسونة العبيدي

أ. فاطمة العجل

أ. أفراح الحزمي

متابعة

أمين الإدريسي

إشراف مدير عام
الإدارة العامة للتعليم الإلكتروني
أ. محمد عبده الصرمي

el-online.net

وزارة التربية والتعليم
قطاع المناهج والتوجيه
الإدارة العامة للمناهج

الفيزياء

للصف الثاني الثانوي

فريق التأليف

أ. د. داؤود عبدالملك الحدابي (رئيساً).

أ.د. عمر صالح بابقي.　　أ. أم السعد محمد عبدالحي.
د. هزاع عبده الحميدي.　　أ. محفوظ محمد سلاّم.
أ. جميل أسعد محمد.　　أ. رمضان سالم النجار.
أ. عمر فضل بافضل (منسقاً)

فريق المراجعة:

أ . عبد السلام محمد النقيب.　　أ. عبد القوي علي الشباطي.
أ . سري مكرد ناشر.　　أ. مصطفى أحمد الأسعد.
تنسيق : أ . محمد علي ثابت.
تدقيق : د . عبد الله الشامي.

الإخراج الفني

الصف الطباعي: سماح حمود مسعود.
الصور والرسوم: محمد حسين الذماري
ريناس محمد العريقي.
أرسلان الأغبري.
التصميم والإخراج: عبد الرحمن حسين المهرس.
بسام أحمد محمد العامر.
إدخال التصويبات: علي عبد الله السلفي.

أشرف على التصميم: حامد عبدالعالم الشيباني.

١٤٣٦هـ - ٢٠١٥م

el-online.net

المصدر: قانون رقم (٣٦) لسنة ٢٠٠٦م بشأن السلام الجمهوري ونشيد الدولة الوطني للجمهورية اليمنية

أعضاء اللجنة العليا للمناهج

أ. د. عبدالرزاق يحيى الأشول.

د/ عبدالله عبده الحامدي.
د/ عبدالله سالم لملس.
أ/ أحمد عبدالله أحمد.
د/ فضل أحمد ناصر مطلي.
د/ صالح ناصر الصوفي.
د/ محمد عمر سالم باسليم.
أ.د/ داوود عبدالملك الحدابي.
أ.د/ محمد حاتم المخلافي.
أ.د/ محمد عبدالله الصوفي.
د/ عبده أحمد علي النزيلي.
أ/ محمد عبدالله زبارة.

أ/ عبدالكريم محمد الجنداري.
أ/ علي حسين الحيمي.
د/ إشراق هائل عبدالجليل الحكيمي.
أ/ محسن صالح حسين اليافعي.
د/ أحمد علي المعمري.
أ.د/ محمد سرحان سعيد المخلافي.
أ.د/ شكيب محمد باجرش.
أ.د/ صالح عوض عرم.
أ.د/ أنيس أحمد عبدالله طائع.
أ.د/ إبراهيم محمد الحوثي.
أ/ عبدالله علي إسماعيل الرازحي.

د. عبدالله سلطان الصلاحي.

el-online.net

بسم الله الرحمن الرحيم

تقـــديـــم

في إطار تنفيذ التوجهات الرامية للاهتمام بنوعية التعليم وتحسين مخرجاته تلبية للاحتياجات ووفقاً للمتطلبات الوطنية.

فقد حرصت وزارة التربية والتعليم في إطار توجهاتها الإستراتيجية لتطوير التعليم الأساسي والثانوي على إعطاء أولوية استثنائية لتطوير المناهج الدراسية، كونها جوهر العملية التعليمية وعملية ديناميكية تتسم بالتجديد والتغيير المستمرين لاستيعاب التطورات المتسارعة التي تسود عالم اليوم في جميع المجالات.

ومن هذا المنطلق يأتي إصدار هذا الكتاب في طبعته المعدلة ضمن سلسلة الكتب الدراسية التي تم تعديلها وتنقيحها في عدد من صفوف المرحلتين الأساسية والثانوية لتحسين وتجويد الكتاب المدرسي شكلاً ومضموناً، لتحقيق الأهداف المرجوة منه، اعتماداً على العديد من المصادر أهمها: الملاحظات الميدانية، والمراجعات المكتبية لتلافي أوجه القصور، وتحديث المعلومات وبمايتناسب مع قدرات المتعلم ومستواه العمري، وتحقيق الترابط بين المواد الدراسية المقررة، فضلاً عن إعادة تصميم الكتاب فنياً وجعله عنصراً مشوقاً وجذاباً للمتعلم وخصوصاً تلاميذ الصفوف الأولى من مرحلة التعليم الأساسي.

ويعد هذا الإنجاز خطوة أولى ضمن مشروعنا التطويري المستمر للمناهج الدراسية ستتبعها خطوات أكثر شمولية في الأعوام القادمة، وقد تم تنفيذ ذلك بفضل الجهود الكبيرة التي بذلها مجموعة من ذوي الخبرة والاختصاص في وزارة التربية والتعليم والجامعات من الذين أنضجتهم التجربة وصقلهم الميدان برعاية كاملة من قيادة الوزارة والجهات المختصة فيها.

ونؤكد أن وزارة التربية والتعليم لن تتوانى عن السير بخطى حثيثة ومدروسة لتحقيق أهدافها الرامية إلى تنوير الجيل وتسليحه بالعلم وبناء شخصيته المتزنة والمتكاملة القادرة على الإسهام الفاعل في بناء الوطن اليمني الحديث والتعامل الإيجابي مع كافة التطورات العصرية المتسارعة والمتغيرات المحلية والإقليمية والدولية.

أ.د. عبدالرزاق يحيى الأشول

وزير التربية والتعليم

رئيس اللجنة العليا للمناهج

el-online.net

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف المرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين.. وبعد.

فهذا هو كتاب الفيزياء للصف الثاني الثانوي ضمن سلسلة ثلاثة كتب لهذه المرحلة بعد أن تم وضع كتاب الصف الأول لهذه المادة بين يدي الطالب. والذي تم تأليفه بعد جهد كبير وبعد تراكم خبرات التأليف لدينا. مستفيدين مما تم تأليفه من قبل في هذه المادة حيث نتوقع من هذا الكتاب أن يلبي طموحاتنا الكبيرة التي نتمنى أن يتسلح بها الجيل الجديد خاصة وأن التطورات في هذا المجال متساعة ومتلاحقة.

إن علم الفيزياء الذي يقوم بدراسة الطبيعة من حولنا وما ينتج عنها من ظواهر طبيعية بسبب تحولات المادة والطاقة، ودراسة قوانين هذه التحولات وتفسيرها علمياً والعمل على تسخيرها لصالح الإنسان، إنما يشكل بالنسبة للعلوم الأخرى مصدراً أساساً للمعرفة ومجالاً هاماً للتطبيق العملي لتلك العلوم.

احتوى هذا الكتاب على عشر وحدات دراسية شملت المجالات المختلفة لاهتمام علم الفيزياء وبشكل أكثر عمقاً عما تم تناوله في المرحلة الأساسية بما يضمن تحقيق خطوة من التطور لمواكبة التحولات السريعة في العلوم في جميع مجالاتها، والتي تتطلب تطوير أدوات التعليم والتعلم، واستخدام الأساليب التربوية الحديثة المشجعة لروح البحث والإبداع عند المدرس والطالب، واستخدام تكنولوجيا التعليم الحديثة.

وكل ما نرجوه أن تضيف هذه المعلومات إلى ما تم دراسته الشيء الجديد للطالب وتشجعه على الاستمرار في تطوير مفاهيمه وتوسيع مداركه في مجال الفيزياء وفروعه المختلفة.

نأمل من الإخوة والأخوات الأساتذة والموجهين في الميدان ألا يبخلوا علينا بآرائهم وملاحظاتهم حول مادة الكتاب حتى نستفيد من ذلك في تطوير كتاب الصف الثالث من المرحلة الثانوية.

والله نسأل أن يوفقنا جميعاً لما فيه خير أمتنا.

المؤلفون

el-online.net

المحتويات

الموضـــــوع	الصفحة
الوحدة الأولى : توازن الأجسام الصلبة	٩
– عزم القوة	١٠
– الازدواج	١٤
– توازن جسم صلب خاضع لتأثير ثلاث قوى مستوية متلاقية	١٨
– توازن جسم صلب خاضع لتأثير عدة قوى مستوية متوازية	٢٤
– مركز ثقل جسم صلب	٢٩
– تقويم الوحدة	٣٤
الوحدة الثانية : الحركات الدورية	٣٨
– الحركة الدائرية المنتظمة	٣٩
– قوة الجذب المركزية	٤٠
– الإزاحة الزاوية	٤٢
– قانون نيوتن العام في الجاذبية	٤٥
– قانون نيوتن العام في الجاذبية وحركة الكواكب	٥٠
– الحركة الاهتزازية	٥٢
– الحركة التوافقية البسيطة الخطية	٥٣
– الحركة الموجية	٦٠
– فرق الطور وفرق المسار	٦٧
– تقويم الوحدة	٧٢
الوحدة الثالثة : الموجات الصوتية	٧٦
– طبيعة الصوت	٧٧
– انتشار الصوت في الهواء على شكل موجات طولية	٧٨
– سرعة انتشار الموجات الصوتية في وسط مادي	٨٠
– خواص الموجات الصوتية	٨٥
– تطبيقات على الصوت والظواهر الصوتية	٨٩
– تقويم الوحدة	٩١

el-online.net

المحتويات

الموضـــــوع	الصفحة
الوحدة الرابعة : النغمات الصوتية والرنين	٩٣
– مميزات النغمات الصوتية	٩٤
– شدة الصوت	٩٥
– أهم خصائص الموجات فوق السمعية	١٠٢
– اهتزاز الأوتار	١٠٣
– الرنين في الأعمدة الهوائية	١٠٩
– الأعمدة الهوائية المغلقة	١١١
– الأعمدة الهوائية المفتوحة	١١٦
– الآلات الموسيقية	١٢٠
– تقويم الوحدة	١٢٢
الوحدة الخامسة : الضوء وأجهزة الإبصار	١٢٤
– الضوء	١٢٥
– انتشار الضوء	١٢٥
– شدة الإستضاءة ووحدة قياسها	١٢٨
– انعكاس الضوء	١٣٣
– قانونا الإنعكاس	١٣٥
– انكسار الضوء	١٤٠
– معامل الإنكسار	١٤١
– العدسات الرقيقة « الخفيفة » وقوانينها	١٤٧
– الأجهزة البصرية	١٥٣
– الميكروسكوب	١٥٤
– المنظار الفلكي (التلسكوب)	١٥٦
– تقويم الوحدة	١٥٨

el-online.net

المحتويات

الموضـــــوع الصفحة

الوحدة السادسة : الديناميكا الحرارية ----- ١٦٢

- العمليات الديناميكية الحرارية ---------- ١٦٤
- الشغل في العمليات الديناميكية الحرارية ---------- ١٦٧
- قوانين الديناميكا الحرارية ---------- ١٧٤
- القانون الأول للديناميكا الحرارية ---------- ١٧٤
- تقويم الوحدة ---------- ١٨٠

الوحدة السابعة: المحركات (الآلات) الحرارية والتلوث البيئي --- ١٨٤

- المحركات (الآلات) الحرارية ---------- ١٨٥
- المحرك الحراري ---------- ١٨٥
- محرك (البنزين) ---------- ١٨٦
- القانون الثاني للديناميكا الحرارية ---------- ١٩٠
- المحركات الحرارية والتلوث البيئي ---------- ١٩٣
- تقويم الوحدة ---------- ١٩٥

الوحدة الثامنة : التيار المستمر ----- ١٩٩

- القوة الدافعة الكهربية ---------- ٢٠٠
- قانونا كيرشوف لدوائر التيار المستمر ---------- ٢٠٢
- الطاقة الكهربية المستهلكة ---------- ٢٠٦
- التأثيرات الحرارية للتيار المستمر ---------- ٢٠٩
- التأثيرات الكيميائية للتيار المستمر ---------- ٢١١
- قانونا فاراداي للتحليل الكهربي ---------- ٢١٣
- تطبيقات على التحليل الكهربي للسوائل ---------- ٢١٤
- تقويم الوحدة ---------- ٢١٦

el-online.net

المحتويات

الموضـــــوع الصفحة

الوحدة التاسعة: المغناطيسية والتأثيرات المغناطيسية للتيار الكهربائي ٢١٧

- المغناطيس والأقطاب المغناطيسية ---------- ٢١٩
- النظرية المغناطيسية ---------- ٢٢٣
- القوة المغناطيسية وشدة المجال المغناطيسي ---------- ٢٢٦
- الفيض المغناطيسي ---------- ٢٢٨
- حركة الأجسام المشحونة في مجال مغناطيسي منتظم ---------- ٢٣٢
- التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي ---------- ٢٣٧
- المجال المغناطيسي لتيار كهربائي يمر في سلك مستقيم طويل ---------- ٢٣٨
- تقويم الوحدة ---------- ٢٤٥

الوحدة العاشرة : القياسات الكهربائية ---------- ٢٤٩

- القياسات الكهربائية ---------- ٢٥٠
- الجلفانومتر ---------- ٢٥٢
- الأميتر ---------- ٢٥٣
- الفولتميتر ---------- ٢٥٦
- الأوميتر ---------- ٢٦٠
- الأفوميتر ---------- ٢٦١
- مقياس الجهد ---------- ٢٦٣
- قنطرة هويتستون ---------- ٢٦٥
- القنطرة المترية ---------- ٢٦٧
- تقويم الوحدة ---------- ٢٧٠

el-online.net

الوحدة الأولى

توازن الأجسام الصلبة

Equilibrium of Rigid Bodies

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة أن يكون قادراً على أن:

١- يعرّف عزم القوة، والازدواج.

٢- يحسب عزم القوة وعزم الازدواج.

٣- يستنتج شروط توازن جسم صلب خاضع لتأثير ثلاث قوى مستوية متلاقية.

٤- يستنتج شروط توازن جسم صلب خاضع لتأثير عدة قوى مستوية متوازية.

٥- يعين مركز ثقل جسم صلب منتظم الشكل.

٦- يستخدم شروط توازن جسم صلب، ومفهوم عزم القوة، والازدواج، ومركز ثقل جسم في حل المسائل ذات العلاقة.

el-online.net

توازن الأجسام الصلبة

علم السكون (statics) هو جزء من علم الميكانيكا، ويهتم بدراسة توازن الأجسام. وسنتعرف في هذه الوحدة على شروط توازن جسم صلب خاضع لتأثير عدة قوى مستوية، وذلك في حالتين:

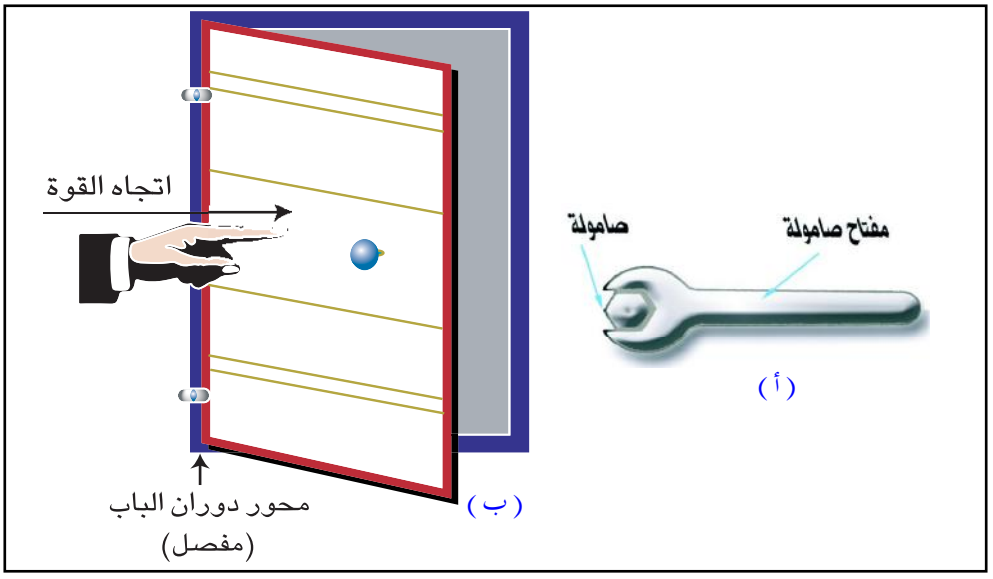
الحالة الأولى: عندما تكون هذه القوى متلاقية (غير متوازية).

الحالة الثانية: عندما تكون القوى متوازية.

وسنبدأ بتعريف عزم القوة، وعزم الازدواج، وكيفية حسابهما للاستفادة منهما فيما بعد، في دراسة توازن جسم صلب.

عزم القوة Moment of a force

لو تأملت حركة الأجسام في حياتنا اليومية؛ فإنك ستجد أجساماً تتحرك حركة دورانية حول محور ثابت تحت تأثير قوة، أو أكثر، كحركة دوران مفتاح صامولة حول محورها انظر إلى الشكل (١ أ) أو حركة الباب حول مفاصله شكل (١ ب).



شكل (١)

يُعرَّف مدى مقدرة القوة على إحداث دوران جسم حول محور ثابت، بعزم القوة حول ذلك المحور.

el-online.net

ولكن ما هي العوامل التي يتوقف عليها عزم القوة ؟ ولمعرفة ذلك أجر النشاط التالي :

النشاط (ا)

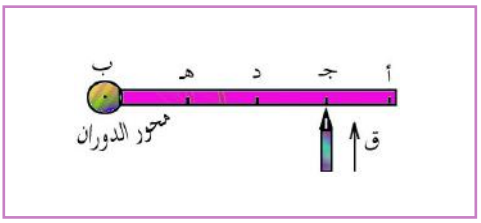
١ – خذ قضيباً معدنياً مستقيماً (ا ب) وضعه على طاولة مستوية أفقية .

٢ – ثبت الطرف (ب) للقضيب في محور ثابت عمودي على مستوى الطاولة بحيث يكون القضيب قابلاً للدوران حول ذلك المحور كما هو مبين في الشكل (٢) .

٣ – ادفع القضيب بإصبعك بحيث يكون إصبعك عمودياً عليه وواقعاً في مستوى الطاولة .

٤ – غير موضع إصبعك ماراً بالنقاط (أ) ، (جـ) ، (د) ، (هـ) .

– ماذا تلاحظ ؟



شكل (٢)

تلاحظ أنه :

١– كلما اقترب إصبعك من محور الدوران (ب) يلزمك قوة أكبر لإحداث الدوران حتى إذا كان أصبعك عند محور الدوران (ب) فإن القضيب، لا يمكن أن يدور مهما كبرت قوة إصبعك التي تدفع بها القضيب .

٢– كلما ازدادت القوة التي تؤثر بها على القضيب؛ كلما ازدادت مقدرتك على تدوير القضيب .

٣– إذا انعكس اتجاه القوة التي تدفع بها القضيب انعكس اتجاه الدوران .

نستنتج من ذلك إن عزم القوة يعتمد على عاملين هما :

أ – مقدار القوة، واتجاهها .

ب – البعد العمودي بين خط عمل القوة ($\overleftarrow{ق}$) ومحور الدوران الذي يسمى بذراع القوة، ونرمز له بالرمز ($\overleftarrow{ل}$) انظر الشكل (٣) .

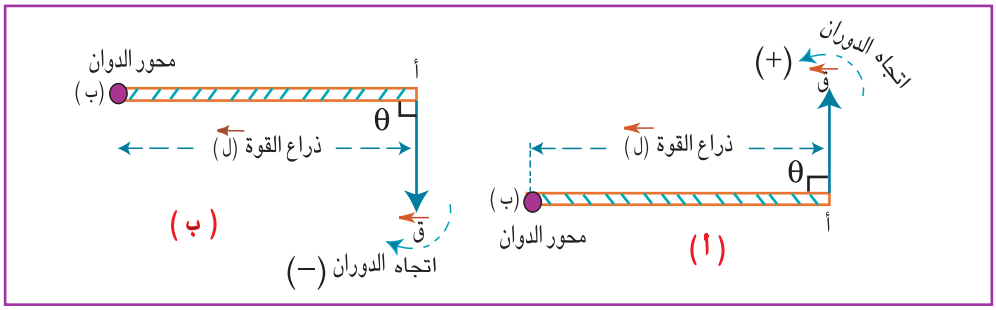
ويعطى عزم القوة عـ ($\overleftarrow{ق}$) رياضياً بحاصل الضرب المتجهي للقوة ($\overleftarrow{ق}$) في ذراعها ($\overleftarrow{ل}$) . أي : $\boxed{عـ(\overleftarrow{ق}) = \overleftarrow{ق} \times \overleftarrow{ل}}$ .....(١)

يلاحظ من العلاقة (١) أن عـ ($\overleftarrow{ق}$) كمية متجهة تنتج من تعامد كميتين متجهتين هما $\overleftarrow{ق}$ و $\overleftarrow{ل}$

el-online.net

وحدة قياس عزم القوة عـ(ق) في النظام العالمي (SI) هي (نيوتن.متر) نستنتجها من العلاقة السابقة، وهي : عـ (ق) = ق(نيوتن) × ل (متر) = ق× ل (نيوتن .متر) .

ويمكن إيجاد مقدار عـ (ق) بالعلاقة عـ (ق) = ق ل جا θ ، وإذا كانت θ = ٩٠° فإن : عـ (ق) = ق ل . . . (٢)



شكل (٣)

مصطلح الإشارة

اُصطلح أن تكون إشارة عزم القوة عـ (ق) موجبة إذا كان اتجاه الدوران عكس اتجاه دوران عقارب الساعة انظر الشكل (٣ أ)، وسالبه إذا كان اتجاه الدوران مع اتجاه حركة دوران عقارب الساعة . انظر الشكل (٣ب) .

أسئلة

١ – طبق مفهوم عزم القوة على باب غرفة صفك الدراسي .

٢ – متى ينعدم عزم القوة؟

٣ – هل عزم القوة كمية فيزيائية قياسية أم متجهة؟

مثال (١) :

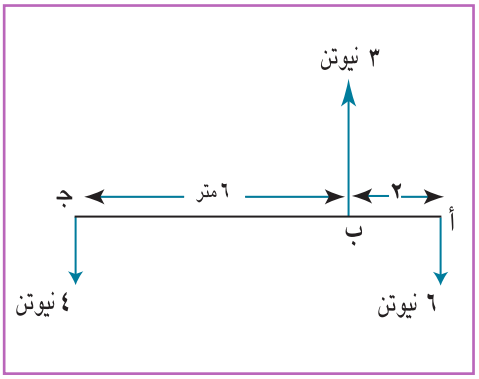
قضيب (أ جـ) طوله ٨ متر (مهمل الوزن) تؤثر فيه ثلاث قوى رأسية كما هو مبين في الشكل (٤) . أوجد المجموع الجبري لعزوم القوى المؤثرة في القضيب حول المحاور العمودية على مستوى القوى والتي تمر من خلال النقاط (أ، ب، جـ) .

ملاحظة هامة : [المجموع الجبري يعني الأخذ بعين الاعتبار الإشارة الجبرية (سالب أو موجب) لكل حد عند الجمع] .

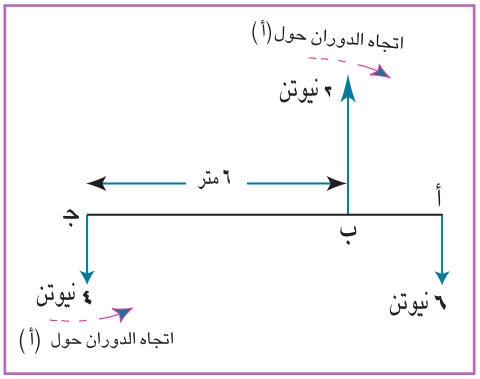
الحل : نرمز للمجموع الجبري لعزوم القوى حول محور يمر من (أ) بالرمز عـ$_{أ}$ (ق) وكذلك بالنسبة للنقاط ب ، جـ.

أ – الشكل (٥) يبين اتجاه دوران القوى حول النقطة (أ) أي حول محور يمر من (أ) وعمودي على مستوى القوى .

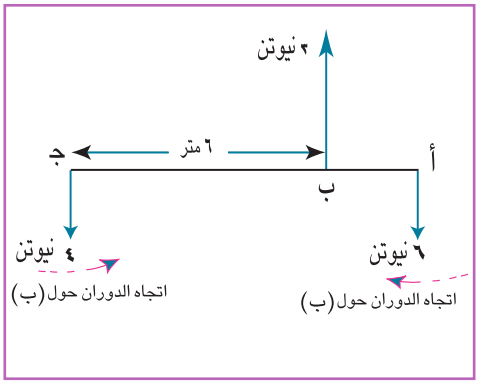
el-online.net



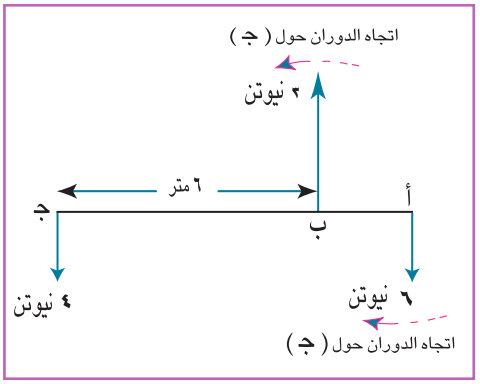
شكل: (٤).



شكل: (٥) .



شكل (٦)



شكل (٧)

∴ عـم (ق) = ٦ × صفر – ٣ × ٢ + ٤ × ٨

(ذراع القوة المارة من محور الدوران = صفر)

عـم (ق) = – ٦ + ٣٢ = ٢٦ (نيوتن.متر)، أي أن إشارة محصلة العزوم موجبة حول (أ) أي أن اتجاه دوران القضيب هو عكس اتجاه دوران عقارب الساعة.

ب – الشكل (٦) يبين اتجاه دوران القوى حول (ب).

عـب (ق) = –٦ × ٢ + ٣ × صفر + ٤ × ٦

عـب (ق) = –١٢ + ٢٤ = ١٢ (نيوتن.متر). إشارة محصلة العزوم موجبة.

جـ – الشكل (٧) يبين اتجاه دوران القوى حول (جـ).

عـجـ (ق) = – ٦ × ٨ + ٣ × ٦ + ٤ × صفر

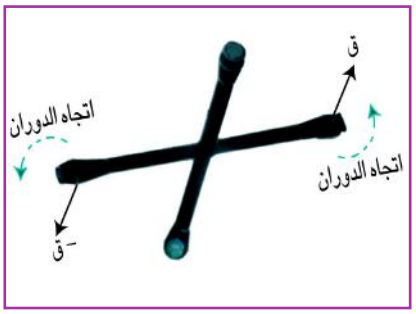
عـجـ (ق) = – ٤٨ + ١٨ = –٣٠ (نيوتن. متر.) إشارة محصلة العزوم سالبة.

أي أن اتجاه دوران القضيب في اتجاه دوران عقارب الساعة.

el-online.net

الازدواج : Couple

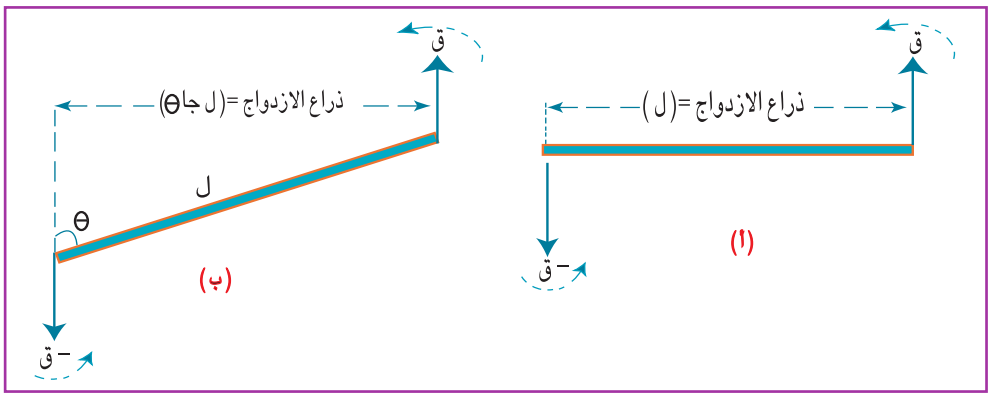
عندما تحاول إدارة مفتاح الباب، أو عندما تفتح حنفية الماء، أو عندما تلاحظ عمل البوصلة المغناطيسية، أو عندما تفك براغي إطار السيارة بمفتاح البراغي كما في الشكل: (٨)؛ فإنك تؤثر بقوتين متساويتين في المقدار، ومتعاكستين في الاتجاه وخطًّا عملهما ليسا على استقامة واحدة.



شكل (٨)

في كل حالة من الحالات السابقة يسمى هذا النوع من القوتين المتعاكستين بالازدواج، ويمكن تعريف الازدواج على أنه:

> عبارة عن قوتين في مستوى واحد متساويتين في المقدار، ومتعاكستين في الاتجاه، وخطًّا عملهما ليسا على استقامة واحدة.



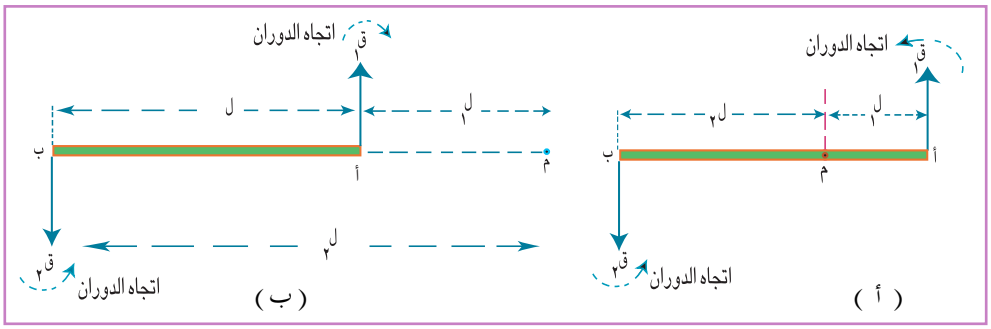
شكل (٩)

تسمى المسافة العمودية بين خطي عمل القوتين بذراع الازدواج، كما هو مبين في الشكلين (٩ أ ، ٩ ب) ؛ حيث إن محصلة القوى يُساوي الصفر، ولذلك لا ينتج عنهما حركة انتقالية (بحسب قانون نيوتن الثاني)، ولكن قد يتحرك الجسم الواقع تحت تأثير الازدواج حركة دورانية، وتعتبر إشارة الازدواج موجبة؛ إذا كان اتجاه الدوران هو عكس اتجاه دوران عقارب الساعة، وسالبة إذا كانت في اتجاه حركة عقارب الساعة.

el-online.net

حساب عزم الازدواج (Moment of a Couple)

إذا أردنا أن نحسب عزم الازدواج الذي يجعل مفتاح براغي إطار السيارة يدور حول مركزه؛ نفترض أن قضيباً صلباً (أ ب) خاضع للازدواج ممثلاً بقوتين (ق$_{1}$ ،ق$_{2}$) حيث (ق$_{1}$ = ق$_{2}$) تؤثران عند النقطتين (أ،ب) انظر الشكل (١٠) . كما نفترض أن القضيب قابل للدوران حول محور اختياري يمر من النقطة (م) عمودياً على مستوى القوتين (ق$_{1}$ ، ق$_{2}$) ويمكن أن يكون واقعاً بين القوتين على العمود (أ ب) الواصل بين خطي عملهما، كما في الشكل (١٠ / أ)، أو على امتداده كما هو مبين في الشكل (١٠ / ب) ويكون عزم الازدواج (عـ) مساوياً للمجموع الجبري لعزمي القوتين (ق$_{1}$ ، ق$_{2}$) حول (م)، ونقوم بحسابه في الحالتين التاليتين :



شكل (١٠)

أولاً : عندما تقع (م) بين قوتي الازدواج كما في الشكل (١٠ أ)؛ فإن :

عـ = عـ$_{م}$ (ق$_{1}$) + عـ$_{م}$ (ق$_{2}$)

عـ = ق$_{1}$ ل$_{1}$ + ق$_{2}$ ل$_{2}$ = ق (ل١ + ل٢) ، ومنه

عـ = ق ل

حيث ق$_{1}$ = ق$_{2}$ = ق ، ل = ل$_{1}$ + ل$_{2}$ ، واتجاه الدوران موجبة .

ثانياً : عندما تقع (م) على امتداد الخط الواصل بين (أ،ب)، أُنظر الشكل (١٠ب)؛ فأن :

عـ = عـ$_{م}$ (ق$_{1}$) + عـ$_{م}$ (ق$_{2}$)

el-online.net

عـ = – ق$_{١}$ ل$_{١}$ + ق$_{٢}$ ل$_{٢}$ = ق (ل$_{٢}$ – ل$_{١}$)

حيث ق$_{١}$ = ق$_{٢}$ = ق ، (ل) = ل$_{٢}$ – ل$_{١}$ واتجاه عـ$_{م}$ (ق$_{١}$) سالب .

انظر الشكل (١٠ ب) الذي يبين اتجاه الدوران، ومنه نجد أن :

عـ = ق ل .

نستنتج من ذلك أن :

١ – عزم الازدواج ($\overleftarrow{عـ}$) يساوي قيمة إحدى القوتين × البعد العمودي بينهما .

أي : $\overleftarrow{عـ} = ق \overleftarrow{ل}$ ..... (٢)

و بشكل عام مقدار عزم الازدواج (عـ) يعطى من العلاقة الآتية :

عـ = ق ل جا θ ..... (٣)

أُنظر الشكل (٩ ب)؛ حيث (θ) هي الزاوية الكائنة بين : (ق ، ل) . وعندما تكون الزاوية θ = ٩٠ يكون جا ٩٠ = ١ وتؤول العلاقة (٣) إلى العلاقة عـ = ق ل

٢ – عزم الازدواج لا يعتمد على اختيار مركز العزم (م) .

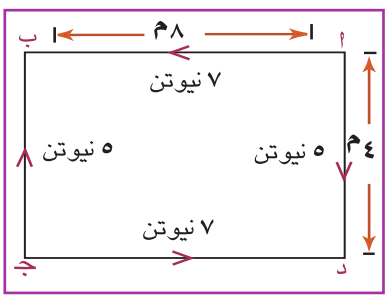
٣ – الوحدة التي يقاس بها عزم الازدواج هي (نيوتن.متر)، وهي نفس الوحدة التي يقاس بها عزم القوة .

سؤال : هل عزم الازدواج كمية قياسية، أم كمية متجهة؟ أعط تفسيراً لجوابك .

مثـال (٢) :

أ ب جـ د مستطيل طوله (٨) متراً ، وعرضه (٤) أمتار أثرت فيه القوى (٧، ٥، ٧، ٥) نيوتن في الاتجاهات المبينة في الشكل (١١)،

أ – احسب عزم الازدواج المكافئ .



شكل (١١)

الحـــل :

تشكل القوتان : (٧ ، ٧) نيوتن، ازدواجاً، عزمه (عـ$_{١}$) .

عـ$_{١}$ = ق . ل . جا ٩٠° = ٧ × ٤ × ١ = ٢٨ (نيوتن . متر .)

إشارته موجبة؛ لأن اتجاه دورانه معاكس لحركة عقارب الساعة .

el-online.net

وتشكل القوتان : (٥ ، ٥) نيوتن ازدواجاً، عزمه (عـ ٢) .

عـ ٢ = – (٥ × ٨ × ١) = – ٤٠ نيوتن . متر .

إشارته سالبة لأن اتجاه دورانه هو اتجاه دوران عقارب الساعة .

الازدواج المكافئ (عـ) لهذين الازدواجين، هو المجموع الجبري لهما أي :

عـ = عـ ١ + عـ ٢ = ٢٨ + (– ٤٠) = ٢٨ – ٤٠ = – ١٢ نيوتن متر .

عـ = – ١٢ نيوتن . متر

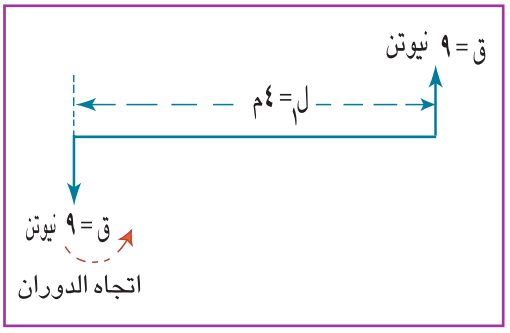
إشارة الازدواج المكافئ سالبة أي أن دوران الجسم في نفس اتجاه دوران عقارب الساعة .

سؤال : حاول أن ترسم هذا الازدواج المكافئ بطريقتين مختلفتين .

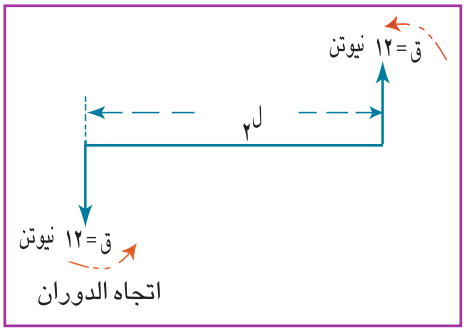
مثال (٣) :

أ – ما هو عزم الازدواج المبين في الشكل (١٢) ؟

ب – كم مقدار ذراع الازدواج (ل ٢) الذي يجعل عزم الازدواج في الشكل (١٣) مساوياً لعزم الازدواج في الفقرة (أ) ؟



شكل (١٢)



شكل (١٣)

الحل :

أ – عزم الازدواج (عـ ١) المبين في الشكل (١٢) هو :

عـ ١ = ق ١ ل ١ جا ٩٠ = ٩ × ٤ × ١ = ٣٦ نيوتن . متر ،

وإشارته موجبة لأنّ اتجاه دورانه هو عكس اتجاه دوران عقارب الساعة .

ب – الازدواج ذو القوة ١٢ نيوتن هو :

عـ ٢ = ق ٢ ل ٢ = ١٢ × ل ٢

el-online.net

وبما أن عـ١ = عـ٢ فرضاً.

∴ ١٢ ل٢ = ٣٦ ، ومنه ل٢ = $\frac{٣٦}{١٢}$ = ٣ متر ،

وهو ذراع الازدواج المطلوب ومرسوم في الشكل (١٣).

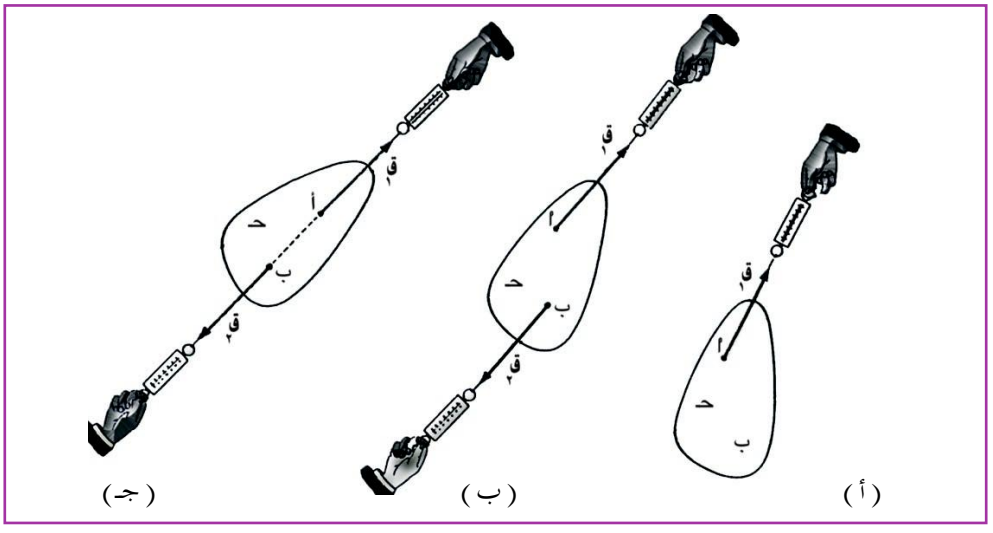
توازن جسم صلب خاضع لتأثير ثلاث قوى مستوية متلاقية

تعلمت من الدروس السابقة بأنه إذا أثرت قوة خارجية على جسم صلب؛ فإنه لابد وأن تغير هذه القوة من وضعه، أو شكله، إلاّ أن ما نشاهده في حياتنا اليومية أحياناً، أن أجساماً تؤثر عليها مجموعة من القوى الخارجية، ومع ذلك تظل ساكنة، أي في حالة اتزان، فكيف يحدث ذلك؟ وما هي شروط حدوثه؟

ولمعرفة ذلك أجر النشاط التالي:

النشاط (٢)

يلزمك لتنفيذ هذا النشاط: قطعة من الصفيح بها ثلاثة ثقوب نرمز لهم بالأحرف (أ،ب،جـ)، وموضوعة على طاولة أفقية عديمة الاحتكاك، وثلاثة خيوط غير قابلة للمط وثلاثة موازين زنبركية.



شكل (١٤)

١- اربط خيطاً في الثقب (أ)، وأثّر عليه بقوة ($\overleftarrow{ق_١}$) (واقعة في مستوى الطاولة) تستدل على قيمتها من قراءة ميزان زنبركي، كما في الشكل (١٤ /أ)؛ فإذا

el-online.net

كانت قطعة الصفيح في البدء ساكنة؛ فإنها تشرع في حركة انتقالية وذلك بحسب قانون نيوتن الثاني.

٢- اربط خيطاً آخر في الثقب (ب)، وأثّر عليه بقوة ($\overleftarrow{ق_٢}$) مساوية في المقدار للقوة ($\overleftarrow{ق_١}$)، ومعاكسة لها في الاتجاه أي ($\overleftarrow{ق_١} = -\overleftarrow{ق_٢}$)؛ بحيث يكون ($\overleftarrow{ق_١} + \overleftarrow{ق_٢}$ = صفراً) وخطّي عملهما ليسّا على استقامة واحدة، كما في الشكل (١٤/ب). تلاحظ أن القطعة تكون واقعة تحت تأثير ازدواج، يؤدي إلى دورانها في اتجاه دوران عقارب الساعة، حتى ينطبق خطّا عمل القوتين فتتوقف عن الدوران، كما هو مبين في الشكل (١٤/جـ)، وتصبح عندئذ القطعة ساكنة، ومتوازنة تحت تأثير القوتين.

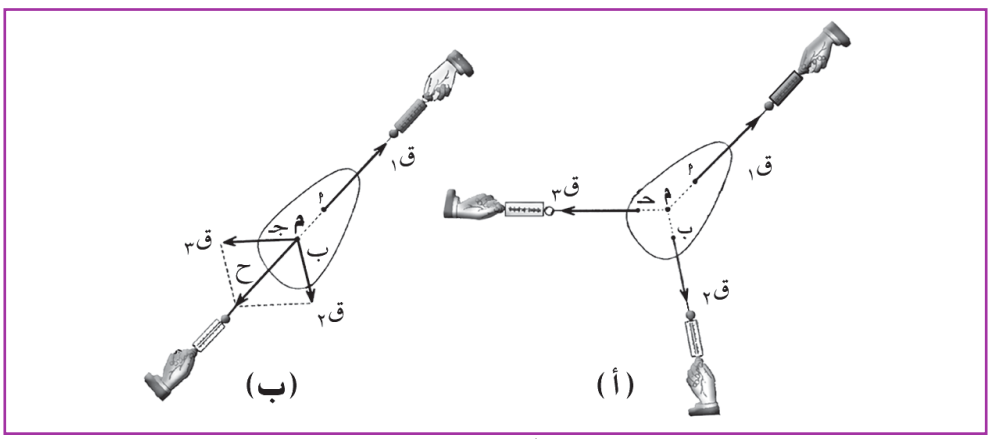
نستنتج من ذلك أن شرطي توازن جسم صلب خاضع لتأثير قوتين واقعتين في مستوى واحد، هما:

١- أن تكون محصلة القوتين المؤثرتين على الجسم = صفراً،

أي $\overleftarrow{ق_١} + \overleftarrow{ق_٢}$ = صفراً.

٢- أن ينطبق خطّا عمل القوتين على استقامة واحدة.

أما إذا ربطنا ثلاثة خيوط بالثقوب الثلاثة في القطعة (أ، ب، جـ)، وأثّرنا على الخيوط بثلاث قوى ($\overleftarrow{ق_١}$، $\overleftarrow{ق_٢}$، $\overleftarrow{ق_٣}$) على الترتيب؛ فإن قطعة الصفيح تكون خاضعة لتأثير ثلاث قوى مستوية ($\overleftarrow{ق_١}$، $\overleftarrow{ق_٢}$، $\overleftarrow{ق_٣}$) وتصبح غير متوازنة، كما هو مبين في الشكل (١٥/أ). وللبحث عن شروط توازن الجسم نمد القوتين ($\overleftarrow{ق_٢}$، $\overleftarrow{ق_٣}$) على خطي عملهما إلى نقطة تقاطعهما (م)، كما هو مبين في الشكل (١٥/ب)،



شكل (١٥)

el-online.net

ثم نجد محصلتهما ($\overleftarrow{ح}$) . (حيث $\overleftarrow{ح} = \overleftarrow{ق_٢} + \overleftarrow{ق_٣}$) فتؤول القوى الثلاث ($\overleftarrow{ق_١}$ ، $\overleftarrow{ق_٢}$ ، $\overleftarrow{ق_٣}$) المؤثرة على القطعة إلى القوتين ($\overleftarrow{ح}$ ، $\overleftarrow{ق_١}$) المتعاكستين، ونعود إلى الحالة السابقة، وبذلك يصبح شرطا توازن القطعة هما :

أولاً : أن تكون محصلة القوتين : $\overleftarrow{ح} + \overleftarrow{ق_١}$ = صفراً .

وهذا يعني أن يكون " $\overleftarrow{ق_١} + \overleftarrow{ق_٢} + \overleftarrow{ق_٣}$ = صفراً .

أي : أن يكون المجموع الاتجاهي للقوى الثلاث المؤثرة في الجسم = صفراً

ونعبر عنه رياضياً بالعلاقة : $\overleftarrow{مجـ}_{ن=١}^{٣} \overleftarrow{ق_ن}$ = صفراً

[حيث $\overleftarrow{مجـ}_{ن=١}^{٣} \overleftarrow{ق_ن}$ يرمز إلى المجموع ($\overleftarrow{مجـ}_{ن=١}^{٣} \overleftarrow{ق_ن} = \overleftarrow{ق_١} + \overleftarrow{ق_٢} + \overleftarrow{ق_٣}$) .]

ثانياً :

أن ينطبق خطّا عمل القوتين ($\overleftarrow{ح}$ ، $\overleftarrow{ق_١}$) على استقامة واحدة أُنظر الشكل (١٥ / ب) بمعنى آخر أن تتلاقى القوى ($\overleftarrow{ق_١}$ ، $\overleftarrow{ق_٢}$ ، $\overleftarrow{ق_٣}$) في نقطة واحدة .

ونلخص هذين الشرطين كما يلي :

١- أن يكون المجموع الاتجاهي للقوى المؤثرة في الجسم = صفراً ، أي :

$$\overleftarrow{مجـ}_{ن=١}^{٣} \overleftarrow{ق_ن} = \text{صفراً} \quad (\text{حيث ن} = ١ ، ٢ ، ٣) \quad \ldots\ldots (٤)$$

إذا حللنا هذه القوى إلى مركباتها على المحورين المتعامدين (س،ص) فهذا الشرط (الأول) يصبح كالتالي :

أ – المجموع الجبري للمركبات السينية للقوى المؤثرة على الجسم = صفراً . أي :

$$\overleftarrow{مجـ}_{ن=١}^{٣} ق_{ن\,س} = ق_{١\,س} + ق_{٢\,س} + ق_{٣\,س} = \text{صفراً} \quad \ldots\ldots (٥ أ)$$

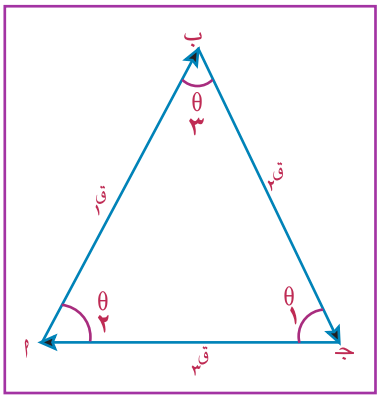
ب – والمجموع الجبري للمركبات الصادية للقوى المؤثرة على الجسم = صفراً . أي :

$$\overleftarrow{مجـ}_{ن=١}^{٣} ق_{ن\,ص} = ق_{١\,ص} + ق_{٢\,ص} + ق_{٣\,ص} = \text{صفراً} \quad \ldots\ldots (٥ب)$$

٢ – أن تتلاقى القوى الثلاث ($\overleftarrow{ق_١}$ ، $\overleftarrow{ق_٢}$ ، $\overleftarrow{ق_٣}$) في نقطة واحدة .

el-online.net

يمكن اعتبار الجسم (قطعة الصفيح) المتوازن تحت تأثير القوى الثلاث ($\overleftarrow{ق_1}$ ، $\overleftarrow{ق_2}$ ، $\overleftarrow{ق_3}$) ممثلاً بالنقطة (م) في الشكل (١٥ ب)، التي تتلاقى فيها هذه القوى؛ والتي يمكن تمثيلها بالمتجهات [$\overleftarrow{أب}$ ، $\overleftarrow{ب جـ}$ ، $\overleftarrow{جـ أ}$] على الترتيب، وبما أن محصلة هذه القوى = صفراً، (لأن الجسم متوازن) فبجمعهم بيانياً (بالرسم)، نحصل على مثلث مغلق (أ ب جـ) انظر شكل (١٦)، وذلك



شكل (١٦)

بحسب جمع المتجهات الذي درسته في الصف العاشر .

يسمى هذا المثلث بمثلث القوى، وتكون أطوال أضلاعه متناسبة مع مقادير هذه القوى أي أن :

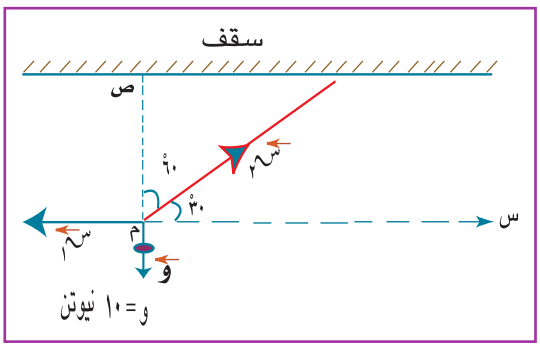
$$\frac{ق_1}{أب} = \frac{ق_2}{ب جـ} = \frac{ق_3}{جـ أ} \quad \ldots\ldots\ldots (٦)$$.

أو أن مقادير هذه القوى متناسبة مع جيوب زوايا المثلث المقابلة للأضلاع الممثلة لهذه القوى أي أن :

$$\frac{ق_1}{جا\theta_1} = \frac{ق_2}{جا\theta_2} = \frac{ق_3}{جا\theta_3} \quad \ldots\ldots\ldots (٧)$$.

مثال (٤) :

تتزن نجفة ممثلة بالنقطة (م) وزنها (١٠) نيوتن تحت تأثير حبلين أحدهما يشدها في الاتجاه الأفقي بقوة شد ($\overleftarrow{س_1}$)، والآخر يشدها في اتجاه يصنع زاوية (٦٠°) مع الاتجاه الرأسي بقوة شد ($\overleftarrow{س_2}$) كما هو مبين في الشكل (١٧) .



شكل (١٧)

احسب قوة الشد في كل حبل بطريقة مثلث القوى، ثم بالطريقة التحليلية .

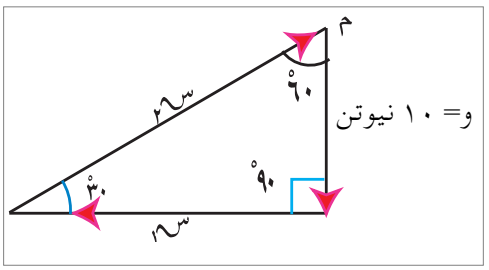
el-online.net

الحـــل :

طريقة مثلث القوى :

نرى من الشكل (١٧) أن النجفة الممثلة بالنقطة (م) تؤثر فيها ثلاث قوى غير متوازية هي ($\overleftarrow{و}$ ، $\overleftarrow{س_١}$ ، $\overleftarrow{س_٢}$)، وهذه القوى واقعة في مستوى واحد هو المستوى الرأسي، وواضح أن الشرط الثاني من شرطي التوازن محقق، وهو أن هذه القوى الثلاث تتلاقى في نقطة واحدة، هي النقطة (م) .

وبما أن النجفة متوازنة فرضاً إذاً بموجب الشرط الأول للتوازن لابد أن يكون المجموع الاتجاهي للقوى المؤثرة فيها = صفراً وبيانياً (بالرسم) نحصل على مثلث مغلق هو مثلث القوى؛ ولإيجاده، نرسم من نقطة (م) متجه الوزن (و) الذي مقداره (١٠) نيوتن متجهاً رأسياً نحو الأسفل ومن نهايته نرسم المتجه ($س_١$)،ومن نهاية ($س_١$) نرسم المتجه ($س_٢$) فتنطبق نهايته على بداية متجه الوزن (و)؛ فنحصل بذلك على مثلث القوى . أُنظر الشكل (١٨) .



شكل (١٨)

وللحصول على قيم ($س_١$) و ($س_٢$)، يفضل أن تطبق العلاقة (٧)؛ لأن زوايا المثلث الثلاث معلومة .

$$\therefore \frac{و}{جا ٣٠^\circ} = \frac{س_١}{جا ٦٠^\circ} = \frac{س_٢}{جا ٩٠^\circ} ؛$$

حيث ($جا ٣٠^\circ = \frac{١}{٢}$ ، $جا ٦٠^\circ = \frac{\sqrt{٣}}{٢}$ ، $جا ٩٠^\circ = ١$)، من النسبة الأولى، والثانية نجد $س_١$ ؛ حيث :

$$\frac{١٠}{\frac{١}{٢}} = \frac{س_١}{\frac{\sqrt{٣}}{٢}} \text{ أي } \frac{س_١}{\sqrt{٣}} = ١٠ \text{ ، ومنه}$$

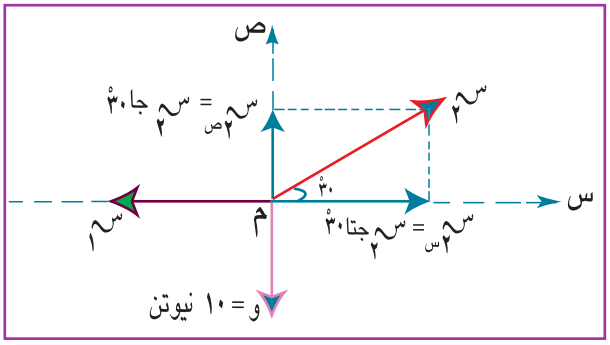
$س_١ = ١٠ \sqrt{٣}$ نيوتن. ومن النسبة الأولى، والثالثة نوجد $س_٢$ ؛ حيث :

$$\frac{١٠}{\frac{١}{٢}} = \frac{س_٢}{١}$$ ومنه $س_٢ = ٢٠$ نيوتن.

el-online.net

الطريقة التحليلية :

في الطريقة التحليلية نرسم من النقطة (م) (التي نعتبرها نقطة الأصل) محورين مناسبين متعامدين (س،ص) فنختار المحور (س) منطبقاً على قوة الشد ($س_1$)، والمحور (ص) منطبق



شكل (١٩)

على قوة الوزن (و)، ثم نحلل القوة $س_2$ إلى مركباتها المتعامدة على المحورين (س،ص) انظر الشكل (١٩)، ونطبق شرط التوازن الأول، وهو أن يكون المجموع الاتجاهي للقوى المؤثرة في الجسم = صفراً ،

أي : $\overleftarrow{مجـ ق} = \overleftarrow{و} + \overleftarrow{س_1} + \overleftarrow{س_2} =$ صفراً ،

أو
- $مجـ ق_{ن س} = س_{2س} + س_{1س} =$ صفراً (المجموع الجبري للمركبات السينية للقوى المؤثرة = صفراً) .
- $مجـ ق_{ن ص} = س_{2ص} + و =$ صفراً (المجموع الجبري للمركبات الصادية للقوى المؤثرة = صفراً) .

وبتطبيق العلاقتين الأخيرتين، نجد أن :

$س_2$ جتا ٣٠ – $س_1 = ٠$

$\frac{\sqrt{٣}}{٢} س_2 - س_1 = ٠$ بالضرب × ٢

$\sqrt{٣} س_2 - ٢ س_1 = ٠$ ⟵ (١)

وكذلك : $س_{2ص} + و = ٠$

∴ $س_2$ جا ٣٠ – ١٠ = ٠

$\frac{١}{٢} س_2 = ١٠$

∴ $س_2 = ٢٠$ نيوتن ٠

el-online.net

وبتعويض قيمة $س_٢$ في المعادلة (١) نجد أن :

$$٣\sqrt{٧}\ س_٢ - ٢\ س_١ = ٠$$

$$٣\sqrt{٧}\ س_٢ = ٢\ س_١$$

$$س_٢ = \frac{٣\sqrt{٧}}{٢}\ س_١$$

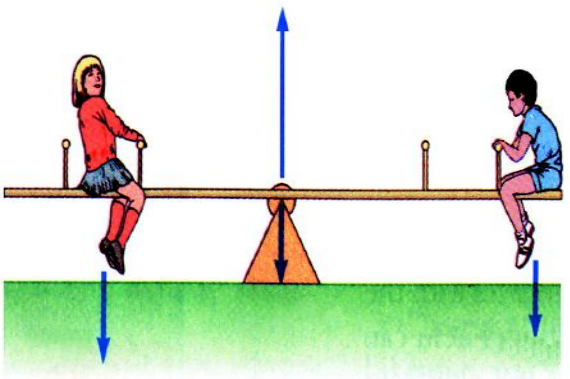
$$\therefore\ س_١ = \frac{٣\sqrt{٧}}{٢} \times ٢٠$$

$$س_١ = ١٠\ ٣\sqrt{٧}\ \text{نيوتن} .$$

توازن جسم صلب خاضع لتأثير عدة قوى مستوية متوازية

عندما درست شروط توازن جسم صلب تؤثر فيه ثلاث قوى مستوية متلاقية أهملنا الأثر الدوراني لهذه القوى في شروط التوازن.

أما إذا كان الجسم قابلاً للدوران حول محور ثابت، وخاضع لتأثير عدة قوى مستوية، ومتوازية، مثل أرجوحة الأطفال (Seesaw) أو رافعة البناء، أُنظر إلى الشكل (٢٠)؛ فلابد من إضافة شرط جديد يحقق للجسم حالة توازن دوراني.



شكل(٢٠)

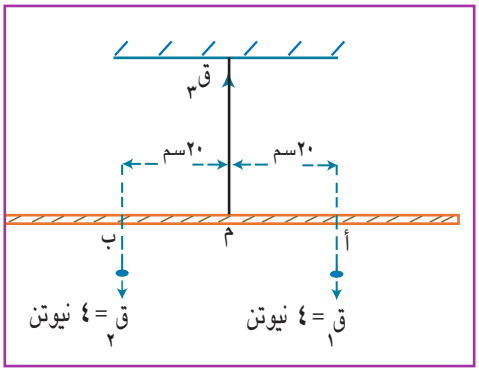
ولمعرفة هذا الشرط أجر النشاط التالي :

el-online.net

النشاط (٣)

١- علق قضيباً منتظماً مستقيماً من منتصفه (م) ، طوله متراً (نعتبره مهمل الوزن)، بحيث يتزن في وضع أفقي.

٢- علق عند كل من النقاط (أ،ب) على جانبي(م) ثقلاً مقداره (٤) نيوتن ويبعد عن (م) مسافة قدرها (٢٠)سم كما هو مبين في الشكل (٢١).



شكل (٢١)

نلاحظ أن القضيب يحتفظ بتوازنه في وضع أفقي تحت تأثير ثلاث قوى مستوية متوازية هي ($ق_1$ ، $ق_2$ ، $ق_3$)

حيث $ق_3$ هي قوة الشد في الحبل المعلق به القضيب من النقطة (م). إذا اعتبرنا القوى المتجهة إلى أعلى موجبة، والقوى المتجهة نحو الأسفل سالبة، فبحسب شروط التوازن الأول لابد أن يكون المجموع الجبري للقوى المؤثرة في القضيب = صفراً

أي: $مجـ_{ن=1}^{3} ق_ن = ق_3 - ق_2 - ق_1$ = صفراً.

ملاحظة: (عندما تكون القوى متوازية كما هو في هذه الحالة يصبح جمع القوى (الاتجاهي) جمعاً جبرياً).

٣- أزح الثقل المؤثر عند النقطة (أ) مسافة قدرها (٢٠)سم بحيث يصبح بعده عن المركز (م) ٤٠سم؛ نلاحظ أن التوازن يختل على الرغم من أن شرط التوازن الأول (مجـ ق = صفراً) ما يزال محققاً، وأن القضيب يدور في اتجاه حركة عقارب الساعة، وذلك تحت تأثير عزم القوة ($\overleftarrow{ق_1}$) حول المركز (م) ؛ حيث يساوي

$عـ_م(ق_1) = ق_1 \times ل_1 = ٤ \times ٠,٤ = ١,٦$ (نيوتن.متر)، أُنظر الشكل (٢٢).

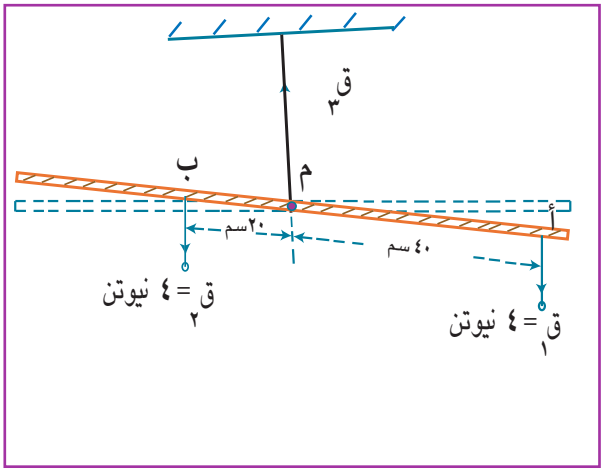
٤- إذا أردنا أن يحتفظ القضيب بحالة توازنه في وضع أفقي تحت تأثير عزم القوة

$عـ_م(ق_1)$ = ١,٦ نيوتن. متر ؛

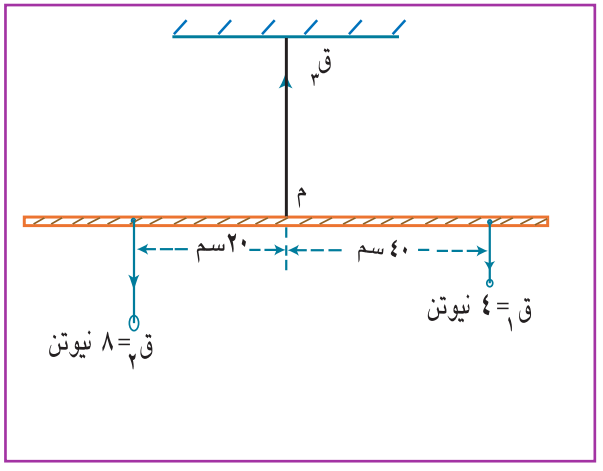
el-online.net

فيجب أن نؤثر عليه بعزم قوة آخر، وليكن عم (ق٢) مساوياً لعزم القوة عم (ق١) في المقدار، ومضاد له في الاتجاه، وذلك بأن نزيح القوة (ق٢) إلى مسافة قدرها (٤٠) سم عن المركز (م)، أو أن نضاعف وزن الثقل ق٢ بأن نجعله (٨) نيوتن بحيث يكون عم (ق٢) = ق٢ × ل٢ = ٨ × ٠,٢ = ١,٦ نيوتن. م.

أُنظر الشكل (٢٣).



شكل (٢٢)



شكل (٢٣)

el-online.net

نستخلص مما تقدم: لكي يتوازن جسم صلب واقع تحت تأثير عدة قوى مستوية متوازية يجب أن يتحقق الشرطان التاليان :

١- أن يكون المجموع الجبري للقوى المؤثرة في الجسم = صفراً ،

أي أن : $\boxed{\text{مجـــ}_{ن=١}^{ن}\ ق_ن = \text{صفر}}$

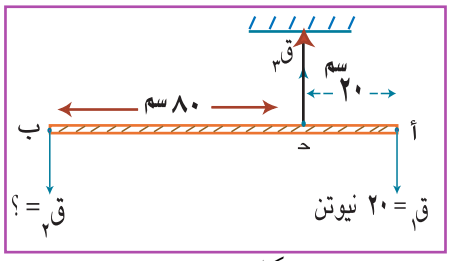
٢- أن يكون المجموع الجبري لعزوم القوى حول أي محور ثابت عمودي على مستوى القوى = صفراً ،

أي أن : $\boxed{\text{مجـــ}_{ن=١}^{ن}\ \text{عـ}(ق_ن) = \text{صفر}}$ .....(٧)

(مع الأخذ بعين الاعتبار إشارة اتجاه الدوران) .

أجر النشاط التالي :

علق قضيباً منتظماً (أ ب) طوله (١٠٠)سم (مهمل الوزن) بحبل من نقطة (جـ) تبعد (٢٠)سم من طرفه (أ)؛ فإذا علق في الطرف (أ) الثقل ($ق_١$) مقداره (٢٠) نيوتن كما هو مبين في الشكل (٢٤) . فاحسب ما يلي :



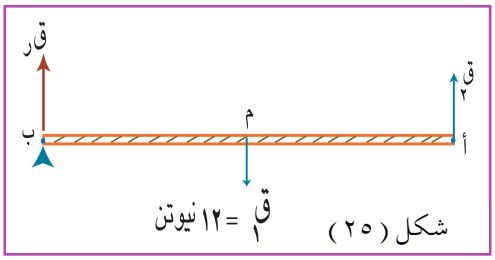
شكل (٢٤)

أ – مقدار الثقل ($ق_٢$) الذي يجب أن يعلق في الطرف (ب) حتى يتوازن القضيب في وضع أفقي .

ب – مقدار الشد ($ق_٣$) في الحبل .

ملاحظة: لإيجاد مقدار الشد ($ق_٣$) يمكنك استعمال ميزان زنبركي، وذلك بتعليق القضيب به في النقطة جـ.

مثال (٥): قضيب مستقيم منتظم (أب) طوله (متران)، تؤثر في منتصفه (م) قوة ($ق_١$) مقدارها ١٢ نيوتن ومتجهة نحو الأسفل، وأخرى مجهولة ($ق_٢$) في الطرف (أ) ومتجهة نحو الأعلى. فإذا كان القضيب يرتكز على مفصل عندطرفه (ب) وكان في وضع أفقي متزن كما هو مبين في الشكل(٢٥) . فأوجد مقدار القوة المجهول ($ق_٢$) وقوة رد فعل المفصل ($ق_ر$) في القضيب في الطرف (ب) .

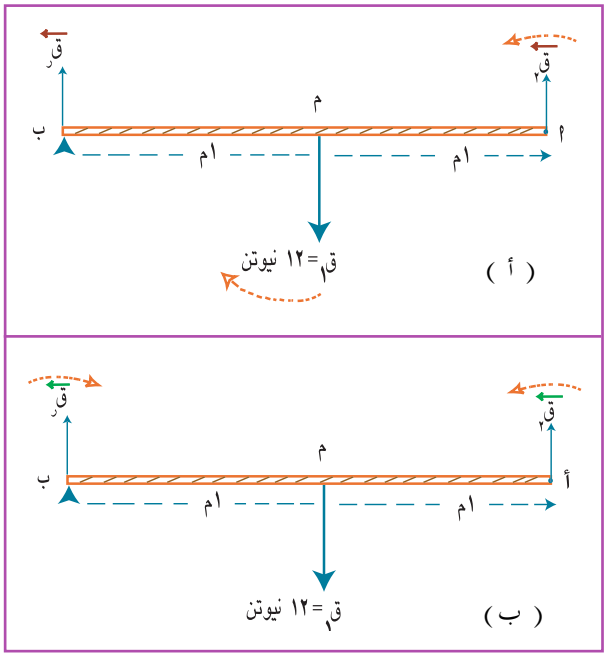


شكل (٢٥)

el-online.net

الحـل :

القوى المؤثرة في القضيب هي القوة (ق١) = (١٢) نيوتن، وتؤثر في منتصفه عند (م) ومتجهة نحو الأسفل، والقوة (ق٢) المؤثرة في الطرف (أ)، ومتجهة نحو الأعلى، وقوة رد فعل المفصل (ب) في القضيب (قر)، ومتجهة نحو الأعلى. كما هو مبين في الشكل (٢٦).



شكل (٢٦)

لحساب مقادير القوتين المجهولتين: (ق٢) و(قر)، نطبق شرطي التوازن لجسم خاضع لتأثير قوى متوازية.

ملاحظة : (إذا كان لدينا قوتان مؤثرتان مجهولتان، كما هو الحال في هذا المثال،نأخذ العزوم حول نقطة تمر منها إحدى هاتين القوتين، وذلك لكي نلغي (نعدم) عزم القوة حول تلك النقطة، وتبقى في معادلة العزوم قوة واحدة مجهولة فقط).

نحسب أولاً: مقدار القوة (ق١)، وذلك بحساب مجموع عزوم القوى حول النقطة (ب) التي تمر منها القوة الثانية (قر) المجهولة، ونجعله = صفراً ، وذلك بحسب الشرط الثاني للتوازن ، أي:

مجـ عـ ب (ق) = ق٢ × ٢ – ١٢ × ١ + قر × صفر = صفراً.

يبين الشكل (٢٦ أ) جهة دوران القوى حول (ب).

∴ ٢ ق٢ = ١٢ ، ومنه: ق٢ = ٦ نيوتن .

ولحساب (قر) نحسب مجموع عزوم القوى حول (أ) أو (م).

عزم القوى حول (م) هو:

مجـ عـ م (ق) = ١×٦ + ١٢ × صفر – قر × ١= صفراً

el-online.net

يبين الشكل (٢٦ب) جهة دوران القوى حول (م).

٦ – قر = صفراً ، ومنه قر = ٦ نيوتن.

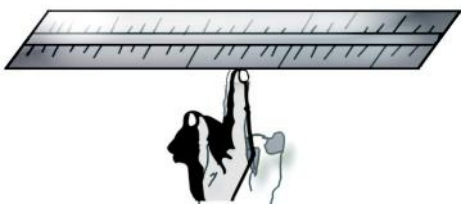
ويمكن تطبيق الشرط الأول لحساب القوة (قر)، وهو أن المجموع الجبري للقوى المؤثرة = صفراً ، أي:

مجـ ق = ق٢ + قر – ق١ = صفراً

= ٦ + قر – ١٢ = صفراً ، ومنه قر = ٦ نيوتن.

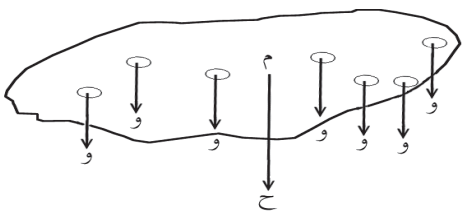
ملحوظة: وحدات ذراع القوة ليس لها تأثير على النتيجة (بالمتر أو بالسنتيمتر) شرط أن تكون متشابهة في جميع حدود المعادلة.

مركز ثقل جسم صلب، (Centre of Gravity)



شكل (٢٧)

هل حاولت أن تجعل مسطرة تتزن في وضع أفقي على رأس إصبعك كما هو مبين في الشكل (٢٧). إذا نجحت في ذلك حاول مرات أخرى أن تغير موضع إصبعك؛ فإنك ستجد أن المسطرة لا تتزن في وضع أفقي، نستنتج من ذلك بأنه توجد نقطة واحدة فقط خاصة تجعل من الممكن للمسطرة أن تتزن في وضع أفقي. هذه النقطة واقعة في منتصف المسطرة، وتدعى مركز ثقل المسطرة. ولإدراك مفهوم مركز ثقل جسم دعنا نتذكر من الدروس السابقة بأن ثقل جسم هو عبارة عن قوة جذب الأرض له. ويعرّف مركز ثقل أي جسم بأنه تلك النقطة التي يمكن اعتبار ثقل الجسم بأكمله مركز عندها.



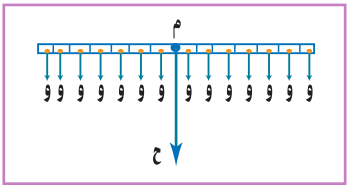
شكل (٢٨)

ولتوضيح هذا المعنى نعتبر الجسم عبارة عن مجموعة من الجسيمات الصغيرة كل واحدة منها لها قوة جذب أي قوة ثقل (و)، أُنظر الشكل (٢٨) هذه القوى كلها متوازية، ومتجهة دائماً نحو الأسفل فمقدار محصلتها (ح)= مقدار وزن الجسم ولها نفس الاتجاه

el-online.net

ونقطة تأثيرها (م) تسمى بمركز ثقل الجسم، **أي أن مركز ثقل جسم هو النقطة التي يؤثر فيها ثقله.**

تطبيقاً لما ذكرناه نبحث عن مركز ثقل قضيب منتظم (أي ساق سمكه منتظم على امتداد طوله) من أجل ذلك نقسم طوله إلى أجزاء صغيرة متساوية فيكون لكل جزء من هذه الأجزاء قوة ثقل (و) كلها متساوية، وموجهة نحو الأسفل فتكون نقطة تأثير محصلة هذه القوى (ح) (بسبب التماثل) في منتصف القضيب (م) هي مركز ثقله انظر شكل (٢٩).

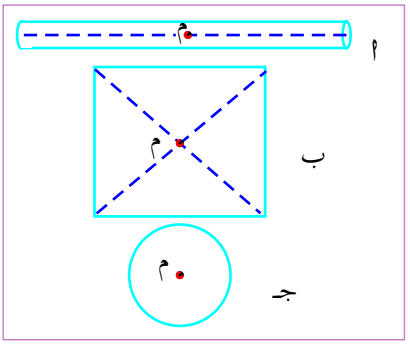


شكل (٢٩)

مركز ثقل جسم وشكله الهندسي

إذا كان الجسم منتظم الشكل الهندسي وله توزيع متجانس للكتلة؛ فإن مركز ثقله ينطبق على مركز شكله الهندسي.

فمثلاً النقطة (م) في الشكل (٣٠/أ) تمثل مركز ثقل أسطوانة طويلة متجانسة وهي في منتصف محورها أو هي منتصف قضيب طويل منتظم متجانس وفي الشكل (٣٠ب) تمثل (م) مركز ثقل المربع وكذلك في الشكل (٣٠جـ) تمثل مركز ثقل الشكل الدائري أو الكروي وهي المراكز الهندسية لهذه الأشكال.



شكل (٣٠)

ملحوظة: للجسم مركز ثقل واحد تمر منه قوة ثقله، أي: وزنه، وهو ثابت لا يتغير مهما كان وضع الجسم.

توازن جسم صلب ومركز ثقله

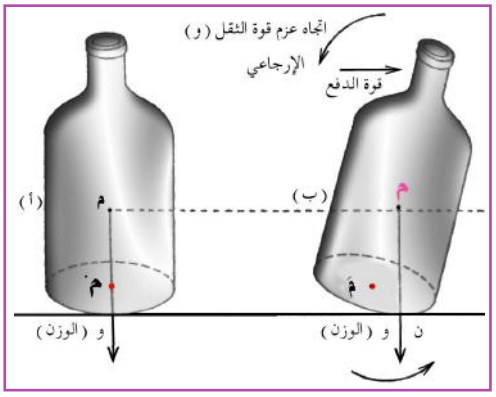
إذا حاولت أن تتأمل في توازن الأجسام فإنك قد تتساءل عن سهولة انقلاب بعض الأجسام، والعكس مع البعض الآخر وكذلك قد تتساءل لماذا سيارات السباق تصنع بحيث يكون ارتفاعها أقل ما يمكن عن سطح الأرض. هذه الأسئلة ستجد الجواب عنها إذا نظرت إلى مركز ثقل الجسم، وعلاقته بتوازنه. وللبحث عن هذه الأسئلة نقوم بالنشاط التالي:

el-online.net

النشاط (٤)

الأدوات اللازمة لهذا النشاط، هي قارورة زجاجية أو بلستيكية مناسبة.

١- ضع القارورة على قاعدتها على أرضية مستوية أفقية كما هو مبين في الشكل (٣١ / أ) في هذه الحالة تكون القارورة في وضع توازن سكوني.



شكل (٣١)

٢- ادفع القارورة من عنقها دفعة خفيفة نحو اليمين هذه الدفعة تجعل القارورة تميل نحو اليمين، أو تشرع بالدوران في اتجاه حركة عقارب الساعة حول نقطة (ن) على حرف قاعدتها، كما هو مبين في الشكل (٣١ / ب) ولكن ما تلبث أن تعود إلى وضع توازنها الأصلي.

■ السؤال لماذا لم تنقلب القارورة بسهولة؟ والجواب هو:

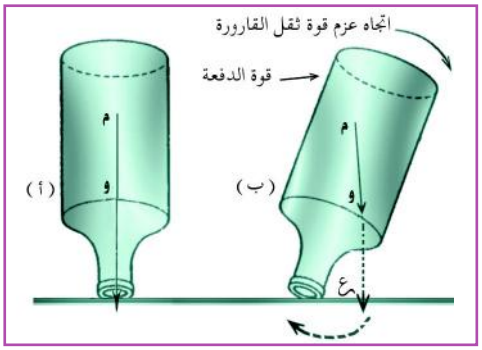
تعلم من معلوماتك السابقة أن خط عمل قوة ثقل القارورة (و) يتجه دوماً رأسياً نحو الأسفل ويمر من مركز ثقلها (م) إلى مركز قاعدتها (مَ) أُنظر الشكل (٣١ / أ)، وإذا مالت القارورة نحو اليمين؛ فإن موضع مركز ثقلها (م) يرتفع قليلاً بالنسبة للأرضية الموضوعة عليها مما يجعل مرور خط عمل قوة الثقل (و) من يسار النقطة (ن) أي من خلال قاعدتها كما في الشكل (٣١ب) وهذا يؤدي إلى نشوء عزم إرجاعي لقوة الثقل (و) حول نقطة الدوران (ن) اتجاهه هو عكس اتجاه دوران عقارب الساعة، وهو يعاكس عزم قوة الدفع، ويحاول إرجاع القارورة إلى وضع توازنها الأصلي. هذا النوع من التوازن يسمى توازن مستقر. (Stable equilibrium)

ملاحظة: عندما ذكرنا أن القارورة لم تنقلب بسهول فالقصد دفعة خفيفة، ولكن إذا دفعناها بقوة أكبر نسبياً فستنقلب حتماً.

٣- ضع الآن القارورة مقلوبة بحيث ترتكز على فتحتها نحو الأسفل في وضع رأسي متزن كما هو مبين في الشكل (٣٢ أ).

٤- ادفع القارورة نحو اليمين دفعة خفيفة (تماثل الدفعة السابقة) ماذا تشاهد؟

el-online.net



شكل (٣٢)

تلاحظ ما يلي :

انقلاب القارورة بسرعة،وبسهولة (بعكس الحالة السابقة) وتفسير ذلك يعود إلى أن خط عمل قوة ثقل القارورة (و) يمرّ خارج القاعدة التي ترتكز عليها (وهي فوهتها)، وعلى يمين نقطة الدوران (ع) بعكس الحالة السابقة، انظر الشكل (٣٢ ب) ينتج عن ذلك أن اتجاه عزم قوة ثقل القارورة حول النقطة (ع) هو نفس اتجاه عزم قوة الدفع، الأمر الذي يساعد في انقلاب القارورة بطريقة أسهل .

هذا النوع من التوازن يسمى توازن غير مستقر (قلق) (Unstable Equilibrium)

تلاحظ إن مركز ثقل القارورة (م)يتغير موضعه بالانخفاض بالنسبة للأرضية التي يرتكز عليها وذلك عندما تشرع القارورة بالانقلاب، ويتواصل الانخفاض تدريجياً حتى وصول القارورة إلى وضع توازن مستقر، وذلك عندما يستقر سطحها الجانبي على الأرض .

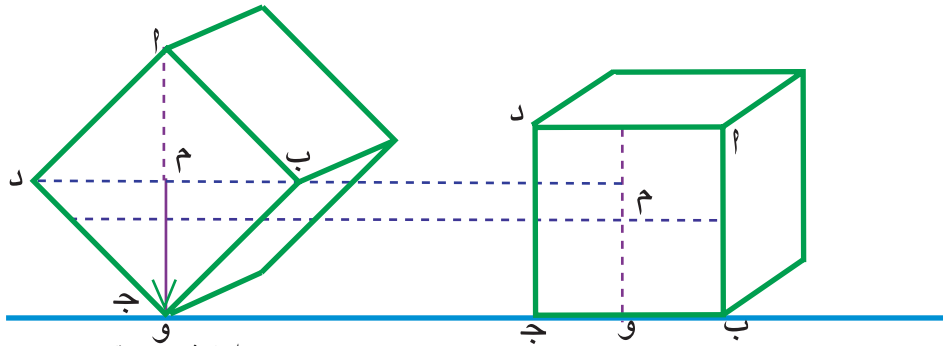
نستنتج مما سبق : بأنه لكي يكون الجسم أكثر استقراراً، ينبغي أن تكون مساحة قاعدته التي يرتكز عليها أكبر، وارتفاع مركز ثقله اخفض ما يمكن بالنسبة للقاعدة التي يرتكز عليها ومن هنا نستطيع أن ندرك الآن سبب انخفاض ارتفاعات سيارات السباق؛ لأنه بذلك يكون ارتفاع مركز ثقل السيارة منخفضاً مما يجعل خط عمل قوة ثقلها يمر غالباً من خلال قاعدتها، مهما كان ميلانها مما يوفر لها توازن أكثر استقراراً أثناء حركتها .

النشاط (٥)

خذ عدة قوارير مختلفة في أطوالها ومساحات قواعدها، أو مخاريط خشبية منتظمة، وطبق عليها النتيجة التي توصلنا لها .

مثال من واقع الحياة العملية : في هذا المثال : يُوضع نفس المكعب (ا ب جـ د) في وضعين مختلفين، انظر شكل (٣٣) ففي وضع التوازن المستقر (ا) تلاحظ أن المكعب يرتكز على أحد سطوح جوانبه : (ب جـ)، فهو يرتكز على

el-online.net



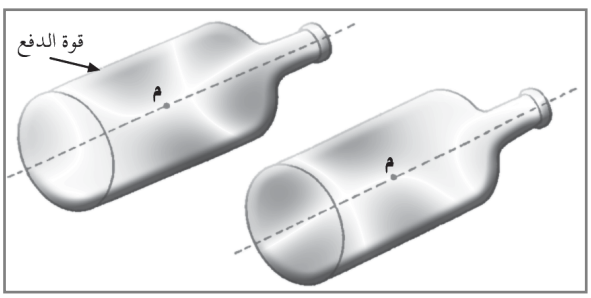
شكل (٣٣)

قاعدة أعرض وأن ارتفاع مركز ثقله (م) أخفض بالنسبة لقاعدته، مقارنة بالوضع الثاني غير المستقر، (ب)؛ حيث يرتكز المكعب على حرفه (جـ) ففي الوضع المستقر (أ) تلاحظ أن خط عمل قوة ثقله (و) يمر من خلال قاعدته التي يرتكز عليها حتى ولومال قليلاً مما يجعله يعود إلى وضع توازنه بسرعة، بينما في الوضع (ب) غير المستقر؛ فإن أية هزة صغيرة للمكعب يجعل خط عمل قوة ثقله (و) تمر من خارج القاعدة التي يرتكز عليها، مما يجعله ينقلب بسهولة.

إذا وضعت القارورة على جانبها الأسطواني، وأعطيتها دفعة تمس سطحها الأسطواني العلوي كما هو مبين في الشكل (٣٤)؛ فإنها تتدحرج بسبب شكلها الاسطواني، وعندما تتوقف عن دفعها فإنها تستمر في الحركة حتى تتوقف بعد فترة.

وهذا الشكل الأسطواني يجعل ارتفاع مركز ثقلها فوق السطح الذي تتدحرج عليه ثابتاً فلا ينتج عن ذلك عزم قوة يؤدي إلى انقلابها، فتكون دائماً في حالة توازن في أي وضع.

هذا النوع من التوازن يسمى بالتوازن المتعادل أو (Neutral Equilibrium) (المستمر).



شكل (٣٤)

el-online.net

تقويم الوحدة

١- أكمل الجمل الآتية:

أ – إذا أثرت عدة قوى متوازية مستوية على جسم فإن الجسم يكون في حالة اتزان إذا كان:

i) المجموع .....المؤثرة على الجسم = ...

ii) المجموع ..... المؤثرة على الجسم حول ..... = ...

ب – إذا أثرت ثلاث قوى مستوية متلاقية (غير متوازية) على جسم فإن الجسم يكون في حالة اتزان إذا كان:

i) المجموع .... المؤثرة على الجسم = ...

ii) القوى الثلاث المؤثرة في الجسم .....

٢- عرف كل من:

أ – عزم القوة.

ب – الازدواج.

٣- متى يكون عزم القوة صفراً؟

٤- في أية حالة تكون القوتان المتساويتان في المقدار، والمتعاكستان في الاتجاه لا تشكلان ازدواجاً ؟

٥- اذكر مثالين عمليين للازدواج من غير الأمثلة المذكورة في الكتاب.

٦- ضع العلامة (√) أمام العبارة الصحيحة، وعلامة (X) أمام العبارة الخطأ:

أ – عند ثبات القوة يكون عزم القوة أكبر ما يمكن عندما يكون ذراعها أكبر ما يمكن ( ).

ب – عزم القوة هو كمية قياسية ( ).

جـ – يكون الجسم المتوازن أكثر استقراراً إذا كانت مساحة القاعدة التي يرتكز عليها أكبر، وارتفاع مركز ثقله أخفض ( ).

د – سيارة الشحن تكون أكثر عرضة للانقلاب؛ إذا كان ارتفاع حمولتها أكبر ( ).

el-online.net

هـ – عزم الازدواج يعتمد دوماً على اختيار مركز العزم ( ) .

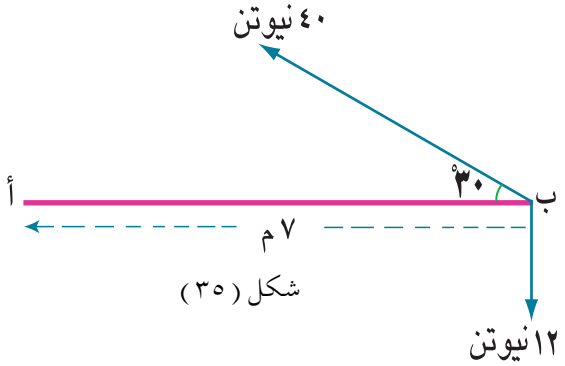
و – قوة وزن الجسم تمر دوماً من مركز ثقله ( ) .

ز – في التوازن المتعادل يظل ارتفاع مركز ثقل الجسم أثناء حركته غير ثابت بالنسبة للأرضية المرتكز عليها ( ) .

٧– في الشكل (٣٥) احسب مجموع عزوم القوى الواقعة في مستوى الورقة حول محور عمودي على مستواها يمر :

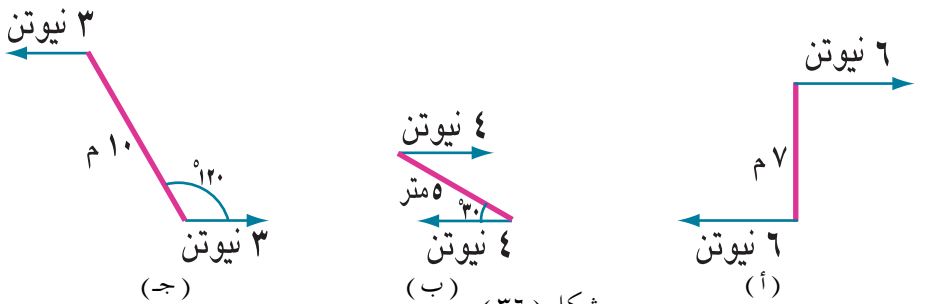
أ – خلال (أ) .

ب– خلال (ب) .



شكل (٣٥)

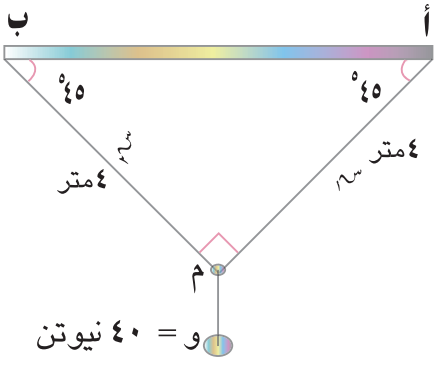
٨– احسب عزم الازدواج في كل من الرسومات الواردة في الشكل (٣٦) .



شكل (٣٦)

٩– رُبطَ حبلٌ طوله (٨) أمتار في خطافين مثبتين في سقف أفقي، في النقطتين (أ،ب) . ثم علق في نقطة (م) من منتصف الحبل ثقل قدره (٤٠) نيوتن؛ بحيث تكون الزاوية أ م ب = ٩٠° كما هو مبين في الشكل (٣٧) .

أوجد بطريقة مثلث القوى وبالطريقة التحليلية الشد في كل جزء من الحبل.

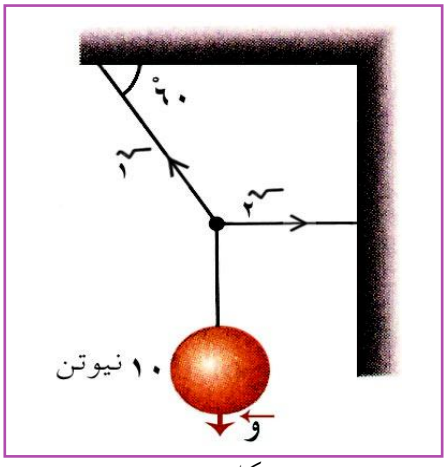


شكل (٣٧)

el-online.net

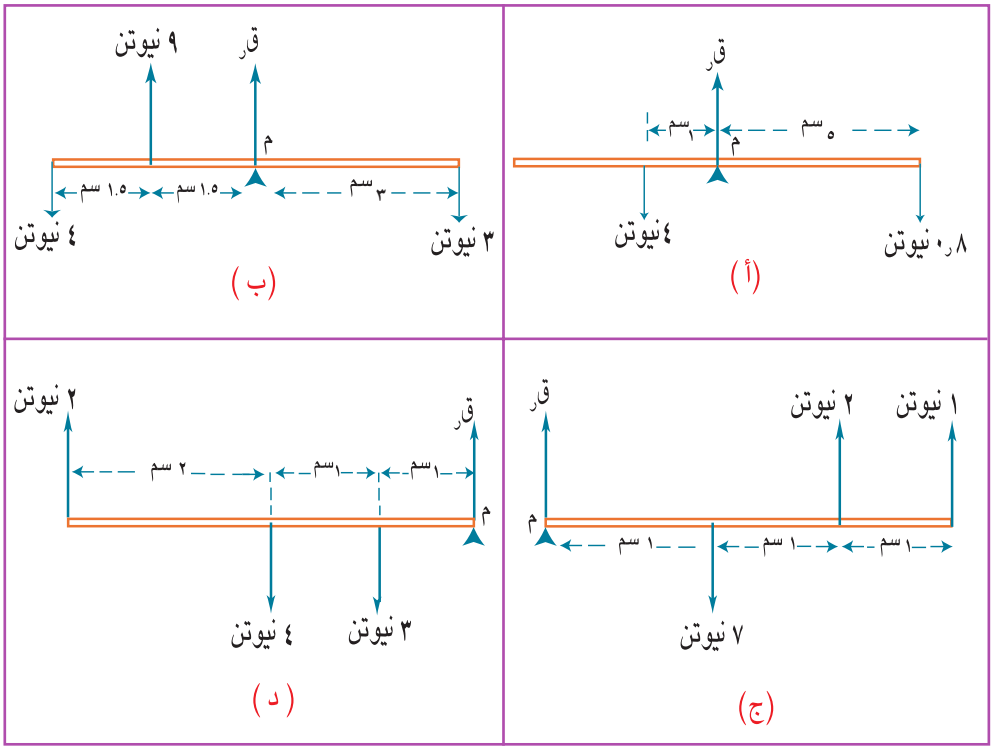
١٠- في الشكل (٣٨) أوجد سم١ ، وسم٢ في الحبلين بطريقة مثلث القوى، وبالطريقة التحليلية .

١١- في الشكل (٣٩) أيُّ الأجسام هي في حالة توازن، ثم أوجد القوة (قر) .



شكل (٣٨)

ملاحظة : لإيجاد القوة (قر) نأخذ العزوم حول محور الدوران (م) .



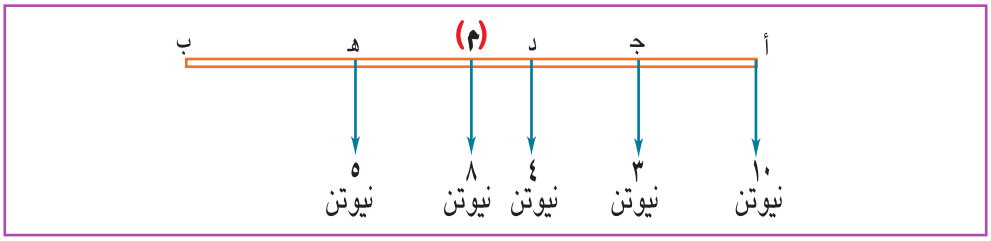
شكل : (٣٩)

el-online.net

١٢- قضيب مستقيم منتظم (أ ب) طوله متر، ويزن (٨) نيوتن، علقت فيه الأثقال (١٠، ٣، ٤، ٥) نيوتن، في النقاط (أ، جـ، ء، هـ) التي تبعد عن الطرف (ب) المسافات (متراً واحداً، ٠,٨ متراً، ٠,٦ متراً، ٠,٣ متراً) على الترتيب، كما هو مبين في الشكل (٤٠).

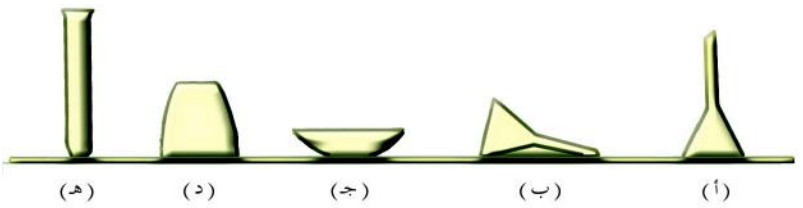
أ – في أية نقطة يمكن أن يُعَلَّقُ القضيب؛ بحيث يتزن في وضع أفقي.

ب – أوجد قوة الشد في الحبل الذي تعلق به القضيب.



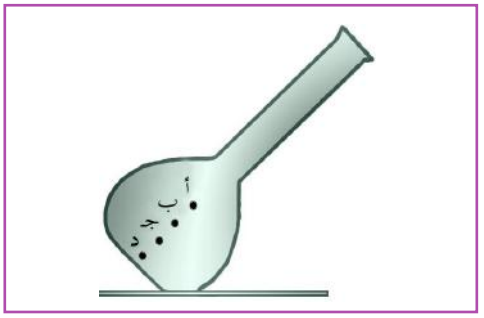
شكل (٤٠)

١٣- في الشكل (٤١) أشكال من (أ) إلى (هـ) تبين بعض الأواني المخبرية، وضعت على طاولة في أوضاع مختلفة. أُذكر نوع التوازن لكل واحد من هذه الأواني.



شكل (٤١)

١٤- في الشكل (٤٢) دورق مختبر طويل ينقلب نحو اليمين. ماهي النقطة الأكثر احتمالاً من النقاط (أ، ب، جـ، ء) التي يمكن أن تكون نقطة مركز ثقله مع إعطاء تفسير لجوابك.



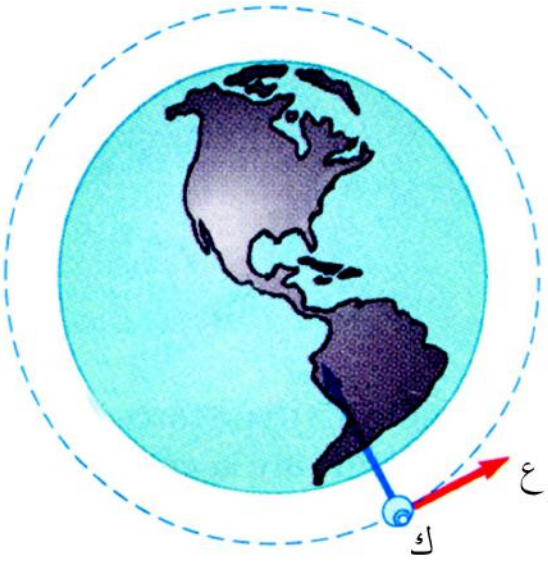
شكل (٤٢)

el-online.net

الوحدة الثانية

الحركات الدورية
Periodic Motions

أهداف الوحدة



يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة وتنفيذ الأنشطة الواردة فيها أن يكون قادراً على أن :

١ – يعرّف الحركات الدورية .

٢ – يعرّف كل من الحركة الدائرية المنتظمة، الحركة التوافقية البسيطة والحركة الموجية .

٣ – يعرف كل من الزمن الدوري والتردد .

٤ – يحسب مقدار كل من قوة الجذب المركزية وعجلة الجذب المركزية في الحركة الدائرية المنتظمة .

٥ – يذكر نص قانون نيوتن العام في الجاذبية، ويعرف شدة مجال الجاذبية الأرضية .

٦ – يوضح العلاقة بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة .

٧ – يوضح المقصود بمفهوم الموجة وطولها وفرق الطور بين موجتين وفرق مسارهما .

٨ – يفسر طريقة انتقال الموجات المستعرضة والطولية والمقارنة بينهما .

٩ – يوضح العلاقة الرياضية بين سرعة الموجة وطولها الموجي وترددها .

١٠– يوضح مفهوم التداخل .

١١– يستخدم القوانين الواردة في هذه الوحدة لحل المسائل ذات العلاقة .

el-online.net

الحركات الدورية

لو تأملت في حركة بندول الساعة الحائطية أو مكبس محرك السيارة أو حركة دقات قلبك أو موجة تنتشر في حبل أو حركة القمر حول الأرض أو حركة الأرض حول الشمس أو حركتها حول نفسها، تجد أن جميع هذه الحركات تكرر نفسها خلال فترات زمنية متساوية، هذا النوع الخاص من الحركات يسمى بالحركات الدورية (Periodic Motions).

في هذه الوحدة ستدرس ثلاثة أنواع من هذه الحركات وهي الحركة الدائرية المنتظمة والحركة الاهتزازية والحركة الموجية وخواص كل منها.

الحركة الدائرية المنتظمة The Uniform Circural Motion

لمعرفة خصائص هذه الحركة أجر النشاط التالي:

النشاط (ا)

١- اربط كرة صغيرة كتلتها (ك) بطرف خيط طوله (ف) وامسك الطرف الآخر بيدك.

٢- قم بتدوير الكرة بسرعة ثابتة (ع) على مسار دائري في مستوى أفقي كما هو مبين في الشكل (١ ا) بماذا تشعر؟

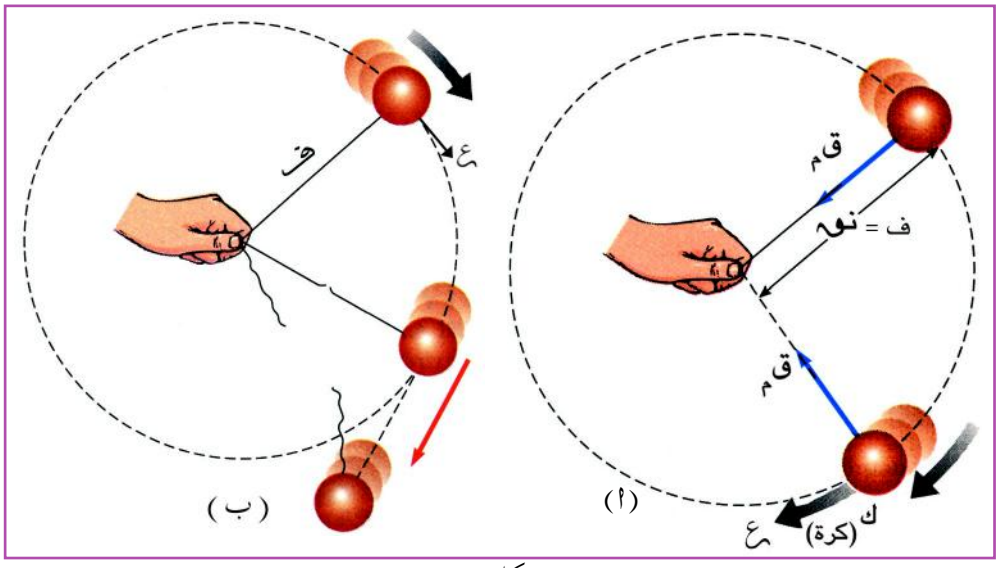
٣- تلاحظ بأنه لابد أن تشد الخيط حتى تجبر الكرة على الحركة في مسار دائري (لأن الكرة تحاول أن تتحرك في خط مستقيم والشد في الخيط يمنعها من ذلك).

٤- كلما ازداد مقدار سرعة الكرة كلما شعرت بأنه لابد من شد الخيط أكثر .

٥- إذا قُطعَ الخيط أو أفْلت فإن الكرة تتحرك في خط مستقيم مماس للمسار الدائري الذي كانت تسلكه لحظة الإفلات انظر الشكل (١- ب) .

إن الحركة التي تتحركها الكرة المربوطة بالخيط تسمى بالحركة الدائرية المنتظمة وهي حركة جسم على مسار دائري بسرعة خطية منتظمة (ع) مقدارها ثابت واتجاهها متغير. وهي حالة خاصة من الحركة الدائرية العامة التي يتحرك فيها الجسيم بسرعة مقدارها متغير.

el-online.net



شكل (١)

قوة الجذب المركزية Centripetal Force

نستنتج من النشاط السابق بأنه لكي يتحرك جسم في حركة دائرية منتظمة لابد من التأثير عليه بقوة ثابتة على نصف قطر المسار الدائري في اتجاه المركز انظر الشكل (١-أ) أي متعامدة مع اتجاه سرعة الجسم (ع) المماسة للمسار الدائري . تسمى هذه القوة بقوة الجذب المركزية ويرمز لها بالرمز (ق م) وقد وجد إن قيمتها تساوي

$$ق_م = ك \frac{ع^2}{ف}$$ حيث (ف) طول الخيط ويساوي نصف قطر المسار الدائري (نـو هـ) و(ك) كتلة الجسم و(ع) سرعته .

$$ق_م = ك \frac{ع^2}{نـو هـ} \quad \ldots\ldots\ldots (١)$$

عجلة الجذب المركزية Centripetal Acceleration

ينتج عن قوة الجذب المركزية (ق م) عجلة جذب مركزية (جـ م) لها نفس اتجاه القوة الجاذبة ومقدارها (بحسب قانون نيوتن الثاني) يساوي :

$$جـ_م = \frac{ق_م}{ك}$$ وبالتعويض عن ق م من العلاقة (١) ينتج :

$$جـ_م = \frac{ع^2}{نـو هـ} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢)$$

el-online.net

ملاحظة مهمة

عندما يتحرك جسم بسرعة مقدارها ثابت وفي خط مستقيم (أي في اتجاه ثابت) فإن سرعته كمتجه تكون ثابتة وذلك بثبوت القيمة والاتجاه وبالتالي فإن عجلته تكون معدومة . أما إذا تحرك جسم على مسار دائري بسرعة خطية قيمتها ثابتة فإن سرعته كمتجه تكون متغيرة بانتظام وذلك بسبب تغير الاتجاه المستمر أثناء الحركة وينتج عن ذلك عجلة منتظمة (أي ثابتة) ويبرهن بأنها محمولة على نصف قطر المسار الدائري في اتجاه المركز وعمودية على اتجاه السرعة، ولو لم يكن ذلك صحيحاً لكان لتلك العجلة مركبة في اتجاه السرعة ولتغيرت طبقاً لذلك قيمة السرعة وما بقيت ثابتة كما وصفنا هذه الحركة .

الزمن الدوري : Periodic Time

يعرف الزمن الدوري بأنه الزمن اللازم لجسيم متحرك لعمل دورة كاملة ونرمز له بالرمز (ز)

التردد : Frequency

يعرف بأنه عدد الدورات التي يقوم بها الجسيم المتحرك في الثانية الواحدة ونرمز له بالرمز (f) وهو يساوي مقلوب الزمن الدوري أي :

$$f = \frac{١}{ز} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٣)$$

لأنه إذا كان الزمن الدوري أي الزمن اللازم لجسيم متحرك لعمل دورة كاملة هو ربع ثانية أي $ز = \frac{١}{٤}$ ثانية ، فإن الجسيم سيعمل في الثانية الواحدة أربع دورات أي أن التردد (f) يساوي :

$$f = \frac{١}{ز} = \frac{١}{\frac{١}{٤}} = ٤$$ أربع دورات في الثانية .

ووحدة قياسه هي دورة في الثانية (دورة / ث) أو (هيرتز) وهو اسم عالم فيزيائي ألماني عمل في هذا المجال وسُميت الوحدة باسمه تكريماً له .

el-online.net

مقدار سرعة الجسم الثابتة (ع) على المسار الدائري تساوى

$$ع = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{طول المحيط الدائري}}{\text{الزمن الدوري}} = \frac{٢\pi نـو}{ز}$$

وبالاستفادة من العلاقة (٣) نجد أن :

$$ع = \frac{٢\pi نـو}{ز} = ٢\pi نـو f \quad .....(٤)$$

وبتعويض هذه العلاقة في العلاقتين (١) (٢) يكون لدينا :

$$ق_م = ك \frac{ع^٢}{نـو} = ك \frac{٤\pi^٢ نـو^٢}{ز^٢} = ٤\pi^٢ f^٢ نـو ك \quad ..... (٥)$$

ومنه فعجلة الجذب المركزية تساوي

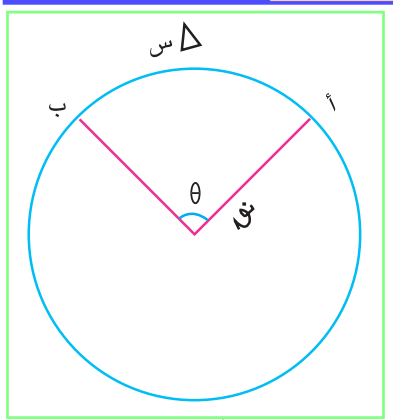
$$حـ_م = \frac{ع^٢}{نـو} = \frac{٤\pi^٢ نـو^٢}{ز^٢} = ٤\pi^٢ f^٢ نـو \quad ..... (٦)$$

(حيث $f = \frac{١}{ز}$)

الإزاحة الزاوية : Angular displacement

إذا تحرك جسم على محيط دائرة نصف قطرها (نـو) من النقطة (أ) إلى النقطة (ب) مسافة قدرها (Δس) كما هو مبين في الشكل (٢)، فإن الإزاحة الزاوية (θ) أي الزاوية المركزية (θ) تعرف بأنها النسبة بين (Δس) و (نـو) أي :

$$\theta = \frac{\Delta س}{نـو} \quad ..... (٧)$$



شكل (٢)

ووحدة قياسها في النظام الدولي (SI) هي الزاوية النصف قطرية أي (راديان) (Radian) ويرمز له باختصار بالرمز (Rad.) ويسمى وحدة التقدير الدائري ويعرف الراديان الواحد بأنه الزاوية المركزية المقابلة لقوس Δس من دائرة مساوياً في الطول لنصف قطرها (نـو) أي :

el-online.net

$$\theta = \frac{\Delta س}{نـ_{هـ}} = \frac{نـ_{هـ}}{نـ_{هـ}} = ١ \text{ راديان ؛ (حيث } \Delta س = نـ_{هـ})$$

والإزاحة الزاوية θ المقابلة لدورة كاملة حول الدائرة

حيث ($\Delta س$ = محيط الدائرة)

$$\theta = \frac{\Delta س}{نـ_{هـ}} = \frac{\text{محيط الدائرة}}{نـ_{هـ}} = \frac{٢\pi\, نـ_{هـ}}{نـ_{هـ}} = ٢\pi \text{ (راديان) بالتقدير الدائري}$$

أي إن الزاوية المركزية (θ) = ٢π (راديان)

لكن محيط الدائرة يقسم إلى ٣٦٠ درجة (٣٦٠°)، والدرجة مقسمة إلى ٦٠ دقيقة ($٦٠'$) والدقيقة مقسمة إلى ٦٠ ثانية ($٦٠''$). إذاً الزاوية ٢π (راديان) في التقدير الدائري تساوي ٣٦٠° (درجة) في التقدير الستيني أي أن :

ومنه $\boxed{٢\pi \text{ (راديان)} = ٣٦٠^\circ}$

$$\therefore \quad ١ \text{ (راديان)} = \frac{٣٦٠^\circ}{٢\pi} = \frac{١٨٠^\circ}{\pi}$$

$$\boxed{١ \text{ (راديان)} = \frac{١٨٠}{٣,١٤} = ٥٧,٣^\circ \text{ (درجة)}} \quad .....(٨)$$

سؤال : ما هي العلاقة التي تعطي الدرجة ($^\circ$) بدلالة الراديان؟

السرعة الزاويّة : Angular Speed

تعرف السرعة الزاويّة (ω) بأنها معدل تغير الإزاحة الزاويّة (θ) بالنسبة للزمن (ز) أي

$$\boxed{\overleftarrow{\omega} = \frac{\overleftarrow{\theta} \text{ (راديان)}}{\text{ز (ثانية)}} \quad \text{راديان / ث}} \quad .....(٩)$$

ولعمل دورة كاملة ، تكون الإزاحة الزاوية $\theta = ٢\pi$ راديان ، فإذا كان (ز) هو زمنها الدوري تكون السرعة الزاويّة (ω)

$$\omega = \frac{٢\pi}{\text{ز}} \qquad \text{وحيث أن f (التردد)} = \frac{١}{\text{ز}}$$

el-online.net

∴ $\omega = \frac{2\pi}{ز} = 2\pi f$ (راديان / ث) ..... (١٠)

من هذه العلاقة والعلاقة (٤) نجد أن :

$ع = \left(\frac{2\pi}{ز}\right) نـ_{هـ} = \omega نـ_{هـ}$ أي

$ع = \omega نـ_{هـ}$ (م / ث) ..... (١١)

وهي العلاقة التي تربط بين السرعة الخطية (ع) والسرعة الزاوية (ω)

وإذا عوضنا قيمة السرعة (ع) من العلاقة (١١) في العلاقتين (٥) و(٦) نجد ($ق_م$) و (جـ م) بدلالة السرعة الزاوية (ω) أي

$ق_م = ك \frac{ع^2}{نـ_{هـ}} = ك \omega^2 نـ_{هـ}$ ..... (١٢)

$جـ_م = \frac{ع^2}{نـ_{هـ}} = \omega^2 نـ_{هـ}$ ..... (١٣)

سؤال : اذكر مثالين على الحركة الدورية من غير الأمثلة المذكورة .

مثال (١) : يتحرك جسم كتلته ٠,٢ كجم بانتظام في مسار دائري على سطح أفقي عديم الاحتكاك ومربوط بحبل طوله (٠,٢ متر) وثبت بمسمار في السطح . إذا كان الجسم يعمل دورتين في الثانية . احسب ما يلي :

أ – زمنه الدوري . ب – سرعته الخطية على المسار الدائري .

جـ – عجلة الجذب المركزية للجسم . د – سرعته الزاوية (ω) .

و – القوة التي يؤثر بها الحبل على الجسم .

الحل :

أ) تردد الجسم المتحرك = ٢ دورة / ث

∴ الزمن الدوري $ز = \frac{1}{f} = \frac{1}{2}$ ثانية

ب) سرعته الخطية $(ع) = \frac{2\pi نـ_{هـ}}{ز} = \frac{٠,٢ \times ٣,١٤ \times ٢}{\frac{1}{2}}$ = ٢,٥ متر / ث .

حيث نصف قطر المسار (نـ$_{هـ}$) هو طول الخيط .

جـ) $جـ_م = \frac{ع^2}{نـ_{هـ}} = \frac{(٢,٥)^2}{٠,٢}$ = ٣١,٢٥ م / ث^2

el-online.net

د) $\omega = \frac{ع}{نق} = \frac{٢٫٥}{٠٫٢} = ١٢٫٥$ راديان/ث

هـ) القوة التي يؤثر بها الحبل على الجسم هي قوة الجذب المركزية ($ق_م$) أي :

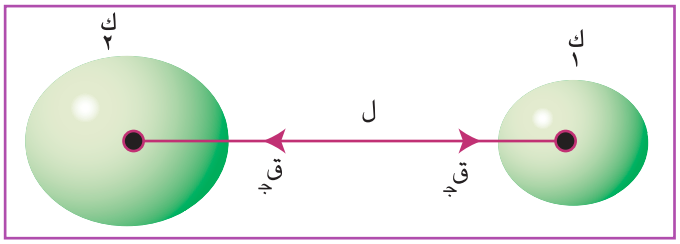
$ق_م = \frac{ك\ ع^٢}{نق} = ك\ جـ_م = ٠٫٢ \times ٣١٫٢٥ = ٦٫٢٥$ نيوتن.

قانون نيوتن العام في الجاذبية Newtons' Law of Gravity

انطلاقاً من المعلومات الفلكية التي كانت متوفرة (في القرن السابع عشر) اعتقد نيوتن أن السبب في دوران القمر حول الأرض في مسار شبه دائري يعود إلى قوة الجذب التي تؤثر بها الأرض على القمر وإلا لتحرك القمر في خط مستقيم بحسب قانونه الأول ، واستنتج إن قوة الجذب هذه ليست خاصة بنظام (الأرض – القمر) أو بنظام المجموعة الشمسية وإنما هي قوة جذب كونية تخضع لها جميع الأجسام الموجودة في الكون، فقوة الجذب التي تجبر القمر أن يتبع في حركته مساراً دائرياً هي نفس القوة التي جعلت التفاحة تسقط من الشجرة على رأسه.

واعتقد نيوتن أن جميع الأجسام في الكون تتجاذب بعضها مع بعض عبر الكون.

وفي عام ١٦٨٦م وضع قانونه الرياضي في الجاذبية الكونية الذي ينص بأن :



شكل (٣)

كل جسم في الكون يجذب أي جسم آخر بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتي الجسمين وعكسياً مع مربع المسافة الفاصلة بين مركزي كتلتيهما.

إذا كانت ($ك_١$ ، $ك_٢$) هما كتلتا الجسمين و (ل) هي المسافة الفاصلة بين مركزيهما كما في الشكل (٣) فقانون نيوتن في الجذب العام نعبر عنه رياضياً بالعلاقة :

$$ق_جـ = ج \frac{ك_١ \cdot ك_٢}{ل^٢} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١٤)$$

el-online.net

حيث (ق$_{جـ}$) هي قوة الجذب و (ج) ثابت الجذب العام وتعتمد قيمته على الوحدات المستخدمة لقياس كل من (ق$_{جـ}$) و (ك$_{١}$ ، ك$_{٢}$) و (ل) .

ففي النظام الدولي تكون قيمة (ج) .

ج = ٦٫٦٧٢ × ١٠$^{-١١}$ $\frac{\text{نيوتن . متر}^{٢}}{\text{كجم}^{٢}}$.

مثال (٢) : جسمان كتلة الأول ك$_{١}$ = ٦ كجم وكتلة الثاني ك$_{٢}$ = ٤ كجم، المسافة الفاصلة بينهما ل = ٣ متر . احسب :

أ – قوة الجذب بينهما .

ب – عجلة كل منهما في اتجاه الآخر (بفرض أن الجسمين معزولين عن أي تأثير جذب كوني آخر) وأن ثابت الجذب العام :

ج = ٦٫٦٧ × ١٠$^{-١١}$ نيوتن . متر^{٢} / كجم^{٢} .

الحل :

(أ) نطبق قانون نيوتن في الجذب العام . فكل جسم يؤثر على الآخر بقوة (ق$_{جـ}$) مقدارها يساوي :

ق$_{جـ}$ = ج $\frac{ك_{١} . ك_{٢}}{ل^{٢}}$ = ٦٫٦٧ × ١٠$^{-١١}$ × $\frac{٦ \times ٤}{(٣)^{٢}}$ = ١٧٫٨ × ١٠$^{-١١}$ نيوتن

(ب) إن مقدارا عجلة الجسم الأول (جـ$_{١}$) في اتجاه الجسم الثاني تساوي

جـ$_{١}$ = $\frac{ق_{جـ}}{ك_{١}}$ = $\frac{١٧٫٨ \times ١٠^{-١١}}{٦}$ = ٢٫٩٧ × ١٠$^{-١١}$ م/ث^{٢}

وعجلة الجسم الثاني (جـ$_{٢}$) في اتجاه الأول تساوي :

جـ$_{٢}$ = $\frac{ق_{جـ}}{ك_{٢}}$ = $\frac{١٧٫٨ \times ١٠^{-١١}}{٤}$ = ٤٫٤٥ × ١٠$^{-١١}$ م/ث^{٢}

شدة مجال الجاذبية الأرضية Earth's Gravitational Field

لقد درست في الصف الأول الثانوي بأن قوة جذب الأرض للجسم تسمى وزن ذلك الجسم، فإذا اعتبرنا جسماً كتلته (ك) و (ك$_{ر}$) كتلة الأرض و (ل) هي المسافة بين الجسم ومركز الأرض، فإنه يمكن أن نعبر عن وزن الجسم (و) بدلالة قانون نيوتن في الجذب العام بالعلاقة الآتية :

el-online.net

و = ق$_{جـ}$

ك ء = $\frac{\text{ج ك . ك}_{ر}}{\text{ل}^{٢}}$ ..... (١٥)

وبقسمة طرفي المعادلة على كتلة الجسم (ك) نجد أن :

ء = ج $\frac{\text{ك}_{ر}}{\text{ل}^{٢}}$ .....(١٦)

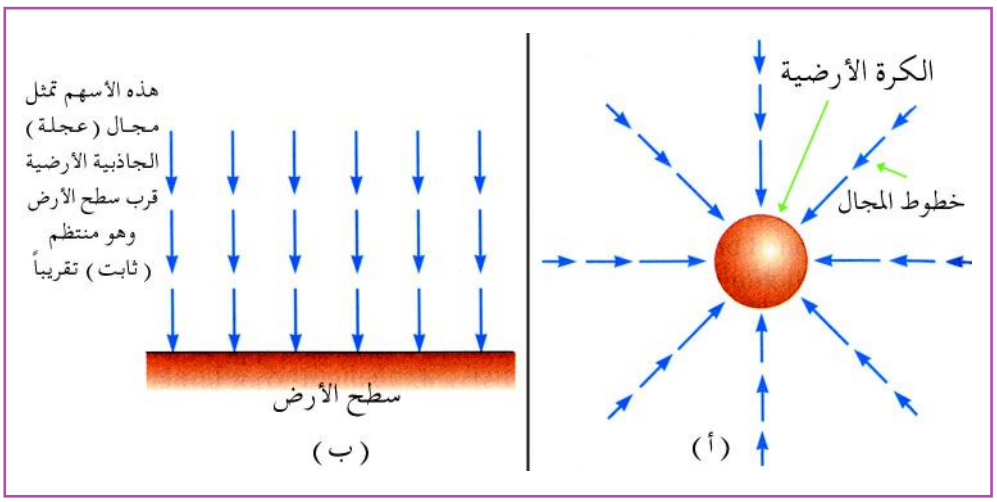
يسمى (ء) بشدة مجال الجاذبية الأرضية عند نقطة معينة

وهو عبارة عن قوة الجذب لكل واحد كيلوجرام من كتلة الجسم .

ويمكن كتابة الوزن (و) من العلاقتين (١٥) و (١٦) على النحو التالي :

$\overleftarrow{\text{و}} = \text{ك}\ \overleftarrow{\text{ء}} = \frac{\text{ج ك . ك}_{ر}}{\text{ل}^{٢}}$

إن مجال (عجلة) الجاذبية الأرضية (ء) هو كمية متجهة له اتجاه الوزن أي أن جهته هي الاتجاه نحو مركز الأرض شكل (٤ أ) وتكون قيمته تقريباً ثابتة بالقرب من سطح الأرض شكل (٤ ب) وهو يملأ الفراغ كله وأن أي جسم كتلته (ك) يوضع في هذا المجال (ء) فإن المجال يؤثر عليه بقوة (ق$_{جـ}$) هي وزنه (و) = ق$_{جـ}$ = ك ء



شكل (٤)

el-online.net

لما أعلن نيوتن نظريته في الجاذبية ووضع مفهوم مجال الجاذبية كان من الصعب على معاصريه أن يتقبلوا هذا المفهوم، فكان بالنسبة لهم لا يعقل أن يتقبلوا فكرة تفاعل جسمين ماديين من على بعد عبر الفراغ دون أن يكونا على تماس أو على اتصال مادي يصلهما مع بعضهما. ولكن نظريته لقيت فيما بعد نجاحاً كبيراً عندما استطاعت تفسير حركة الكواكب حول الشمس.

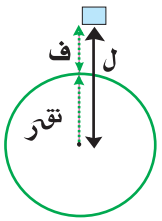
سؤال: أوجد وحدة قياس عجلة الجاذبية الأرضية (ء) من العلاقة (١٦).

تغيرات عجلة الجاذبية الأرضية مع الارتفاع:

من العلاقة (١٦) التي يمكن أن تكتب على النحو التالي:

$$ء = ج \frac{ك_ر}{ل^٢} = \frac{ج\ ك_ر}{(ف + نـو_ر)^٢} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١٧)$$

حيث (ل = ف + نـو$_ر$) هي المسافة بين مركزي الجسمين، كما في الشكل (أدناه) (نـو$_ر$) نصف قطر الأرض و (ف) المسافة فوق سطح الأرض، أما قيمة (ء$_ه$) على سطح الأرض (حيث ف = صفر) فهي تحسب من العلاقة



$$ء_ه = ج \frac{ك_ر}{نـو_ر^٢} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١٨)$$

وقد وجد قيمتها تجريبياً بأنها تساوى تقريباً ء$_ه$ = ٩٫٨ م/ث^٢

نلاحظ من العلاقة (١٧) أن (ك$_ر$)، (ج) و (نـو$_ر$) مقادير ثابتة، نستنتج من ذلك أن المجال (ء) وهي عجلة الجاذبية الأرضية للجسم الساقط سقوطاً حراً (تحت تأثير هذا المجال) تتناسب عكسياً مع مربع بُعد الجسم عن مركز الأرض (ل) أي تتناقص كلما ازداد بعد الجسم عن مركز الأرض.

ولذلك عندما نقول إن جسماً ما يسقط سقوطاً حراً إلى الأرض بعجلة ثابتة مقدارها (ء$_ه$ = ٩٫٨ م/ث^٢)

جدول (١)

الارتفاع (ف) كم	ء (م/ث^٢)
١٠٠٠	٧٫٣٣
٢٠٠٠	٥٫٦٨
٣٠٠٠	٤٫٥٣
٤٠٠٠	٣٫٧٠
٥٠٠٠	٣٫٠٨
٦٠٠٠	٢٫٦٠
٩٠٠٠	١٫٦٩
٥٠٠٠٠	٠٫١٣

el-online.net

فهذه حقيقة تقريبية، أما الحقيقة الدقيقة فهي إن عجلة الجاذبية الأرضية تزداد ازدياداً مستمراً كلما اقترب الجسم من سطح الأرض وذلك بإهمال مقاومة الهواء.

الجدول (١) يعطي قيمة عجلة الجاذبية الأرضية (ع) للجسم الساقط سقوطاً حراً بدلالة ارتفاعه (ف) عن سطح الأرض.

مثال (٣) : أوجد مقدار عجلة الجاذبية الأرضية (ع) لجسم يسقط سقوطاً حراً على ارتفاع (٥٠٠ كم). ما هي نسبة وزنه عند هذا الارتفاع إلى وزنه على سطح الأرض؟

علماً بأن كتلة الأرض (ك$_{ر}$) = ٥٫٩٨ × ١٠^{٢٤} كجم، نصف قطرها (نـ$_{ر}$) = ٦٫٣٨ × ١٠^{٦} م

وثابت الجذب العام (ج) = ٦٫٦٧ × ١٠$^{-١١}$ $\frac{\text{نيوتن . م}^{٢}}{\text{كجم}^{٢}}$

الحل : من العلاقة (١٧) نجد أن :

أ) ع = ج $\frac{\text{ك}_{ر}}{(\text{ف}+\text{نـ}_{ر})^{٢}}$ = ٦٫٦٧ × ١٠$^{-١١}$ × $\frac{٥٫٩٨ \times ١٠^{٢٤}}{(٠٫٥ \times ١٠^{٦} + ٦٫٣٨ \times ١٠^{٦})^{٢}}$

حيث ف = ٥٠٠ كم = ٠٫٥ × ١٠^{٦} متر

ع = $\frac{٣٩٫٩٨ \times ١٠^{١٣}}{(٦٫٨٨ \times ١٠^{٦})^{٢}}$ = ٨٫٤٣ متر/ث^{٢}

ب) النسبة المئوية لوزن الجسم عند هذا الارتفاع بالنسبة لوزنه على سطح الأرض

$\frac{\text{و}}{\text{و}_{٥}} = \frac{\text{ك ع}}{\text{ك ع}_{٥}} = \frac{\text{ع}}{\text{ع}_{٥}}$ (لأن الكتلة ثابتة)

∴ $\frac{\text{و}}{\text{و}_{٥}} = \frac{\text{ع}}{\text{ع}_{٥}} = \frac{٨٫٤٣}{٩٫٨}$ = ٠٫٨٦

نستنتج أن وزن الجسم قد نقص بنسبة ١٤٪ (١٠٠ – ٨٦ = ١٤) عند الارتفاع ٥٠٠ كم.

سؤال : احسب كتلة الأرض (ك$_{ر}$) بالاستفادة من الحقائق العلمية التالية :

ع$_{٥}$ = ٩٫٨ (م/ث^{٢}) ، نـ$_{ر}$ = ٦٫٣٨ × ١٠^{٦} (م) ،

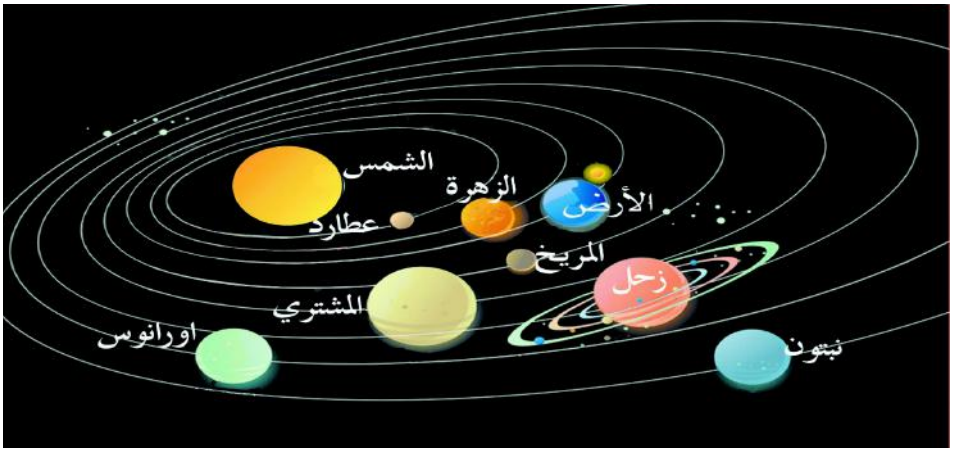
ج = ٦٫٦٧ × ١٠$^{-١١}$ $\frac{\text{نيوتن . م}^{٢}}{\text{كجم}^{٢}}$

el-online.net

قانون نيوتن العام في الجاذبية وحركة الكواكب
The Law of Gravity and the Motion of planets

تتحرك الكواكب السيارة وبعض المذنبات حول الشمس في مسارات إهليليجية بشكل عام تقع الشمس عند أحد بؤريتها. ولكن بعض مسارات هذه الكواكب تكاد تكون دائرية. أما القمر فهو تابع للأرض ومداره يكاد يكون دائري، انظر الشكل (٥).

إذا فرضنا تابعاً للأرض (قد يكون اصطناعياً) يتحرك في مدار دائري فإن القوة التي تؤثر بها الأرض على التابع هي قوة الجذب المركزية (ق$_م$) التي تبقي التابع يدور في مداره الدائري ولولا هذه القوة لانطلَقَ التابع في خط مستقيم مماس لهذا المدار.



شكل (٥)

إذا كان (ل) هو نصف قطر مدار التابع بالنسبة لمركز الأرض و(ك) كتلته و (ع) سرعته فتكون قوة الجذب المركزية (ق$_م$) تساوي

$$ق_م = ك \frac{ع^2}{ل} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (I)$$ (من العلاقة (١) حيث نـوهـ= ل)

ومن قانون نيوتن العام في الجاذبية بين كتلتي التابع (ك) والأرض (ك$_ر$) يكون

$$ق_جـ = ج \frac{ك\ ك_ر}{ل^2} \quad \ldots\ldots\ldots (II)$$

وهي تساوي القوة الجاذبة المركزية (ق$_م$) إذن من (I) و (II) نجد أن

$$ك \frac{ع^2}{ل} = ج \frac{ك\ ك_ر}{ل^2}$$

$$\boxed{ع^2 = \frac{ج\ ك_ر}{ل}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (١٩)$$

el-online.net

حيث ل = نصف قطر الأرض (نـو$_{ر}$) + ارتفاع التابع عن سطح الأرض (ف) .

وتبين هذه العلاقة إن سرعة التابع لا تتعلق بكتلته (ك) وإنما بنصف قطر مداره (ل)

من العلاقة (١٨) لدينا $ء_{م}$ نـو$_{ر}^{٢}$ = ج ك$_{ر}$ (حيث نـو$_{ر}$ نصف قطر الأرض)

وبعد تعويضهما في العلاقة (١٩) نحصل على :

$$ع^{٢} = \frac{ء_{م}\ نـو_{ر}^{٢}}{ل}$$ .....(٢٠)

وهاتان العلاقتان (١٩) و (٢٠) تُستخدمان لإيجاد سرعة التابع إذا عُلم ارتفاعه عن مركز الأرض .

مثـال (٤) : قمـر اصطناعـي يدور حـــول الأرض فـي مـــدار دائري نصـــف قطـره ل = ٨ × ١٠^{٣} كم انظر الشكل (٦) احسب ما يلي :

أ) سرعته الخطية ، (ب) زمنه الدوري ، (جـ) عجلته الجاذبة المركزية .

علماً بأن كتلة الأرض (ك$_{ر}$) = ٦ × ١٠^{٢٤} كجم وأن ثابت الجذب العام

(ج) = ٦,٦٧ × ١٠$^{-١١}$ (نيوتن . م^{٢} / كجم^{٢}) .

الحـل : من العلاقة (١٩) لدينا

أ) $ع^{٢} = \frac{ج\ ك_{ر}}{ل} = \frac{٦,٦٧ \times ١٠^{-١١} \times ٦ \times ١٠^{٢٤}}{٨ \times ١٠^{٦}} = ٥٠ \times ١٠^{٦}$

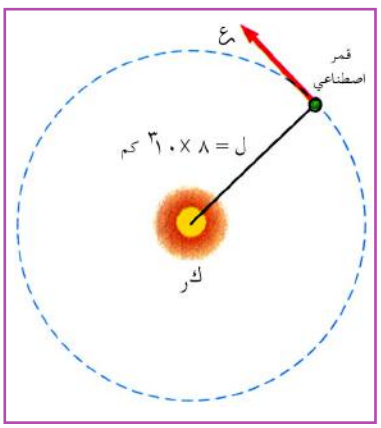
(حيث ل = ٨ × ١٠^{٣} كم = ٨ × ١٠^{٦} متر)

ع = $\sqrt{٥٠ \times ١٠^{٦}}$ = ٧,٠٧ × ١٠^{٣} (م / ث)

ب) الزمن الدوري (ز) نجده من العلاقة (٤) :

$$ع = \frac{٢\pi\ ل}{ز}$$

حـــيث ل = نـو$_{م}$ (نصف قطر مسار القمر الاصطناعي)



شكل (٦)

el-online.net

$$\therefore \text{ز} = \frac{2\pi \text{ل}}{\text{ع}} = \frac{2 \times 3{,}14 \times 8 \times 10^{6}}{7{,}07 \times 10^{3}} = 11{,}7 \times 10^{3} \text{ ثانية}$$

$$\text{ز} = 11{,}7 \times 10^{3} \text{ ثانية} = \frac{11{,}7 \times 10^{3}}{3600} = 1{,}975 \text{ ساعة}.$$

عجلة الجذب المركزية نجدها من العلاقة (٦)

$$\text{جـ) جـ}_{م} = \frac{\text{ع}^{2}}{\text{ل}} = \frac{50 \times 10^{6}}{8 \times 10^{6}} = 6{,}25 \text{ م/ث}^{2}$$

وهي قيمة عجلة الجاذبية عند هذا الارتفاع أي على الارتفاع

ف = ل – نـو$_{م}$ = 8×10^{6} (م) – $6{,}38 \times 10^{6}$م = 1620×10^{3} متر = ١٦٢٠كم.

(قارن هذه النتيجة مع الجدول (١))

سؤال : كيف تمكن العلماء من قياس السرعة الخطية (ع) لدوران الأرض حول نفسها؟ إذا علمت أن نـو$_{م}$ = $6{,}38 \times 10^{6}$م وزمنها الدوري ٢٤ ساعة.

[استخدم العلاقة (٤)] .

الحركة الاهتزازية : Vibrational Motion

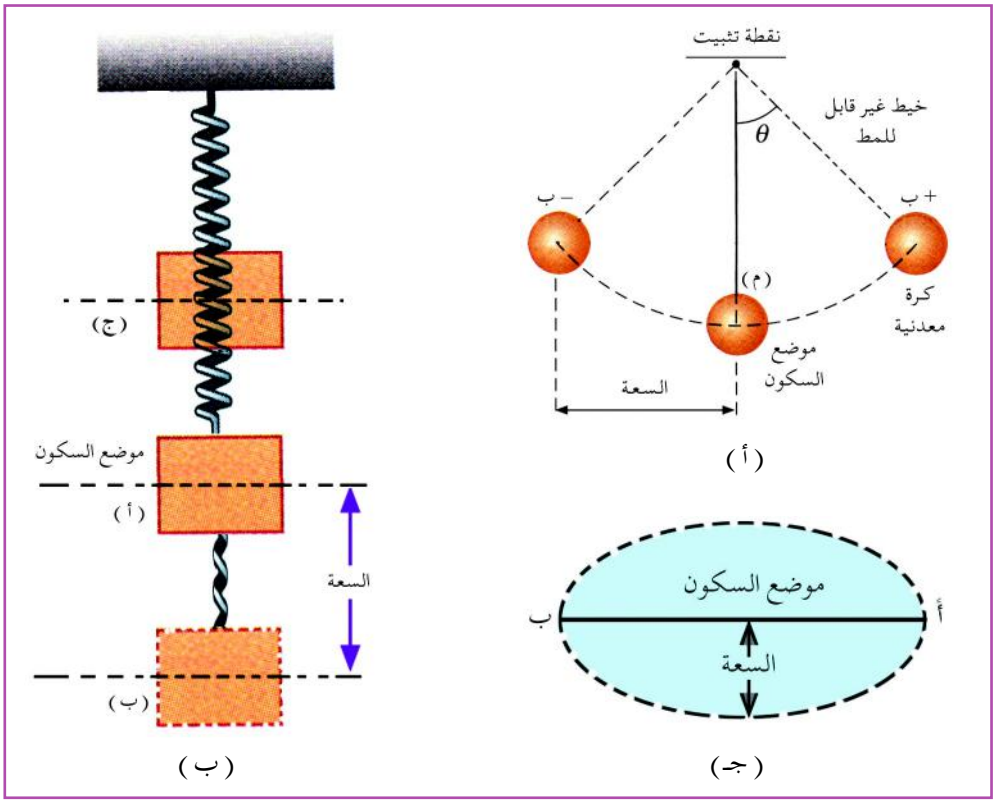
لقد مرت عليك في الدروس السابقة دراسة الحركة الدائرية المنتظمة وهي إحدى الحركات الدورية، وستدرس الآن نوع آخر من هذه الحركات الأكثر شيوعاً في حياتنا اليومية، ولمعرفتها أجر النشاط التالي :

النشاط (٢)

علق كرة معدنية صغيرة من طرف خيط خفيف غير قابل للمط مثبت من أعلى (البندول البسيط) كما في الشكل (١٧) ثم أزح الكرة عن موضع سكونها (م) واتركها، أو علق كتلة في نهاية نابض حلزوني مثبت من أعلاه، ثم قم بإزاحتها إلى الموضع (ب) أسفل موضع سكونها(توازنها) (أ) ثم أطلقها كما في الشكل (٧ب) أو اضرب وتر مشدود بين نقطتين (أ ، ب) كما هو مبين في الشكل (٧جـ) .

تلاحظ أن البندول البسيط يهتز (أو يتذبذب) ذهاباً وإياباً حول موضع سكونه (م) وكذلك الكتلة المعلقة بالنابض تتذبذب حول موضع سكونها (أ) نحو الأسفل

el-online.net



شكل (٧)

ثم نحو الأعلى أما الوتر المشدود فيهتز على جانبي الخط الواصل بين النقطتين (أ،ب) الذي هو موضع سكونه.

إن مثل هذه الحركات ومنها أمثلة كثيرة كحركة دقات القلب تسمى بالحركات الاهتزازية (أو التذبذبية Oscillatory Motion) .وتعرف الحركة الاهتزازية بأنها :

> حركة جسم حول موضع سكونه بحيث يكرر نفس حركته في فترات زمنية متساوية.

الحركة التوافقية البسيطة الخطية Linear Simple Harmonic Motion

لتوضيح الحركة المتذبذبة ندرس الحركة الأفقية لكتلة (ك) مربوطة بنابض (زنبرك) حلزوني. من أجل ذلك نقوم بالنشاط التالي :

el-online.net

النشاط (٣)

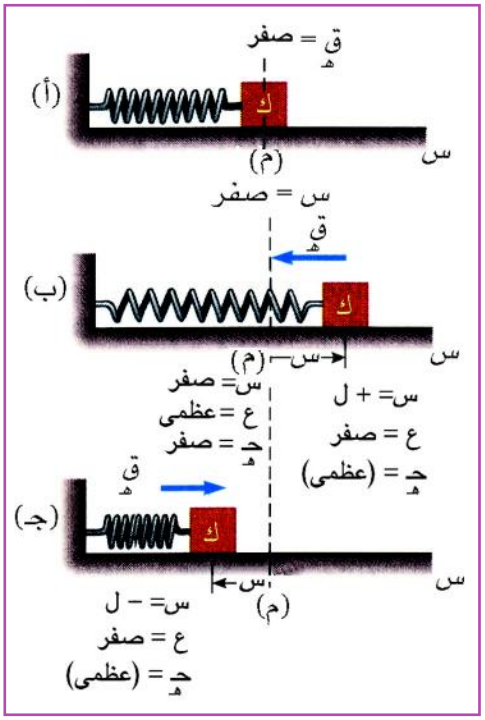
١- ضع نابضاً حلزونياً (مهمل الوزن) على سطح أفقي نفرضه عديم الاحتكاك .

٢- ثبت أحد طرفيه بحائط رأسي ومربوط من طرفة الآخر بجسم كتلته (ك) .

٣- في البدء يكون النابض في وضع الاتزان أو (السكون) غير مشدود ولا مضغوط . أنظر الشكل (١٨)

٤- أزح الكتلة نحو اليمين مسافة قدرها (س) ثم أطلقها . انظر الشكل (٨ب) ماذا تشاهد ؟

٥- تلاحظ أن النابض يؤثر على الكتلة بقوة تسمى قوة المرونة ($ق_م$)وهي تساوي قوة هوك ($ق_هـ$)وتعاكسها في الاتجاه ويتناسب مقدارها طردياً مع مقدار الإزاحة (س) وذلك بحسب قانون "هوك" الذي درسته في الصف العاشر



شكل (٨)

$$ق_م = - هـ س \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢١)$$

(حيث هـ ثابت الزنبرك، والإشارة (-) تدل على أن اتجاه قوة المرونة معاكس لاتجاه الإزاحة (س) وبالتالي فإن عجلة الجسم ($جـ_هـ$) تساوي بحسب قانون نيوتن الثاني

$ق_م = ك جـ_هـ = - هـ س$

$$جـ_هـ = \frac{- هـ س}{ك} \quad \ldots\ldots (٢٢)$$

هذه القوة ($ق_هـ$) (وكذلك العجلة $جـ_هـ$) اتجاههما معاكس لاتجاه الإزاحة نحو موضع سكون الكتلة ولذلك فهي تحاول إعادة الكتلة إلى موضع سكونها وتسمى بالقوة المعيدة (Restoring Force)، وتزداد القوة المعيدة وكذلك العجلة مع ازدياد

el-online.net

الإزاحة حتى تصلا إلى أكبر قيمة لهما عندما تصل الكتلة إلى أكبر إزاحة لها عند الموضع (س = + ل) وبما أن اتجاه العجلة (كالقوة المعيدة) معاكس للإزاحة أي معاكس لاتجاه الحركة فسرعة الكتلة تقل حتى تصل إلى الصفر عند الموضع (س = + ل) انظر الشكل (٨ب) ولكن القوة المعيدة تحاول إعادة الكتلة إلى موضع السكون (س = صفر) وعندما تبدأ الكتلة بالعودة فإن القوة المعيدة وكذلك العجلة يتناقص مقدارهما عند اقترابهما من موضع السكون بينما تزداد قيمة السرعة (ع) حتى تصل إلى القيمة العظمى عند موضع سكون الكتلة (س= صفر) (لماذا؟) حيث تكون قيمة كل من القوة المعيدة والعجلة = صفراً (لماذا؟) وبذلك تستمر الكتلة في حركتها متجاوزة موضع السكون (م) في اتجاه اليسار فتبدأ سرعتها بالتناقص حتى تصل قيمتها إلى الصفر عند أقصى إزاحة للكتلة عند النقطة (س= – ل) بينما تعود القوة المعيدة والعجلة إلى التزايد مع زيادة الإزاحة إلى اليسار حتى تصل قيمة كل منهما إلى القيمة العظمى عند النقطة (س=–ل) انظر الشكل (٨ جـ) ، ثم تبدأ الكتلة بالعودة نحو اليمين(بفضل القوة المعيدة) متجاوزة النقطة (س= صفر) إلى أن تصل إلى النقطة (س= + ل) وبعد ذلك تعود ثانية متحركة نحو اليسار وهكذا تستمر الكتلة في الحركة ذهاباً وإياباً حول موضع سكونها دون توقف ما دام لا يوجد فقدان في الطاقة إذا كان السطح الذي تتحرك عليه عديم الاحتكاك ولكن في الواقع لا يوجد سطح أو هواء مثاليين عديمي الاحتكاك ولهذا فالحركة تفقد طاقتها بالتدريج إلى أن تتوقف في النهاية .

وبذلك يمكن تعريف الحركة التوافقية البسيطة لكتلة ما بأنها :

> حركة تذبذبية (أو اهتزازية) منتظمة للكتلة حول موضع سكونها بحيث يتناسب مقدار عجلتها تناسباً طردياً مع إزاحة الكتلة وفي اتجاه معاكس لها .

el-online.net

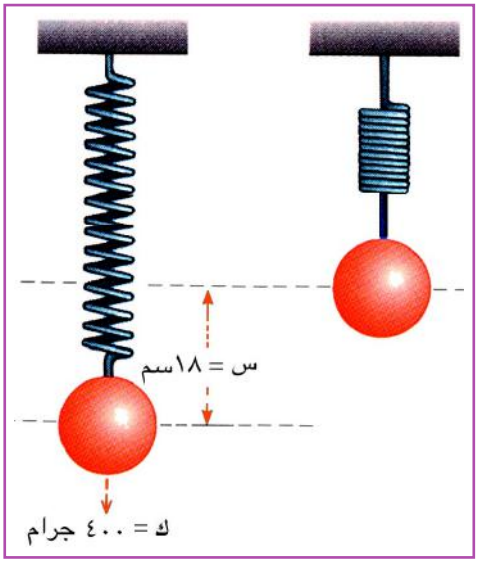
تعاريف خاصة بالحركة التوافقية البسيطة

سعة الذبذبة: (Amplitude) هي أقصى إزاحة يعملها الجسم المهتز عن نقطة سكونه (م)، كما مبين في الشكلين (٧ و ٨).

الذبذبة الكاملة: (Cycle) إذا تحرك الجسم المهتز من النقطة (+ل) ماراً بموضع سكونه (م) إلى النقطة (–ل) ثم العودة إلى النقطة (+ل) التي انطلق منها بحيث يكون اتجاهه عند العودة من (+ل) هو نفس اتجاهه عند الانطلاق بذلك يكون الجسم قد أكمل ذبذبة كاملة، أنظر الشكل (٨).

بمعنى آخر إذا أتم الجسم انطلاقاً من نقطة على مساره مشواراً ذهاباً وإياباً يكون الجسم المهتز قد عمل دورة أو ذبذبة كاملة. أما تعريف الزمن الدوري والتردد فهو نفس تعريفهما في الحركة الدائرية المنتظمة.

مثال (٥): نابض حلزوني مثبت رأسياً من أعلاه وعندما عُلق في طرفه المدلى كتلة مقدارها ٤٠٠ جرام استطال بمقدار (١٨) سم كما هو مبين في الشكل (٩). احسب ثابت النابض (هـ) .



شكل (٩)

الحل: $ق_{هـ} = هـ\ س$ (قانون هوك)

$$هـ = \frac{ق_{هـ}}{س}$$

وحيث أن $ق_{هـ} = و$ (وزن الكتلة)

$$\therefore \quad هـ = \frac{و}{س} = \frac{(٠٫٤\ \text{كجم}) \times (٩٫٨\ \text{م/ث}^{٢})}{(٠٫١٨\ \text{م})} = ٢١٫٨\ (\text{نيوتن/م})$$

هنا القوة المؤثرة هي وزن الجسم (وهي قوة هوك) حيث أن [$و = ق_{هـ}$] ومساوية لقوة المرونة ومعاكسة لها في الاتجاه.

el-online.net

مثال (٦) : نابض حلزوني يعمل ٢٤ ذبذبة خلال ٨ ثوان احسب :

أ – زمنه الدوري . ب – تردده .

الحـل :

أ – الزمن الدوري (ز) أي زمن ذبذبة واحدة هو ز = $\frac{٨}{٢٤}$ = $\frac{١}{٣}$ ثانية .

ب– تردده (f) أي عدد الدورات في الثانية الواحدة وهو يساوي مقلوب الزمن الدوري أي : f = $\frac{١}{ز}$ = $\frac{٢٤}{٨}$ = ٣ (ذبذبة / ث) أو هيرتز .

تمثيل الحركة التوافقية البسيطة بيانياً

للقيام بذلك أجر النشاط التالي :

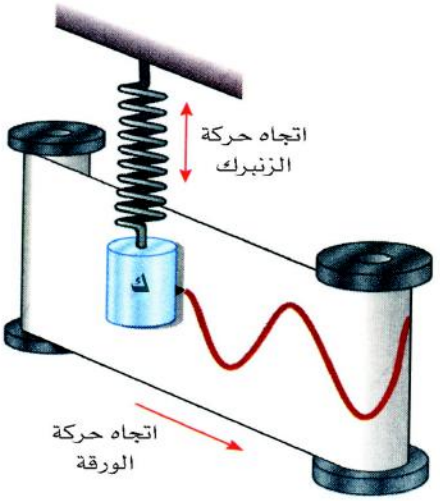
النشاط (٤)

١– علق كتلة (ك) بالطرف السفلي لنابض حلزوني مثبت رأسياً من أعلاه بحيث تتذبذب الكتلة رأسياً في حركة توافقية بسيطة .

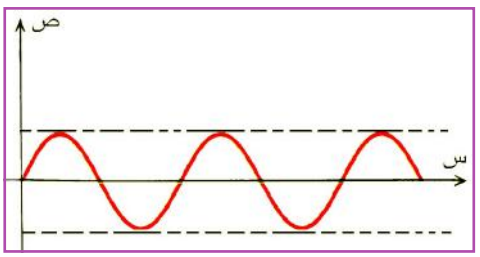
٢– ثبت قلماً صغيراً في الكتلة المعلقة يلامس ورقة يمكن أن تتحرك بسرعة منتظمة باتجاه اليمين .

٣– اجعل الكتلة تتذبذب في نفس الوقت الذي تتحرك فيه الورقة بصورة منتظمة . – ماذا تشاهد ؟

٤– تلاحظ إن القلم يرسم منحنى جيبياً . انظر الشكل (١٠) وهذا يعني إن الحركة التوافقية البسيطة يمكن أن نعبر عنها بدلالة منحنى جيبي كما هو مبين في الشكل (١١) .



شكل (١٠)

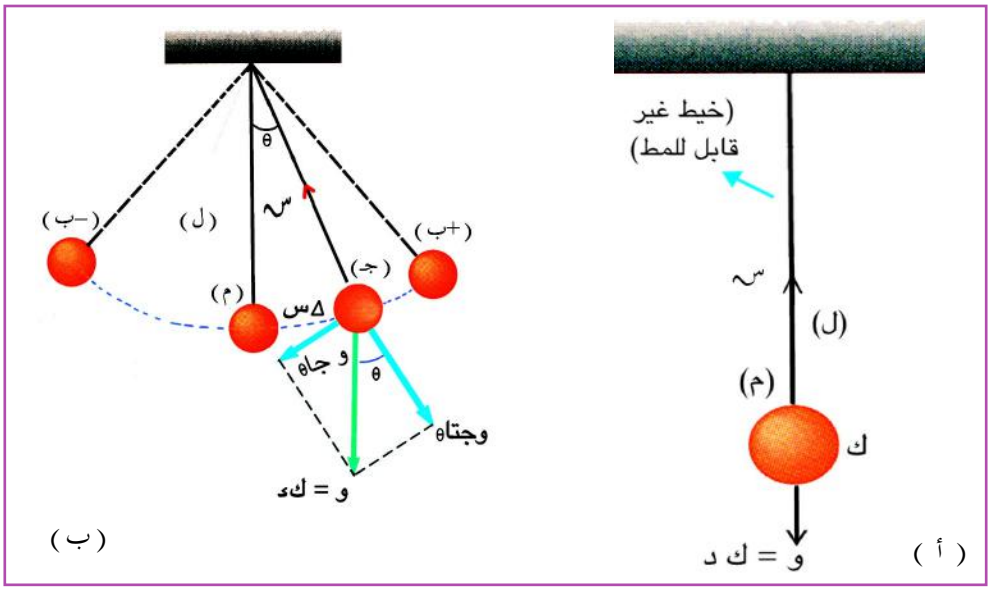


شكل (١١)

el-online.net

البندول البسيط : Simple Pendulum

لقد ذكرنا أن حركة البندول البسيط هي حركة اهتزازية، والشكل (١٢ أ) يبين كتلته (ك) في موضع سكونها (م) والقوى المؤثرة فيها هما قوتان وزنها (و)متجه رأسياً نحو الأسفل والشد (سـ) في الخيط المتجه نحو الأعلى . ولتوضيح حركة البندول قم بإزاحة كتلته إلى اليمين ثم اتركها تتذبذب حول موضع سكونها (م) (بإهمال مقاومة الهواء) .



شكل (١٢)

نحلل قوة الوزن (و) إلى مركبتين متعامدتين (في نقطة (جـ) من مسار الكتلة) انظر الشكل (١٢ ب) وهما المركبة (وجتاθ) المعاكسة لقوة الشد (سـ) في الخيط ومتزنة معها، والمركبة (وجاθ) المماسة للمسار الدائري الذي ترسمه الكتلة والذي نصف قطره هو طول الخيط (ل) وهي القوة (ق) المحركة للكتلة أي :

$$ق = - ك و جا\theta = - وجا\theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢٣)$$

الإشارة (–) تدل على أن اتجاه القوة المماسة معاكسة للزيادة في الإزاحة الزاوية (θ) وتدل العلاقة (٢٣) أن حركة البندول هي حركة جيبية

إذا كانت الإزاحة الزاوية θ صغيرة ومقاسة بالراديان فيمكن اعتبار جاθ = θ

∴ معادلة الحركة يمكن أن تكتب على النحو التالي :

el-online.net

ق = – ك ء θ (من العلاقة (٧) θ = $\frac{\Delta س}{ل}$ (راديان)) حيث ل = نـو هـ ،

و Δس طول القوس المقابل للزاوية θ ابتداءاً من نقطة السكون (م) المقابل للزاوية

∴ ق = – ك ء $\frac{\Delta س}{ل}$

$$ق = - \frac{ك ء}{ل} \Delta س \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢٤)$$

وإذا رمزنا للمقدار الثابت ($\frac{ك ء}{ل}$) بالرمز هـ ، فإن العلاقة الأخيرة يمكن أن

تكتب على النحو : ق = – هـ Δس

وفيها يتناسب مقدار القوة طردياً مع الإزاحة (Δس) ومعاكسة لها في الاتجاه، إذاً فهي قوة معيدة، تستنتج من ذلك إن حركة البندول البسيط هي حركة توافقية بسيطة وأن العلاقة الجيبية (٢٣) تمثل هذه الحركة . ويُعطى الزمن الدوري (ز) للبندول

بالعلاقة : $ز = ٢ \pi \sqrt{\frac{ل}{ء}}$ $\quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢٥)$

وبما أن $f = \frac{١}{ز}$ فالتردد (f) يعطى بالعلاقة :

$$f = \frac{١}{٢\pi} \sqrt{\frac{ء}{ل}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢٦)$$

مثال (٧) :

بندول بسيط طول خيطه ل = ٠,٥ متر. أوجد زمنه الدوري وتردده علماً بأن مقدار عجلة الجاذبية الأرضية حيث يوجد البندول = ٩,٨ م/ث^{٢} .

الحل :

بالتعويض في العلاقة (٢٥) نجد زمنه الدوري (ز)

$ز = ٢ \pi \sqrt{\frac{ل}{ء}} = ٢ \times ٣,١٤ \sqrt{\frac{٠,٥}{٩,٨}} = ١,٤٢$ ثانية

تردده $f = \frac{١}{ز} = ٠,٧$ $\frac{١}{\text{ثانية}}$ أو هيرتز.

سؤال : هل الزمن الدوري للبندول البسيط يتعلق بكتلته؟

el-online.net

الحركة الموجية: Wave Motion

لقد درست من الحركات الدورية الحركة الدائرية المنتظمة والحركة الاهتزازية، ودراسة الحركة الاهتزازية هي خطوة أساسية لفهم الحركة الموجية، لأن الأخيرة هي أساساً حركة اهتزازية لجسيمات وسط مادي مصدرها جسم مهتز. ودراسة الحركة الموجية مهمة في الفيزياء لأن الكثير من الظواهر الطبيعية تنطوي على صفة موجية.

والحقيقة إن محيطنا يعج بمختلف الأمواج منها ما هو مألوف وسهل المشاهدة كالموجات على سطح الماء ومنها ما له تطبيقات واسعة ويتعذر مشاهدتها كأمواج الراديو والتليفزيون وما نراه عبر موجات الضوء وما نسمعه عبر موجات الصوت وما يصلنا عبر موجات من طاقة تزودنا بها الشمس.

مفهوم الموجة:

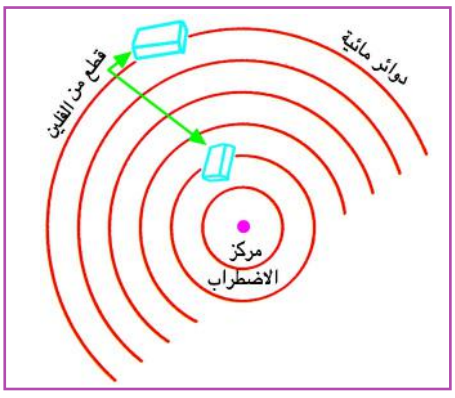
ماذا تشاهد عندما ترمي حجراً في بركة ماء ساكنة؟ إنك تشاهد بدون شك المنظر المألوف وهو أن اضطراباً على شكل دوائر يتولد عند نقطة ارتطام الحجر بالماء ويأخذ بالاتساع التدريجي منتشراً في كل الاتجاهات، وقد يتساءل المرء: ما الذي ينتقل بالفعل مع هذه الدوائر المائية؟ هل هو الماء (جسيمات الوسط المادي) أو الاضطراب فقط؟ وللإجابة عن هذا السؤال أجر النشاط التالي:

النشاط (٥)

١- ضع على سطح بركة ماء ساكنة عدة قطع من الفلين.

٢- خذ قارورة مملوءة بالماء وابدأ بالتنقيط على سطح ماء البركة. ماذا تشاهد؟

٣- تلاحظ ظهور اضطراباً مائياً على شكل دوائر يتولد في مكان تساقط قطرات الماء وينتشر في كل الاتجاهات. وعندما تصل هذه الدوائر إلى الفلينة تلاحظ الفلينة تتحرك للأعلى والأسفل عمودية على سطح الماء دون أن تغادر مكانها مع الدوائر المائية المتباعدة عن مركز



شكل (١٣)

el-online.net

الاضطراب، في حين أن الفلينات الأخرى الأبعد عن مركز الاضطراب تظل ساكنة إلى أن تصلها هذه الدوائر المائية فتتذبذب حول موضع سكونها بحركة مماثلة لحركة الفلينة الأولى انظر الشكل (١٣) .

نستنتج من ذلك أن جسيمات الماء لم تتحرك مع الدوائر المائية وإنما الذي يتحرك هو الاضطراب الذي على شكل دوائر مائية، يسمى هذا المنظر بموجات الماء .

وهناك مثال آخر مألوف هو انتشار الحركة الموجية في الحبل ولمشاهدة ذلك أجر النشاط التالي :

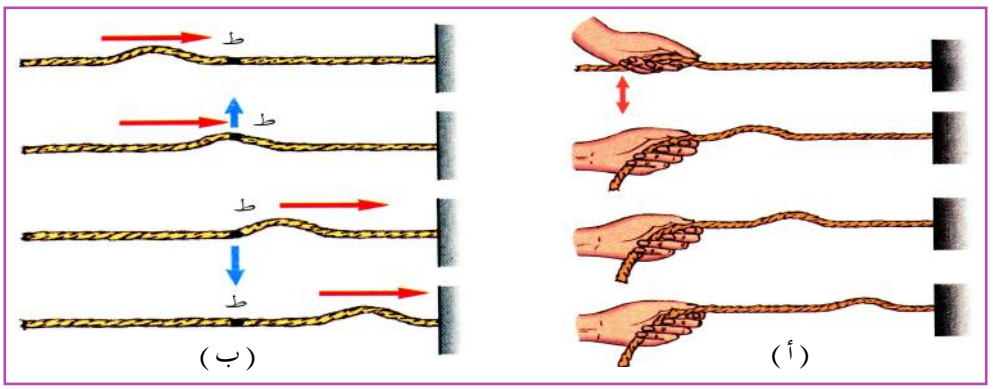
النشاط (٦)

الحالة الأولى :

١- اربط إحدى نهايتي حبل طويل مشدود بنقطة ثابتة وأمسك الطرف الآخر بيدك .

٢- أعط طرف الحبل الممسوك هزّة بيدك كما هو مبين في الشكل (١٤ أ) ماذا تلاحظ ؟

٣- تلاحظ أن هذه الهزة قد انتقلت إلى الحبل على شكل اضطراب (يدعى نبضة موجيه Wave Pulse) هذا الاضطراب يجعل أجزاء الحبل تتحرك عمودياً على اتجاه انتشاره نحو النهاية المثبتة دون أن تنتقل معه . ويمكن ملاحظ ذلك من حركة النقطة (ط) على الحبل في الشكل (١٤ ب)



شكل (١٤)

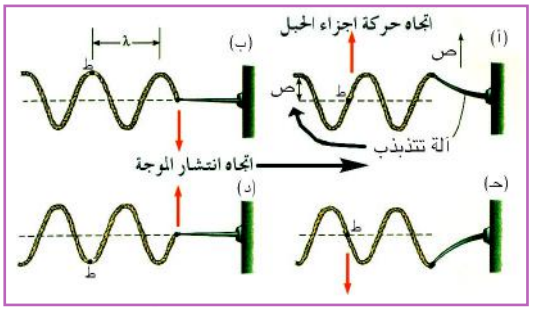
الحالة الثانية :

١- اربط الطرف الحر للحبل بآلة تتذبذب بحركة توافقية بسيطة كما هو مبين في الشكل (١٥) .

el-online.net

– ماذا تشاهد في هذه الحالة؟

٢– تلاحظ أن الحركة قد انتقلت إلى الحبل وولدت فيه سلسلة من الاضطرابات المتتالية تحرك أجزائه للأعلى والأسفل على شكل قمم (Peaks) وقيعان (Troughs).



شكل (١٥)

إن حركة أجزاء الحبل هي عمودية على اتجاه انتشار الاضطراب نحو النهاية المثبتة دون أن تنتقل معه، ويتضح ذلك من حركة النقطة (ط) على الحبل في الشكل (١٥). وينتقل هذا الاضطراب في الحبل بفضل قوى التماسك بين أجزائه ويسمى بالموجات.

إذن ما هي الموجة ؟ هي شكل من الاضطراب ينتقل من نقطة إلى أخرى عبر وسط مادي (أو في الفراغ) دون أن تنتقل معه دقائق ذلك الوسط.

أنواع الحركة الموجية : Types of Wave Motion

يمكن تقسيم الحركة الموجية في الفيزياء إلى ثلاثة أنواع رئيسة.

١– **الحركة الموجية الميكانيكية**: وهي تلك التي تحتاج إلى وسط مادي لانتقالها، وقد يكون هذا الوسط صلباً أو سائلاً أو غازياً. ومن الأمثلة على هذه الموجات، موجات الصوت والموجات المائية وموجات الأوتار المهتزة والموجات في هياكل البنايات والمركبات (الطائرات والبواخر) وموجات الزلازل وغيرها.

٢– **الحركة الموجية الكهرومغناطيسية**: وهي تلك التي تستطيع الانتقال في الفراغ وفي بعض الأوساط المادية مثل أمواج الضوء المرئي وكذلك غير المرئي كأمواج الأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية والأشعة السينية وجاما وأمواج الراديو والتليفزيون . .وغيرها.

٣– **الحركة الموجية المادية**: وهي الصفات الموجية التي تصاحب حركة الجسيمات الأولية في عالم الصغائر (كالإلكترون والنيترون والبروتون . .) التي افترضها العالم الفرنسي دي برولي وأثبتتها التجارب آنذاك بحيود الإلكترون التي تؤكد

el-online.net

الطبيعة الموجية له. فالجسيم المادي المتحرك الذي كتلته (ك) وسرعته (ع) ترافقه موجة طولها (λ) يعطى بالعلاقة $\lambda = \frac{h}{ك ع}$ ، حيث h ثابت بلانك، ك ع كمية تحرك الجسم (كت) وواضح أن ظهور الكتلة (ك) والطول الموجي (λ) في هذه العلاقة يؤكد الطبيعة المزدوجة للإلكترون. تسمى هذه الموجات بالموجات المادية .

وسائل انتقال الطاقة

تنتقل الطاقة في الطبيعة من موقع إلى آخر بوسيلتين: إما بواسطة انتقال كتلة جسم متحرك من موضع الانطلاق إلى موضع آخر يرتطم فيه بهدف، وبذلك تكون الكتلة قد نقلت الطاقة من موضع الانطلاق إلى مكان الارتطام، أو بواسطة انتقال الموجة دون أن يصاحب انتقالها انتقال الكتلة وهي من الخواص الأساسية للموجات. فالموجة تحتوي على طاقة تحملها معها عندما تتقدم.

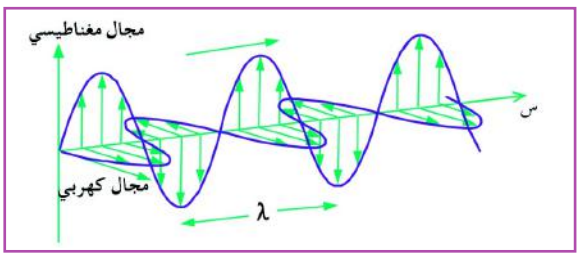
وكمثال على ذلك، الموجة التي تسري في الحبل تحمل معها الطاقة الصادرة من الشخص (أي المصدر) الذي يهز طرف الحبل، أو كالحجر الساقط من علو على سطح الماء تنتقل طاقته الحركية إلى الموجات المائية وهذه الموجات المائية تنقلها إلى الفلينة الطافية على سطح الماء فتحركها. أو الطاقة المحمولة من الشمس إلى الأرض بواسطة الأمواج الكهرومغناطيسية وكذلك طاقة الأمواج البحرية والزلازل وغيرها.

أنواع الأمواج : Types of Waves

هناك نوعان من الأمواج من حيث الشكل:

١ - الأمواج المستعرضة (Transverse Waves)

وهي تلك التي لاحظتها على سطح الماء أو على الحبل في النشاطين (٦،٥) التي تتحرك فيها جزيئات الوسط المادي للأعلى والأسفل حول مواضع توازنها عمودية على اتجاه انتشارها. يسمى هذا النوع من الأمواج بالأمواج المستعرضة وقد ثبت أن الأمواج الكهرومغناطيسية كأمواج الضوء هي أمواج من هذا النوع شكل (١٦).



شكل (١٦)

el-online.net

٢- الأمواج الطولية (Longitudinal Waves)

ولمعرفتها إجر النشاط الآتي :

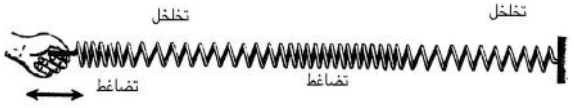
النشاط (٧)

١- خذ نابضاً حلزونياً طويلاً وضعه على طاولة ملساء أفقية .

٢- ثبت أحد طرفيه والطرف الآخر اتركه حراً . في البدء في حالة التوازن تكون المسافات الفاصلة بين حلقاته متساوية .

٣- ادفع طرفه الحر دفعة صغيرة في اتجاه محوره، ماذا تشاهد ؟

٤- تلاحظ أن حلقاته لم تعد على أبعاد متساوية بل تراها تبدو متقاربة (أي متضاغطة)

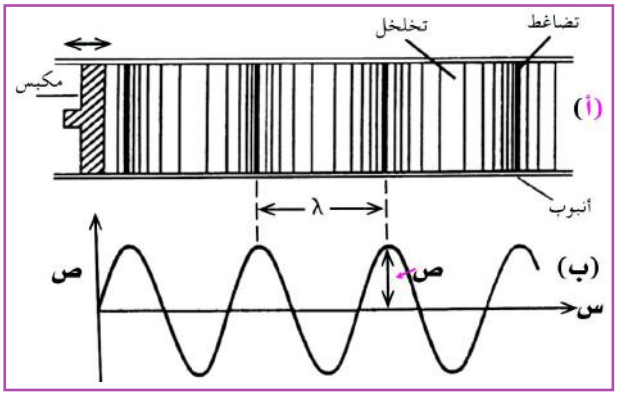


شكل (١٧)

في مناطق ومتباعدة (أي متخلخلة) في مناطق أخرى ثم أن الحلقات المتخلخلة تضغط بدورها على الحلقات المجاورة بفضل خاصية المرونة لمادة النابض . وهكذا يتقدم الاضطراب في النابض على شكل تضاغطات وتخلخلات . فإذا استمريت في تحريك الطرف الحر للنابض إلى الأمام والخلف فإنه يتولد قطار من التضاغطات والتخلخلات تتحرك إلى الأمام والخلف باتجاه طول النابض الحلزوني كما هو مبين في الشكل (١٧) . هذا النوع من الاضطراب يسمى بالأمواج الطولية وتنتقل هذه الأمواج في المواد الصلبة والسائلة والغازية . وموجات الصوت في الهواء هي من هذا النوع من الأمواج .

يبين الشكل (١٨ ا) توليد موجة صوتية وتقدمها في أنبوب يحوي غازاً .

ويظهر الشكل (١٨ب) تغيرات الضغط في الموجة الصوتية بدلالة الموضع .



شكل (١٨)

el-online.net

صفات الموجة

هناك صفات عامة توصف بها الموجة على اختلاف أنواعها من هذه الصفات طولها (λ) وزمنها الدوري (ز) وترددها (f) وسرعتها (ع) :

طول الموجة (λ) (Wavelength)

هي المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين في الأمواج المستعرضة كما في الشكلين (١٥ب) و (١٨ب) أو المسافة بين تضاغطين متتاليين أو تخلخلين متتاليين كما في الأمواج الطولية انظر الشكلين (١٧) و (١٨أ).

زمنها الدوري (ز) : هو الزمن اللازم لكي يتقدم الاضطراب مسافة قدرها طول موجي واحد (λ).

ترددها (f) : هو عدد الموجات التي تتولد خلال ثانية واحدة، وقد رأينا في الدروس السابقة بأنه يساوي مقلوب الزمن الدوري (ز) أي أن :

$f = \frac{١}{ز}$ ووحدة قياسه (هيرتز)

سرعة الموجة (ع) : تتحرك الموجة بسرعات مختلفة باختلاف الوسط الذي تنتقل فيه.

ومن تعريف السرعة (ع) = $\frac{\text{الإزاحة}}{\text{الزمن}}$ نجد أن

سرعة الموجة (ع) = $\frac{\text{الإزاحة التي يقطعها الاضطراب بين قمتين متتاليين}}{\text{الزمن الدوري}}$

أي ع = $\frac{\text{طول الموجة } (\lambda)}{\text{ز}} = \frac{\lambda}{\text{ز}}$

وبما أن التردد (f) = $\frac{١}{ز}$

∴ ع = $\frac{\lambda}{\text{ز}} = f\,\lambda$ .... (٢٧)

مثال (٨) : إذا حركت طرف حبل طويل حركة اهتزازية متعامدة مع طوله وأدت إلى توليد أمواج مستعرضة في الحبل طولها (λ) = ٠,٢ متر وكان تردد حركتك أي تردد طرف الحبل المهتز f = ١٥ (هيرتز). احسب ما يلي :

أ – سرعة الموجة (ع) . ب – زمنها الدوري (ز).

el-online.net

الحـل :

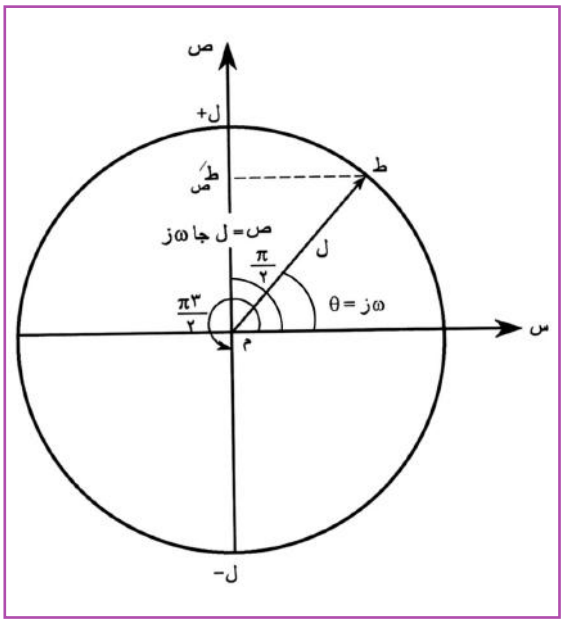
المعطيات : λ = ٠٫٢ متر ، f = ١٥ (هيرتز)

أ – ع = (λ f) = ٠٫٢ × ١٥ = ٣ (متر/ث)

ب– زمنها الدوري (ز) = $\frac{١}{f}$ = $\frac{١}{١٥}$ = ٠٫٠٦٧ ثانية

العلاقة بين الحركات : الدائرية المنتظمة والتوافقية البسيطة والموجية :

من أجل فهم هذه العلاقة دعنا نفرض أن لدينا دائرة ينطبق مركزها (م) على مبدأ الإحداثيات لمحاور إحداثية متعامدة (س،ص) ونختار هذين المحورين بحيث ينطبقان على قطرين متعامدين لهذه الدائرة انظر الشكل (١٩) .



شكل (١٩)

في هذه الدائرة إذا تحرك نصف قطرها (م ط = ل) بسرعة زاوية منتظمة (ω)، أي إذا تحركت النقطة (ط) على محيطها بسرعة خطية منتظمة (ع) تتعين من العلاقة ع = ل ω ، فإن مسقط النقطة (ط) (الذي نرمز له بالرمز طَ ص) على المحور (ص) يتحرك ذهاباً وإياباً على طول المحور (ص) ماراً بمركز الدائرة (م) وهذه الحركة هي حركة توافقية بسيطة مركز سكونها هي النقطة (م) . إن إزاحة (طَ ص) عن المركز (م) تعطى بالعلاقة :

طَ ص = ل جاθ = ل جاωز

. . . . . (٢٨)

حيث $\theta = \omega$ ز من العلاقة (٩) والإزاحة العظمى للمسقط طَ ص = ± ل وذلك عندما

$\theta = \omega$ ز = $\frac{\pi}{٢}$ أو ω ز = $\frac{\pi ٣}{٢}$ انظر الشكل (١٩) .

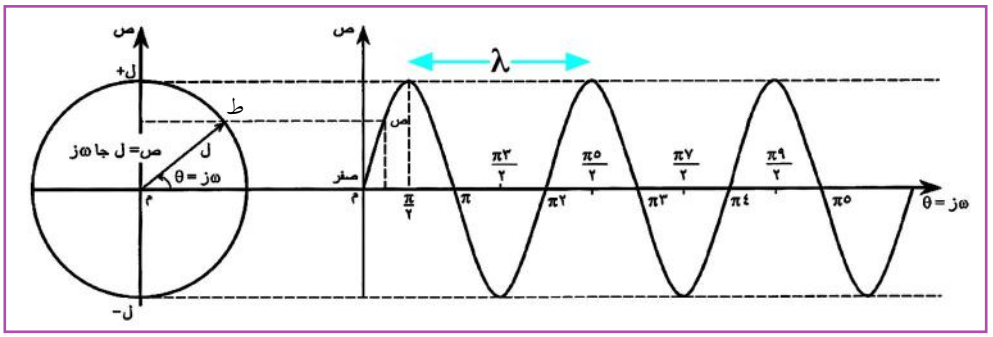
el-online.net

نستنتج من العلاقة (٢٨) بإن مسقط الحركة الدائرية المنتظمة هو حركة توافقية بسيطة يمكن التعبير عنها بمنحنى جيبي. دعنا نمثل هذه العلاقة (٢٨) بيانياً بالإزاحة على المحور (ص) والزاوية (ω ز = θ) على المحور (س)، انظر الشكل (٢٠).

تلاحظ أن النقطة (ط) بدأت حركتها في اللحظة (ω ز = صفر) عندما كان في موضع السكون (ص = صفر). وفي وقت لاحق (ز) تصبح إزاحتها ص = ل جا ω ز

تسمى الزاوية (θ) = (ω ز) بطور الحركة الموجية و (ص = ± ل) بسعتها أو أحياناً بقمتها (ص = +ل) أو بقاعها (ص = – ل) فمن أجل قيم (θ) يساوي

θ = صفر، $\frac{\pi}{٢}$ ، π ، $\frac{\pi ٣}{٢}$ ، ٢π ، $\frac{\pi ٥}{٢}$



شكل (٢٠)

تكون قيم إزاحات الموجة (ص) المناظرة هي (ص= صفر)، (ص = ل قمة) ، (ص = صفر)، (ص= – ل قاع)، (ص= صفر)، (ص= ل قمة) على الترتيب وهكذا نحصل على تمثيل بياني للدالة الجيبية ص = ل جا ω ز شكل (٢٠).

فرق الطور (Δθ) وفرق المسار (Δس) Phase difference and phath difference

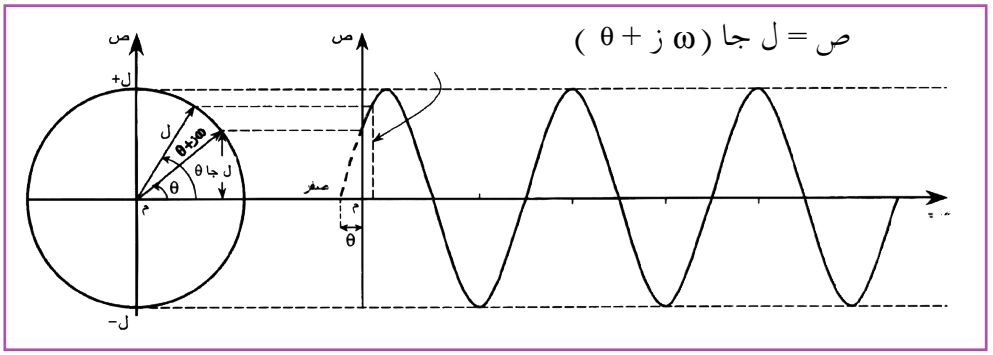
من أجل فرق الطور (Δ θ) بين $\theta_{١}$ = صفر ، $\theta_{٢}$ = ٢π مقداره

Δ θ = $\theta_{٢}$ – $\theta_{١}$ = ٢π (راديان) تتقدم الحركة الموجية (أو القطار الموجي) مسافة قدرها طول موجي واحد (λ) يسمى بفرق المسار. والشكل (٢٠) يبين الفرق في الطور مقداره Δ θ = $\frac{\pi ٥}{٢}$ – $\frac{\pi}{٢}$ = ٢π يقابله فرق في المسار (Δس) مقداره طول موجي (λ) وإذا كان هناك فروق في الأطوار مقاديرها Δ θ = ٢π، ٤π، ٦π، ... ٢πن (راديان) فإنه يقابلها فروق في المسار مقاديرها Δس = λ ، ٢λ ، ٣λ ... نλ

el-online.net

من الأطوال الموجية (حيث د = صفر، ١، ٢، ٣ .... عدد صحيح موجب) . ومن أجل فروق في الأطوار مقاديرها Δ θ = π ، ٣π ، ٥π ، .... ، (٢ن+١) π يقابلها فروق في المسار مقاديرها $\frac{\lambda}{٢}$ ، $\frac{\lambda ٣}{٢}$ ، $\frac{\lambda ٥}{٢}$ ، ... (٢ن+١) $\frac{\lambda}{٢}$ من الأطوال الموجية

ومن ناحية أخرى لو تأملت في الشكل (٢١) تجد أن الجسم على محيط الدائرة قد بدأ حركته في اللحظة (ز = صفر) من مكان متقدم بزاوية مقدارها θ أي من مكان (ص= ل جاθ) وبعد فترة زمنية لاحقة (ز) تصبح إزاحته ص= ل جا (ω ز+ θ)



شكل (٢١)

وإذا نظرنا إلى الموجتين المرسومتين في الشكلين (٢٠ ، ٢١) نجد أن الموجة في شكل(٢١) متقدمة على الأخرى التي في الشكل (٢٠) بفرق في الطور مقداره [θ]. إذا كان فرق الطور Δ θ بين الموجتين مقداره = ٢π ، ٤π ، ٦π ، ... د ٢π راديان أي الفرق بينهما عدد صحيح (د) من الدورات (حيث ٢π « راديان » يمثل دورة كاملة)، تكون الحركتان الاهتزازيتان فيهما متماثلتين أي فرق المسير بينهما = λ ، ٢λ، ٣λ ... د λ حيث (د) عدد صحيح من الأطوال الموجية، في هذه الحالة تكون قمم الموجة الأولى تقابل القمم للموجه الثانية والقيعان للموجة الأولى تقابل القيعان للثانية كما هو مبين في الشكل (٢٢) .

وإذا كان فرق الطور (Δ θ) بين الموجتين هو

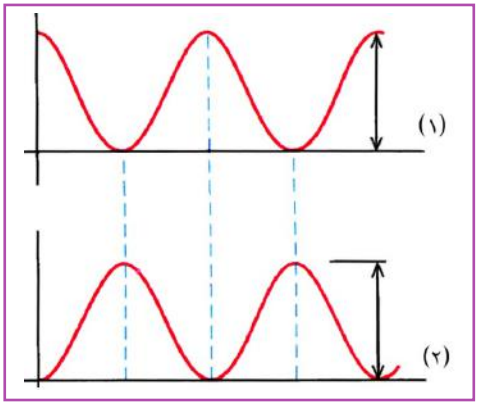
π ، ٣π ، ٥π ، ٧π ، ..... ، (٢د + ١) π

(حيث د = صفر ، ١، ٢، ٣، ..... عدد صحيح موجب) يقابل ذلك فرق في المسير بين الموجتين مقداره

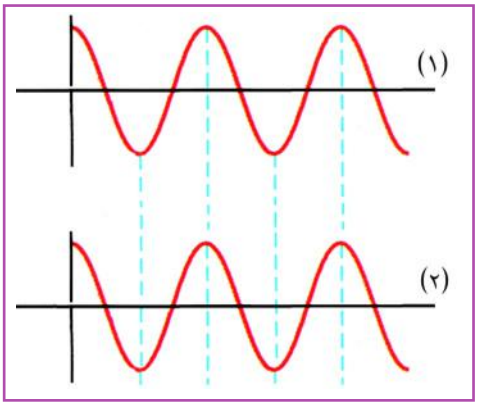
$\frac{\lambda}{٢}$ ، $\frac{\lambda ٣}{٢}$ ، $\frac{\lambda ٥}{٢}$ ، $\frac{\lambda ٧}{٢}$ ..... (٢د + ١) $\frac{\lambda}{٢}$

el-online.net

من أنصاف الأطوال الموجية. في هذه الحالة تكون الموجتان متعاكستان أي أن القمم للأولى تقابل القيعان للثانية كما هو مبين في الشكل (٢٣).



شكل (٢٣)



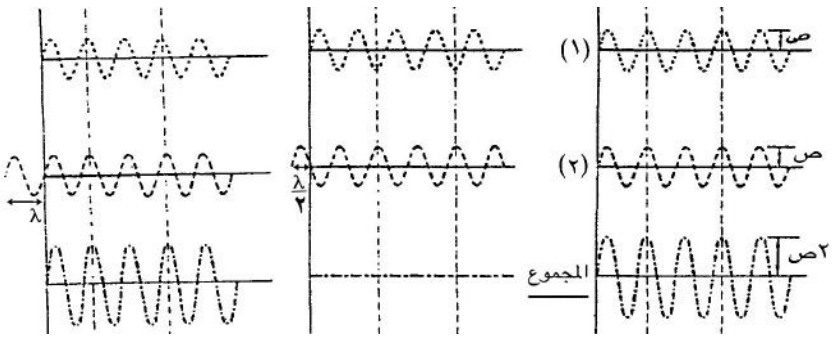
شكل (٢٢)

تداخل الأمواج (Interference)

ظاهرة التداخل هي الأثر الناتج من التقاء موجتين أو أكثر ويحدث ذلك بالنسبة لجميع أنواع الأمواج سواءاً كانت ميكانيكية (كالأمواج الصوتية أو المائية) أو كهرومغناطيسية (كأمواج الضوء).

عملية التداخل :

إذا اتحدت موجتان فإنهما قد تقوي أو تلاشي كل منهما الأخرى ويعتمد ذلك على فرق الطور بينهما فمثلاً إذا اتحدت الموجتان (١) و (٢) في الشكل (٢٤ أ)



شكل (٢٤)

(أ) الموجتان متفقتان في الطور

(ب) الموجتان متفاوتتان في الطور بمقدار π والمسير بمقدار $\frac{\lambda}{٢}$

(جـ) الموجتان متفاوتتان في الطور بمقدار $\pi ٢$ والمسير بمقدار λ

el-online.net

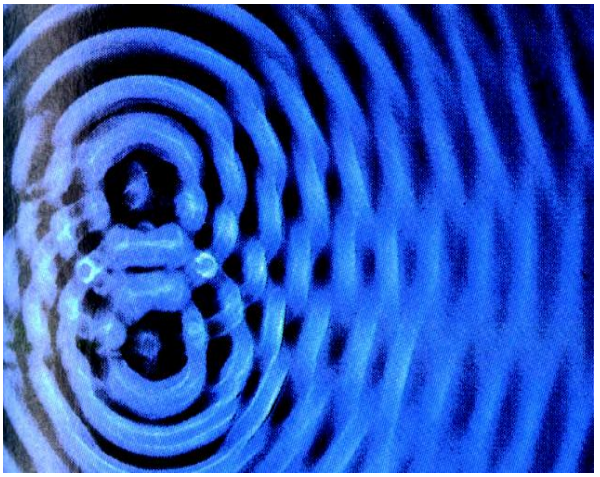
فكل منهما تقوي الأخرى لأنهما متفقتان في الطور فتلتقي قمم الموجة الأولى مع قمم الموجة الثانية وقيعان الأولى مع قيعان الثانية منتجة قمماً كبيرة. تسمى هذه الحالة التي اتحدت فيها الموجتان بحيث تقوي كل منهما الأخرى بالتداخل البنّاء (Constructive Interference).

وإذا حركنا المصدر الثاني (٢) إلى اليسار مسافة قدرها نصف طول موجي $\frac{\lambda}{٢}$ ، يقابله فرق في الطور بين الموجتين (١) ، (٢) مقداره $\pi = ١٨٠^{\circ}$ أي تصبحا متعاكستين في الطور، كما هو مبين في الشكل (٢٤ب)، فإن جمع الموجتين يكوّن الآن قمة الموجة (١) مع قاع الموجة (٢)، ونتيجة لذلك فإن الموجتين (١) و (٢) تلاشي كل منهما الأخرى ويكون مجموعهما = صفر إذا كانتا متساويتين في السعة (في الشدة) أما إذا كانتا مختلفتين في الشدة فيضعف المجموع ويكون عبارة عن حاصل طرحهما.

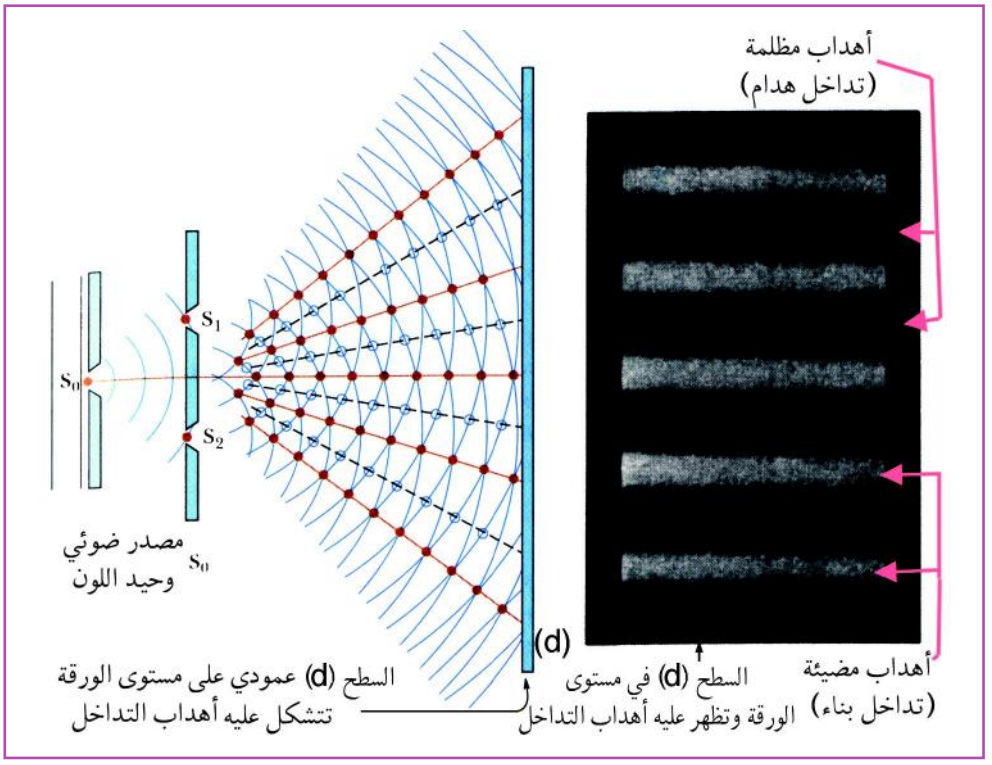
في حين إذا حركنا مصدر الموجة (٢) إلى اليسار مسافة طول موجي واحد (λ) فإنها ستكون متأخرة عن الموجة (١) بفرق طور مقداره (٢π) راديان، كما هو مبين في الشكل (٢٤ جـ)، وهنا تتحد الموجتان مرة ثانية بحيث إذا جمعتا معاً فإنهما سوف تقوي كل منهما الأخرى.

ويتبين لنا من هذا التحليل أن الموجتين المختلفتين في الطور بمقدار د ٢π أو بفرق في المسير مقدار (د λ) من الأطوال الموجية (حيث د = صفر ، ١، ٢، ٣ ..... عدد صحيح موجب) فإن تداخلهما يكون بنّاء ؛ بينما إذا اختلفتا في الطور بمقدار (٢ن + ١) π راديان أو بفرق مسير مقداره (٢ د + ١) $\frac{\lambda}{٢}$ من الأطوال الموجية فإن تداخلهما يكون هداماً. وفي الشكل (٢٥) صورة لتداخل الأمواج المائية التي تنتشر على شكل دوائر، وفي الشكل (٢٦) صورة لتداخل الأمواج الضوئية.

el-online.net



شكل (٢٥) .



شكل (٢٦) .

حيث أن S_1 و S_2 هما فتحتان صغيرتان يمثلان منبعين ضوئيين تنتشر منهما الأمواج الضوئية على شكل سطوح كروية ثم تتداخلان .

el-online.net

تقويم الوحدة

١- أكمل الفراغات في العبارات التالية:

أ - إذا تحرك جسم على مسار دائري بسرعة خطية مقدارها ثابت، فإن سرعته كمتجه ..... وذلك بسبب تغير الاتجاه المستمر أثناء الحركة.

ب - كل جسم في الكون يجذب ..... بقوة تتناسب طردياً مع .... وعكسياً ..... الفاصلة بينهما.

جـ - الحركة التوافقية البسيطة هي حركة اهتزازية منتظمة لكتلة حول موضع ..... بحيث يتناسب مقدار عجلتها تناسباً ..... وفي اتجاه معاكس لها.

٢- اذكر من مشاهداتك اليومية أمثلة لأجسام تتحرك حركة دورية.

٣- وضح مفهوم كل من:

أ - الموجة، ب- الموجات الطولية، جـ- الموجات المستعرضة.

٤- ما أنواع الحركة الموجية في الفيزياء ؟

٥- عدد طرق انتقال الطاقة في الفيزياء.

٦- هل تنتقل موجات الصوت في الفراغ؟ علل إجابتك.

٧- ضع العلامة (√) أمام العبارة الصحيحة وعلامة (X) أمام العبارة الخطأ:

أ - الحركة الدورية هي حركة تكرر نفسها في فترات زمنية متساوية. ( )

ب - في الحركة الدائرية المنتظمة القوة المؤثرة على الجسم المتحرك على مسار دائري تكون مماسة للمسار. ( )

جـ - قانون نيوتن في الجاذبية هو قانون يطبق على الجاذبية الأرضية فقط. ( )

د - لا تنتقل الموجات الميكانيكية في الفراغ. ( )

هـ - لا تنتقل الطاقة عبر الفراغ. ( )

و - الضوء شكل من أشكال الطاقة الكهرومغناطيسية. ( )

ر - تنتمي الموجات الصوتية إلى الحركة الموجية المادية. ( )

el-online.net

٨- اختر الإجابة الصحيحة :

أ - العوامل التي تحدد الزمن الدوري للبندول البسيط هي :

١- كتلته ، ٢- طوله ، ٣- سعة ذبذبته .

ب - من شروط التداخل البناء أن يكون فرق الطور ($\theta\Delta$) بين الموجتين المداخلتين

١) (٢ د π) ، ٢) (٢ د λ) ، ٣) (٢ د (١+π))

[حيث (د) عدد صحيح موجب و (λ) الطول الموجي] .

جـ - من شروط التداخل الهدام أن يكون فرق المسير (Δس) بين الموجتين المتداخلتين يساوي :

١) (د λ) ، ٢) (٢ د+١) $\frac{\lambda}{٢}$ ، ٣) (٢ د+π) λ .

٩- عرف كل من :

أ - الراديان ب- السرعة الزاويّة، جـ- الزمن الدوري د - التردد

هـ - ثابت النابض الحلزوني، و - شدة مجال الجاذبية الأرضية .

١٠- تسير سيارة سباق في مسار دائري نصف قطره (نق) = ٢٥٠ (متر) بسرعة خطية منتظمة مقدارها ١٠٠ م/ث . احسب ما يلي :

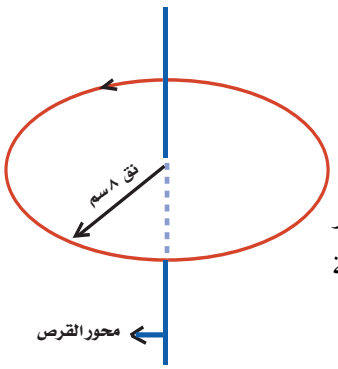
أ - السرعة الزاويّة للسيارة، ب - عجلة الجذب المركزية للسيارة واتجاهها .

١١- يدور قرص نصف قطره (٨) سم حول محوره ويعمل (١٢٠٠) دورة/دقيقة . كما في الشكل (٢٧) أوجد ما يلي :

أ - تردد القرص وزمنه الدوري .

ب - سرعته الزاويّة .

جـ - سرعته الخطية لنقطة على حافته .



شكل (٢٧)

١٢- يتحرك قمر اصطناعي حول الأرض في مسار دائري نصف قطره (٦٦٥٠ كم) بسرعة خطية (مدارية) مقدارها ٧,٧٥٨ كم/ثانية .

احسب ما يلي :

أ - زمن الدورة الكاملة للقمر الاصطناعي .

ب- عجلة الجاذبية الأرضية على ذلك المسار .

el-online.net

١٣- تابع أرضي يدور في مدار دائري على ارتفاع (٣٠٠٠)كم فوق سطح الأرض.

احسب ما يلي:

أ - سرعته الخطية. ب - زمنه الدوري.

جـ - عجلة الجذب المركزية للتابع الأرضي.

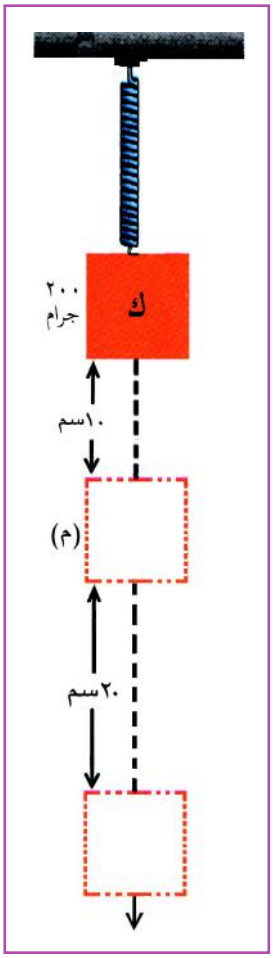
١٤- إذا كان الزمن الدوري للأرض حول الشمس هو (٣,١٥٦ × ١٠^٧) ثانية أي حوالي (٣٦٥,٢٥ يوماً) وبُعدها عن الشمس مقداره ١,٤٩٦ × ١٠^١١ متر وكتلتها (ك_ر) = (٥,٩٨ × ١٠^٢٤ كجم). فاحسب ما يلي:

أ - عجلة الجذب المركزية للأرض نحو الشمس.

ب - قوة الجذب المركزية المؤثرة على الأرض.

جـ - كتلة الشمس.

(حيث ج = ٦,٦٧٣ × ١٠^-١١ $\frac{\text{نيوتن.م}^2}{\text{كجم}^2}$ ثابت الجذب العام).



شكل (٢٨)

١٥- نابض حلزوني مثبت رأسياً من أعلاه. إذا علقت في طرفه السفلى كتلة (ك) مقدارها (٢٠٠جم) استطال النابض (١٠سم) واستقرت الكتلة في وضع توازن جديد (م). ثم إذا سحبت من موضع توازنها الجديد (م) مسافة (٢٠سم) كما في الشكل (٢٨) وتركت تتذبذب فإنها تعمل (١٦) ذبذبة في أربع ثوان.

احسب ما يلي:

أ - ثابت النابض (هـ).

ب - تردد الكتلة وزمنها الدوي.

جـ - سعتها ، (علماً بأن ء = ٩,٨ م/ث^٢).

el-online.net

١٦- إذا كان مقدار الكتلة المربوطة بطرف النابض الحلزوني الأفقي في الشكل (٢٨) هو (٨)كجم ونحتاج لقوة مقدارها (٨٠) نيوتن لسحبها مسافة مقدارها ٢٠سم. فإذا سحبت مسافة مقدارها (٣٠سم) وتركت تتذبذب عاملة ١٥ ذبذبة في ثلاث ثوان. احسب ما يلي:

أ – ثابت النابض (هـ).

ب – ترددها وزمنها الدوري.

جـ – سعة الذبذبة.

د – القوة والعجلة والسرعة واتجاهاتها عندما تصل الكتلة إلى أقصى إزاحة لها.

١٧- بندول بسيط كتلته (٤)كجم شدت كتلته إلى الموضع (أ) على ارتفاع (١٠سم) من موضع توازنها (م) ثم تركت تتذبذب حول موضع توازنها (م) محدثة ذبذبة واحدة في الثانية شكل (٢٩).

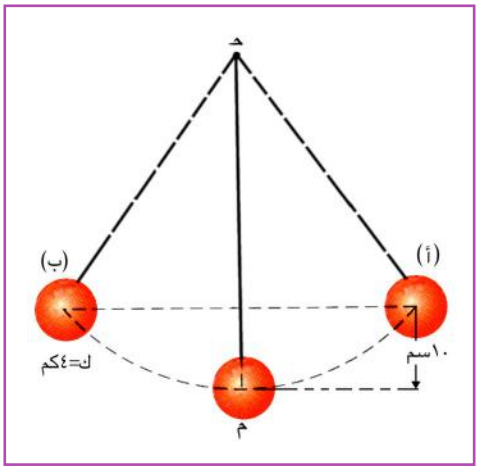
احسب ما يلي:

أ – الزمن الدوري للبندول.

ب – تردده.

جـ – طوله.

د – سرعة كتلته في الموضع (م).

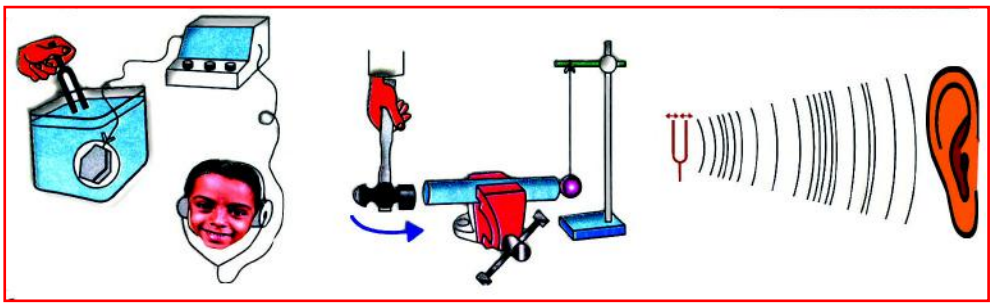


شكل (٢٩)

el-online.net

الوحدة الثالثة

الموجات الصوتية
(Sound waves)



أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة أن يكون قادراً على أن :

١ – يوضح أن الصوت شكلاً من أشكال الطاقة .

٢ – يوضح المقصود بكل من :
الطول الموجي، تردد الموجة الصوتية، صدر الموجة، الصدى، انعكاس الصوت، انكسار الصوت، تداخل الموجات الصوتية، الحيود .

٣ – يشرح كيفية انتشار الصوت على هيئة موجات طولية .

٤ – يبين العوامل التي تعتمد عليها سرعة الصوت عند انتقالها في أي وسط مادي، مثل الهواء .

٥ – يقارن بين سرعة الصوت في الأجسام الصلبة، والسوائل، والغازات .

٦ – يوضح العلاقة بين سرعة الصوت، والتردد، والطول الموجي .

٧ – يفسر حدوث ظاهرة الصدى .

٨ – يوضح خواص الموجات الصوتية عملياً .

٩ – يحل تطبيقات ومسائل رياضية على خواص الصوت، وظواهره .

١٠ – يتعرف على بعض التطبيقات والتقنيات للصوت، والظواهر الصوتية في الحياة العملية .

el-online.net

طبيعة الصوت

تسمع في حياتك اليومية العديد من الأصوات كصوت المؤذن للصلاة وأصوات الأشخاص، وأصوات الحيوانات، والآلات الموسيقية المختلفة، وقد درست ذلك في المرحلة الأساسية، كما درست –أيضاً– أن الصوت ينشأ عن اهتزاز جزيئات المادة، فعندما تهتز المصادر المادية؛ فإنها تصدر صوتاً، وعندما يتوقف الاهتزاز ينعدم الصوت.

وعرفت أن الصوت لا ينتقل في الفراغ إذ لابد من وسط مادي ينتقل خلاله، وهذا الوسط قد يكون صلباً، أو سائلاً، أو غازياً.

مثلاً: تسمع الأذان وأنت في منزلك؛ لأن الهواء ينقل إليك صوت المؤذن. فتكون الأذنان في حالة تلامس مع الهواء؛ حيث تهتز طبلة الأذن نتيجة اهتزاز جزيئات الهواء الناقل للصوت؛ فيسمع الصوت.

إذاً ينشأ الصوت نتيجة لاهتزاز جزيئات الوسط الناقل (الهواء مثلاً) دون أن تنتقل هذه الجزيئات، ولإحداث الصوت لابد من بذل شغل.

النشاط (١)

شد وتراً ثم اجذبه من منتصفه ستلاحظ: أنه في حالة اهتزاز ويصدر صوتاً وبذلك يكون قد بذل شغلاً لإحداث ذلك الاهتزاز وهو عبارة عن شغل ميكانيكي اكتسبه الوتر على هيئة حركة ميكانيكية تتحول إلى طاقة صوتية.

إذاً يعدّ الصوت شكلاً من أشكال الطاقة مرتبطاً باهتزاز وتذبذب المادة.

فالطاقة تنتقل من جزيء إلى الجزيء المجاور. أي أن الطاقة الصوتية تنتقل في الوسط المادي على هيئة موجات صوتية (Sound waves).

وهكذا نجد أنه لإحداث الصوت لابد من توافر شرطين:

١– مصدر مهتز لإصدار موجات ميكانيكية صوتية.

٢– وسطٌ مادي ناقل لهذه الموجات.

el-online.net

انتشار الصوت في الهواء على شكل موجات طولية

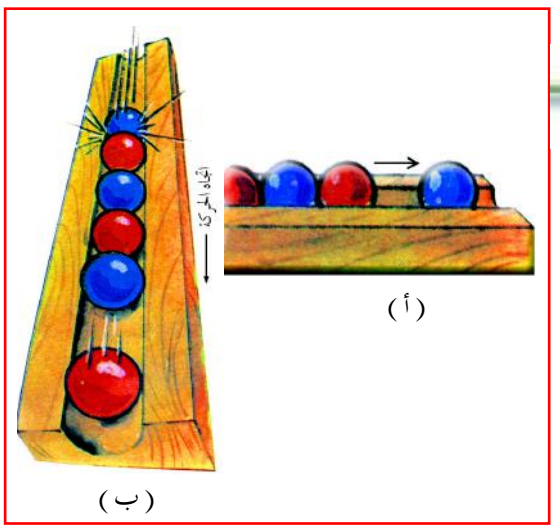
عرفت من دراستك للحركة الموجية أنه في حالة الموجات الطولية، تهتز جسيمات الوسط باتجاه انتقال الموجة.

حيث تهتز لفات السلك الحلزوني المرن (النابض) مكونةً سلسلة من التضاغطات والتخلخلات المتتالية على خط انتقال الموجة. وذلك ما يحدث للموجات الصوتية في الهواء.

والنشاط التالي يوضح كيفية اهتزاز جزئيات الوسط المادي (الهواء) دون أن تنتقل هذه الجزئيات مما يؤدي إلى سماع الصوت.

النشاط (٢)

١- خذ قطعة خشب ذات طول مناسب (متر واحد تقريبا)، واجعل بمنتصفها مجرى أملساً ناعماً مناسباً لعدد من الكرات الصغيرة التي يبلغ قطرها حوالي ٢سم تقريباً، ثم أبعد الكرة الأولى قليلاً عن باقي الكرات كما في الشكل (١/أ).



شكل (١).

٢ - دحرج الكرة التي أبعدتها لتقترب من بقية الكرات. ماذا تلاحظ؟

هل ستتحرك كل الكرات وتغادر مكانها. أم أن واحدة، فقط هي التي تتحرك من مكانها؟ وأية كرة يحدث لها ذلك؟ وما تفسيرك لم يحدث؟

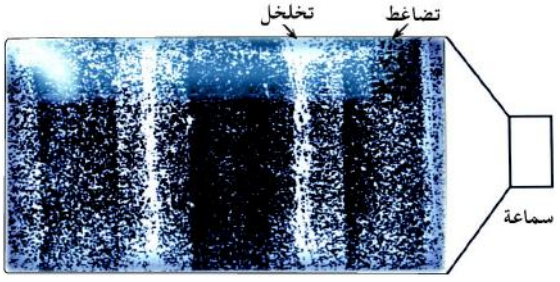
نلاحظ أن الكرة الأخيرة فقط هي التي تتحرك وتغادر مكانها بينما بقية الكرات المحصورة بين الأولى والأخيرة تتحرك مهتزة وهي في مكانها، كما في الشكل (١/ب).

وتفسير ذلك أن طاقة الحركة تنتقل من الأولى إلى الثانية وهكذا حتى تصل إلى الكرة الأخيرة فتكتسب طاقة الحركة لأنها لم تجد أمامها كرة تنقل إليها الطاقة فتتحرك هي إلى الأمام.

el-online.net

وبالمثل فإن الطاقة الاهتزازية لمصدر الصوت تنتقل من جزيء لآخر حتى تصل إلى جزيء الهواء الملامس لطبلة الأذن فيهتز مؤثراً على الأذن، وتسمع الصوت.

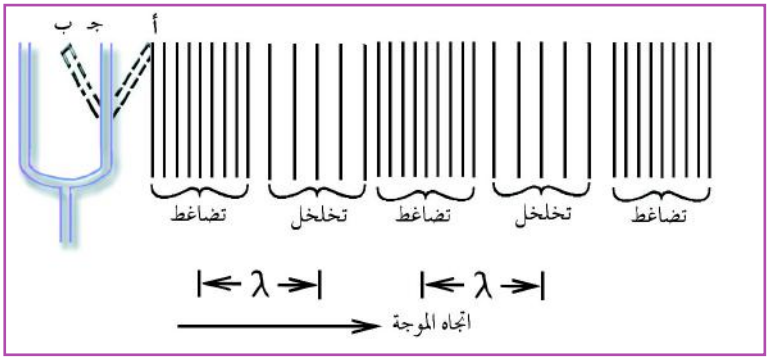
وهكذا عندما يهتز مصدر الصوت في الهواء –مثلاً– فإنه يؤثر على طبقة الهواء المجاورة له بقوى دورية، مما ينتج عنه انتشار نوع من الاضطراب الدوري للهواء. ويوضح الشكلين (٢) و (٣) تكوِّن التضاغطات والتخلخلات أثناء انتقال الاضطراب الناتج عن اهتزاز الشوكة الرنانة.



شكل (٢)

ويلاحظ ما يأتي :

- عند اهتزاز فرع الشوكة الرنانة؛ فإنها تتذبذب حول موضع سكونها (جـ) وبالطريقة نفسها – أيضاً – تتذبذب جزيئات الهواء حول موضع سكونها



شكل (٣)

دون الانتقال من مصدر الصوت إلى الأذن مكونة تضاغطات، وتخلخلات، تسمى الموجة الصوتية.

- بما أن حركة جزيئات الوسط موازية لاتجاه الموجة، فتكوِّن التضاغطات، والتخلخلات بذلك موجة طولية. إذاً الموجة الصوتية هي موجة طولية.
- الطول الموجي (Wavelength) (λ): هو المسافة بين مركزي تضاغطين متتالين، أو مركزي تخلخين متتاليين شكل (٣).
- تردد الموجة الصوتية يساوي تردد المصدر، ويساوي عدد الذبذبات، أو الاهتزازات التي يحدثها المصدر في الثانية.

el-online.net

- إذا كانت حركة الجسم المهتز (المصدر) تهتز بحركة توافقية؛ فإن جزيئات الهواء – أيضاً – تهتز بحركة توافقية مولدة موجات طولية تهتز – أيضاً – بحركة توافقية.

سرعة انتشار الموجات الصوتية في وسط مادي

تعتمد سرعة انتشار الموجات الصوتية في المواد المختلفة على خصائص المواد نفسها، وقد سبق لك دراسة انتقال الصوت في الأجسام الصلبة، والسائلة، والغازية، وعرفت من دراستك في المرحلة الأساسية أن سرعة انتقال الصوت في الأجسام الصلبة تكون أكبر منها في السائلة، وفي السائلة أكبر منها في الغازية كما يوضحها الشكل (٤) الذي يبين طرق انتقال الصوت في الأوساط الثلاثة المذكورة أعلاه.

شكل (٤) انتشار الموجات الصوتية.

فسرعة انتقال الصوت إذن تعتمد على خصائص المواد التي تنتقل خلالها، ومن هذه الخصائص:

١- مرونة الوسط الناقل لموجات الصوت:

أثبتت الدراسات العملية أنه إذا تعرضت مجموعة من الجسيمات للإزاحة عن موضع اتزانها، فإن ذلك يؤدي إلى نشوء قوى تعيد هذه الجسيمات إلى وضعها الأصلي، وأن الوسط المادي ذو المرونة الكبيرة (الأجسام الصلبة) تستعيد جسيماته مواضع اتزانها بسرعة أكبر. أي أن سرعة انتشار الموجات الصوتية في هذا الوسط تكون أكبر.

٢- كثافة ا لوسط الناقل للصوت:

إن زيادة كثافة مادة الوسط، تجعل جزيئات ذلك الوسط تتزاحم وتنقل الاضطراب من جزيء لآخر بسرعة أقل، وتستغرق وقتاً أطول لنقل حركة الاضطراب من جزيء

el-online.net

لآخر في الوسط، وبالتالي تقل سرعة انتشارموجات الصوت في هذا الوسط. حيث إن سرعة الصوت تتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي للكثافة عند ثبوت الضغط، وقد وجد أن سرعة انتشار الموجات الطولية في وسط مادي – كما عبر عنها نيوتن – هي :

$$\text{سرعة الصوت} = \sqrt{\frac{\text{معامل مرونة مادة الوسط}}{\text{كثافة مادة الوسط}}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$

٣- درجة الحرارة :

لقد وجد من خلال التجارب أن سرعة الصوت تتغير مع تغير درجة الحرارة؛ حيث تتناسب سرعة الصوت طردياً مع الجذر التربيعي لدرجة حرارة الوسط.

ع $\propto \sqrt{T}$ (حيث تُقاس T بالدرجة المطلقة)

٤- اتجاه الرياح وسرعتها :

لقد ثُبت بالتجربة، ومن واقع الحياة العملية أن الموجات الصوتية تكون سرعتها أكبر إذا انتقلت باتجاه الرياح بينما تقل سرعتها عندما تنتقل بعكس اتجاه الرياح.

تعيين سرعة الصوت في الأوساط المختلفة

أولاً : سرعة الصوت في الهواء الطلق :

قام الفيزيائي الأمريكي ميلر (Miller) في عام ١٩٣٤م، بتجربة لقياس سرعة الصوت استخدم فيها مدفعية السواحل كمصدر للصوت، ومجموعة من الأجهزة الكهربائية لاستقبال الصوت بعد أن وضعها على مسافات مختلفة من المصدر.

وقد بينت التجربة أن سرعة الصوت في الهواء الطلق عند درجة الصفر المئوي تساوي (٣٣١ م/ث). وتزداد بمقدار (٠,٦) م /ث تقريباً عند ارتفاع درجة الحرارة درجة مئوية واحدة.

تمرين :

برهن أن مقدار الزيادة في سرعة الصوت في الهواء الساكن تعطى بالعلاقة الآتية :

$(ع = ع_{٠} + ٠,٦ \times t)$ حيث $ع_{٠}$ = ٣٣١ م/ث ، (t) درجة الحرار المئوية.

el-online.net

ثانياً: سرعة الصوت في الماء:

أجريت تجارب لتعيين سرعة الصوت في الماء كانت نتيجتها أن سرعة الصوت في الماء عند درجة الصفر المئوي حوالي ١٤٣٠م/ث. ويحسب ذلك من المعادلة (١).

$$\text{سرعة الصوت} = \sqrt{\frac{\text{معامل مرونة مادة الوسط}}{\text{كثافة مادة الوسط}}}$$

حيث أن معامل المرونة الحجمي للماء = ٢,٠٤٤ × $١٠^{٩}$ نيوتن/م^{٢}

وكثافة الماء = ١٠٠٠ كجم/م^{٣} .

∴ سرعة الصوت في الماء = $\sqrt{\frac{٢,٠٤٤ \times ١٠^{٩}}{١٠^{٣}}}$ = ١٤٣٠م/ث تقريباً.

وهذه القيمة تتفق مع ما توصلت إليه التجارب .

ثالثاً: سرعة الصوت في مادة صلبة:

أدت العديد من التجارب إلى إيجاد سرعة الصوت في بعض المواد الصلبة،

مثل: سرعة الصوت في الحديد الصلب تساوي (٥٠٠٠م/ث) تقريباً.

وفي النحاس تساوي (٣٨١٥م/ث)، وفي الخشب تساوي (٣٤٠٠م/ث) تقريباً.

وتتفق هذه القيم مع القيم المحسوبة من المعادلة السابقة.

مثلاً:

معامل المرونة الطولي للنحاس = (١٣ × $١٠^{١٠}$ نيوتن/م^{٢}).

وكثافة النحاس = (٨٩٣٠ كجم/م^{٣}).

∴ سرعة الصوت في النحاس = $\sqrt{\frac{١٣ \times ١٠^{١٠}}{٨٩٣٠}}$ = ٣٨١٥م/ث تقريباً.

ويبين الجدول (١) سرعة الصوت في أوساط مختلفة، وعند درجات حرارة مختلفة.

el-online.net

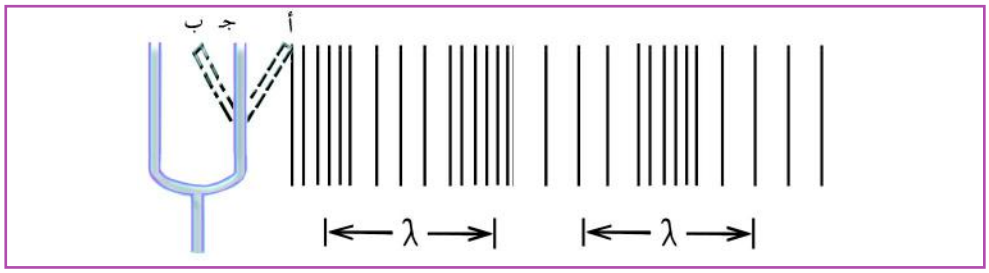
جدول (١) سرعة الصوت في أوساط مختلفة :

الوسط	سرعة الصوت (م / ث)	درجة الحرارة (درجة مئوية)
الهواء	٣٣١	صفراً
ثاني أكسيد الكربون	٢٥٨	صفراً
الهيدروجين	١٢٦٩	صفراً
الأكسجين	٣١٧	صفراً
الألومنيوم	٥١٠٠	٢٠
الفضة	٢٦٨٠	٢٠
الماء	١٤٩٣	٢٥
ماء البحر	١٥٣٣	٢٥
زيت الكيروسين	١٣١٥	٢٥
بخار الماء	٤٠٥	١٠٠

وبمقارنة سرعة الصوت في الهواء، والسوائل، والمواد الصلبة، نجد أن سرعة الصوت تختلف من غاز لآخر، ومن مادة صلبة لأخرى، وكذلك في السوائل كما يوضحها الجدول السابق، الذي يبين لنا أن سرعة انتقال الصوت في المواد الصلبة أسرع من انتقاله في المواد السائلة، والغازية .

العلاقة بين سرعة الصوت والتردد والطول الموجي

عندما يهتز فرع الشوكة الرنانة من (ب) إلى (أ) تحدث نبضة تضاغط في طبقة الهواء الملامسة لفرع الشوكة، وعندما يهتز فرع الشوكة من (أ) إلى (ب) ؛ تحدث نبضة تخلخل في طبقة الهواء الملامسة للفرع، شكل (٥) .



شكل (٥)

أي عندما يكمل فرع الشوكة الرنانة اهتزازةً كاملة؛ يحدث في الوسط المجاور للشوكة موجةً صوتية كاملة (λ) مكونة من تضاغط ، ثم تخلخل متتاليين.

ماذا تستنتج من ذلك؟

el-online.net

– إن عدد الموجات الصوتية الحادثة في الوسط تساوي عدد الاهتزازات التي يحدثها مصدر الصوت .

– فإذا اهتزت الشوكة عدداً من الاهتزازات يساوي (f) اهتزازة في زمن قدره ثانية واحدة؛ وكان طول كل موجة يساوي (λ) ؛ فإن المسافة التي ستقطعها الموجة في الثانية = عدد الموجات في الثانية الواحدة × طول الموجة الواحدة = f × λ .

وبما أن سرعة الصوت في وسط ما ، تقدر بالمسافة التي تقطعها الموجات الصوتية في الثانية الواحدة ، وتردد الصوت = عدد الموجات الصوتية الحادثة في الثانية الواحدة .

∴ سرعة الصوت = تردد الصوت × طول الموجة ، وتكتب رياضياً على النحو التالي :

$$ع = f \times \lambda \quad \ldots\ldots\ldots (٢)$$

مثال (١) :

ما طول الموجة الذي تحدثه شوكة رنانة مهتزة في الهواء، ترددها ٢٧٥ ذبذبة / الثانية إذا كانت سرعة الصوت في الهواء ٣٣٠ م / ث .

الحل : $ع = f \times \lambda$

$٣٣٠ = ٢٧٥ \times \lambda$

$$\therefore \lambda = \frac{٣٣٠}{٢٧٥} = ١٫٢١ \text{ متراً} = ١٢١ \text{سم} .$$

مثال (٢) : احسب تردد موجة الصوت التي تحدثها شوكة رنانة مهتزة في الهواء عند درجة حرارة ١٥° م ، إذا كان طولها الموجي ١١٠سم .

الحل :

$$f = \frac{ع}{\lambda} \quad ، \quad t = ١٥° م ، \lambda = ١١٠ \text{ سم} = ١٫١ \text{ متر}$$

نحسب سرعة الصوت عند درجة ١٥° باستخدام العلاقة $ع = ع_{.} + ٠٫٦ \times t$

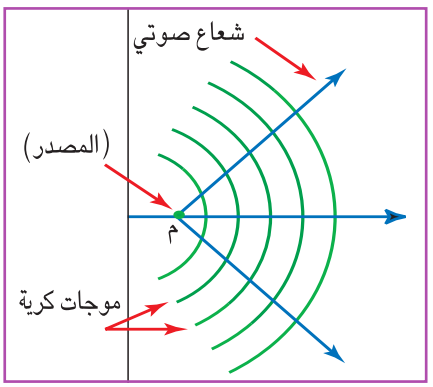
$ع = ٣٤٠$ م / ث

$$\therefore f = \frac{٣٤٠}{١٫١} = ٣٠٩ \text{ هرتز}$$

el-online.net

الموجات الكُريّة

تعلم أنه عندما يرن الجرس؛ فإن صوته يسمعه كل من في المدرسة، وكذلك يسمع سكان المنطقة المحيطة بالمسجد صوت الأذان في نفس الوقت، أي أننا نسمع الصوت في جميع الاتجاهات حول المصدر؛ لأن الموجات الصوتية تنتشر في الوسط الواحد المتجانس في جميع الاتجاهات وبنفس السرعة فبعد زمن معين (ز ثانية) تكون الطاقة المصاحبة لانتقال الموجات الصوتية قد ابتعدت مسافة عن المصدر مقدارها (ف = ع × ز) متراً، وهذه المسافة تكون متساوية في جميع الاتجاهات حول المصدر، أي تكون تلك الطاقة قد وصلت إلى نقط تقع جميعها على سطح كرة صوتية مركزها هو المصدر، ونصف قطرها = ع × ز متراً، ويكون انتشار الصوت (م) على شكل موجات كُريّة متزايدة الاتساع، ومركزها جميعاً هو مصدر الصوت. انظر الشكل (٦).



شكل (٦) (صدر الموجة).

صدر الموجة :

هو السطح الذي يمر بجميع نقاط الوسط المتذبذبة والتي لها نفس الطور.

أما عند نقطة معينة في الوسط فإن صدر الموجة هو الجزء من السطح الكروي المار بتلك النقطة، مركزه المصدر المهتز.

خواص الموجات الصوتية (Properties of Sound waves)

١ـ الانعكاس (The Reflection) :

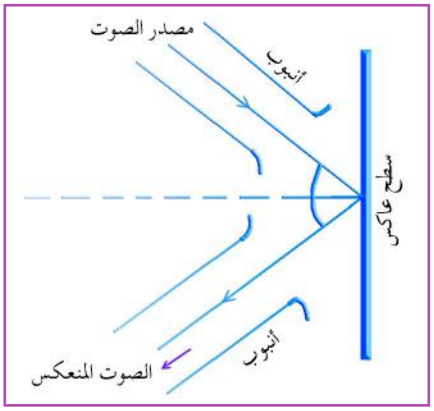
علمت – مما سبق – أن الصوت ينتشر على شكل موجات طولية مكونة من تضاغطات، وتخلخلات متتالية، وأن هذه الموجات تنتشر في الهواء في جميع الاتجاهات علي هيئة كرات مركزها مصدر الصوت، وعندما تصادف هذه الموجات سطحاً مستوياً تصطدم به ؛ وترتدّ في الاتجاه المعاكس على شكل كرات تبدو وكأنها صادرة من مصدر آخر يقع خلف السطح العاكس، كما في الشكل (٧)، ويتضح من ذلك أن الصوت ينعكس كما ينعكس الضوء، وتخضع موجات الصوت لنفس

el-online.net

قوانين انعكاس الضوء التي سبق لك دراستها في المرحلة الأساسية والتي تنص على أن :

١- زاوية السقوط = زاوية الانعكاس .

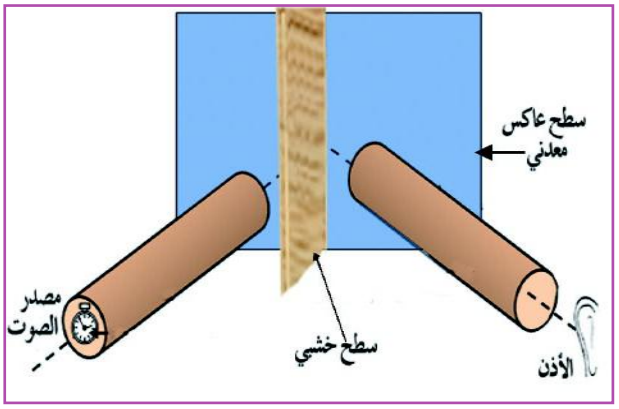
٢- الشعاع الصوتي الساقط، والشعاع الصوتي المنعكس، والعمود المقام عند نقطة السقوط على السطح العاكس، تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس .



شكل (٧)، انعكاس الموجات الصوتية .

تجربة : استنتاج قانوني الانعكاس للموجات الصوتية :

أحضر الأدوات الموضحة في الشكل (٨)، وركبها مثلما هو موضح في الشكل، ثم نفذ التجربة كما في دليل الأنشطة، والتجارب العملية .



شكل (٨)، استنتاج قانوني انعكاس الموجات الصوتية .

الصدى : (Echo):

هل وقفت مرة أمام عمارة كبيرة بعيدة عنك، أو في قاعة كبيرة غير مؤثثة ثم تكلمت بصوت مرتفع، وسمعت صوتك يعود إليك مرة ثانية، كذلك إذا وقفت أمام جبل في واد، ثم صرخت بصوت مرتفع فسوف تسمع صوتك يتردد مرة ثانية . ماذا تسمى هذه الظاهرة .

تسمى ظاهرة عودة الصوت ، وإعادة سماعه بعد انعكاسه بظاهرة الصَّدى .

فالصدى هو تكرار للصوت الأصلي . ويحدث الصدى نتيجة لاصطدام الموجات الصوتية بحاجز يعمل على عكسها، وقد يكون الحاجز صخرة، أو جبلاً، أو جداراً عالياً . ويكون الصدى أخفض من الصوت الأصلي نتيجة لنقصان الطاقة، لأن موجات الصوت الأصلية تفقد جزءاً كبيراً من طاقتها عند الانتقال ذهاباً وإياباً من مصدرها إلى الحاجز، والفارق الزمني بين حدوث الصوت، وسماع الصدى هو الزمن الذي

el-online.net

تستغرقه الموجات الصوتية للانتقال من مصدر الصوت إلى الحاجز ذهاباً وإياباً. والأذن البشرية لاتستطع أن تميز بين صوتين الفترة الزمنية بينهما أقل من $\frac{١}{١٠}$ ثانية. فعندما تكون سرعة الصوت في الهواء (٣٤٠) متر/الثانية، تكون المسافة التي يقطعها الصوت في زمن $\frac{١}{١٠}$ من الثانية تساوي $\frac{١}{١٠} \times ٣٤٠ = ٣٤$ متر ذهاباً وإياباً ، وفي هذه الحالة تكون المسافة بين مصدر الصوت والسطح العاكس = $\frac{٣٤}{٢} = ١٧$ متراً وهي أقل مسافة يسمع فيها الصدى، أما إذا كان بعد السطح العاكس أكبر من (١٧) متر فإن الصدى يصل إلى الأذن منفصلاً بعد زوال الصوت الأصلي فيسمع الصدى بوضوح، و إذا كان البعد أقل من (١٧) متراً فيصل الصدى إلى الأذن قبل زوال تأثير الصوت الأصلي ويختلط به فلا يكون الصوت واضحاً، ولا تميز الأذن بين الصوت الأصلي، والصدى، كما أن البعد (١٧) متراً ليس ثابتاً بل يعتمد على سرعة الصوت آنذاك.

مثال (٣) :

وقف شخص على بعد (١٨٠٠) متراً من جبل، ثم أصدر صوتاً سُمع صداه بعد عشر ثوان من إصداره، أوجد سرعة الصوت في الهواء في تلك اللحظة.

الحل :

بُعد الجبل = ١٨٠٠ متراً

زمن ذهاب وإياب الصوت = عشر ثوان،

∴ زمن ذهاب الصوت = $\frac{١٠}{٢}$ = ٥ ثوان،

سرعة الصوت = $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} = \frac{١٨٠٠}{٥} = ٣٦٠$ متراً /الثانية.

سؤال : هل يمكنك تقدير درجة حرارة الهواء في تلك اللحظة بالاستعانة بالملاحظة السابقة؟

٢ ـ الانكسار (The Refraction) :

درست – سابقاً – أن الموجات الضوئية تنكسر عند انتقالها من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر مختلف عنه في الكثافة، فهل تنكسر الموجات الصوتية ـ أيضا ـ عند انتقالها من وسط لآخر مختلف عنه في الكثافة؟

عند انتقال الموجات الصوتية من وسط ذو كثافة معينة إلى وسط آخر يختلف

el-online.net

عن الأول في كثافته؛ فإنها تنكسر؛ لأن سرعة الصوت تعتمد على كثافة الوسط، وذلك يؤدي إلى اختلاف اتجاه حركة الموجات الصوتية –كما يحدث لموجات الضوء–

- ولكن ما الذي يحدث إذا انتقلت الموجات الصوتية من الهواء إلى الماء؟

نظراً لوجود فرق كبير بين سرعتي الصوت في الهواء والماء؛ فإن معظم الطاقة الصوتية تنعكس على سطح الماء، ولا ينفذ منها إلى الماء إلا قدر ضئيل ولا يحدث انكسار ملحوظ للصوت عند سقوطه من الهواء إلى الماء. وهذا يعني أن انكسار الصوت يحدث بوضوح عند وجود فرق ضئيل بين سرعتي الصوت في الوسطين المنتقل خلالهما الصوت.

تجربة: لإثبات أن الموجات الصوتية تنكسر عندما يصادف الصوت وسطاً يختلف في الكثافة عن الوسط الذي يسير فيه.

(نفذ التجربة في كراس الأنشطة، والتجارب العملية).

٣- التداخل (The Interference):

سبق وأن تم تعريفه في الوحدة الثانية .

٤- الحيود (The Diffraction):

قد تسمع أصواتاً لمصادر من خارج غرفة الصف، أو من خارج غرفتك، وأنت في الداخل، كما تسمع صوتاً من مصدر خلف حاجز فما سبب ذلك؟

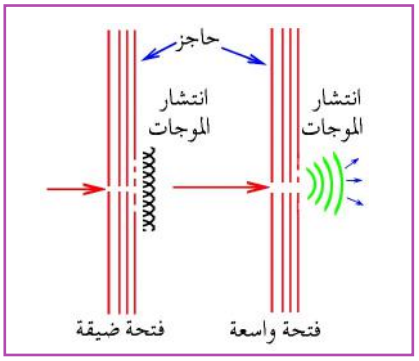
إن سماع الأصوات القادمة من مصدر خلف حاجز، سببه حيود الموجات الصوتية.

ويعرّف الحيود: بأنه ظاهرة انحراف الطاقة الصوتية المصاحبة لانتقال الحركة الموجية، عن مسارها في خط مستقيم في الوسط نفسه. وبذلك فهو يختلف عن ظاهرة الانكسار من وسط لآخر .

كما يطلق على انحراف الموجات الصوتية خلال فتحة صغيرة حول حاجز بالحيود، أو الحيد. ويفسر حيود موجات الصوت بأن كل نقطة على صدر الموجة تعمل كمصدر ثانوي يصدر موجات كرية ثانوية، تنتشر في اتجاهات مختلفة، وكما يتضح من الشكل (٩) فإن حيود الموجات الصوتية يتوقف على علاقة الطول الموجي للصوت باتساع فتحة الشق (الحاجز).

el-online.net

فكلما اتسعت فتحت الشق استطاعت الموجة الحفاظ على شكلها، وكلّما ضاقت الفتحة أدى ذلك إلى انتشار الموجات في منطقة أوسع خلف الحاجز بسبب انحرافها من مسارها الأصلي.



شكل (٩)

تطبيقات على الصوت والظواهر الصوتية

تقوم التقنيات الحديثة على الاستفادة من الظواهر الفيزيائية، وتطبيقها في الحياة العملية، ومنها الظواهر الصوتية، وفيما يلي بعض تلك التطبيقات:

١- **البوق**: كما في الشكل (١٠) يعد تطبيقاً للانعكاس المتكرر للصوت على الجدار الداخلي للبوق ويستخدم في تقوية الموجات الصوتية.

وعندما يتحدث الشخص من الفتحة الضيقة تنحصر الطاقة الصوتية داخل البوق، وتتجه إلى جهة واحدة – فقط – وذلك بسبب الانعكاسات المتكررة للصوت داخل البوق، ولا تتوزع في جميع الجهات، وتهتز جزيئات الهواء الموجودة داخل البوق بشدة مما يؤدي إلى زيادة شدة الصوت وسماعه قوياً.

شكل (١٠) البوق

شكل (١١) سماعة الطبيب

٢- **سماعة الطبيب**: اعتماداً على فكرة البوق.

– لماذا صُممت سماعة الطبيب بهذه الكيفية الموضحة في الشكل (١١)؟

– وكيف بُنيت فكرة عملها على ظاهرة الصدى؟

el-online.net

٣- تَبثُّ بعض الحيوانات، مثل: الحيتان، والدلافين، والخفافيش موجات صوتية في جميع الجهات، وعن طريق مسار الصدى تستطيع تلك الحيوانات تحديد مواقع فرائسها، أو تحديد اتجاه سيرها.

٤- عند تصميم العمارات السكنية، وقاعات المحاضرات، والمسارح، وغيرها من المنشئات التي يحدث فيها تشويش، وضوضاء نتيجة الانعكاسات المتكررة للصوت؛ يقوم المختصون بمعالجة ذلك بتغطية الجدران بمواد عازلة (ماصة) للصوت؛ للتقليل من حدوث الصدى.

٥- حساب بُعد السُحُب (التي يحدث فيها البرق والرعد في الوقت نفسه) عن الأرض، ولأن سرعة الضوء أكبر من سرعة الصوت؛ فإننا نرى البرق أولاً ثم نسمع صوت الرعد، وبالتالي فإن الزمن الذي يستغرقه الضوء ليصل إلى الأرض صغيراً جداً مقارنة بالزمن الذي يستغرقه صوت الرعد.

باستخدام ساعة إيقاف يتم حساب الزمن (ز) بيِّن رؤية وميض البرق، وسماع صوت الرعد، ثم بمعرفة سرعة الصوت (ع) يمكن حساب البعد (ف)،

$$ع = \frac{ف}{ز}$$

∴ ف = ع × ز ، وهو بعد السحب التي حدث فيها البرق.

el-online.net

السؤال الأول : أكمل العبارات التالية بما يناسبها :

١- يعد الصوت شكلاً من أشكال.....

٢- ينشأ الصوت نتيجة ..... جزيئات الوسط الناقل.

٣- ينتشر الصوت على هيئة موجات مكونة من .....و...

٤- تتناسب سرعة الصوت ..... مع درجة حرارة الوسط الناقل للموجات الصوتية.

السؤال الثاني : ضع دائرة حول الإجابة الصحيحة، فيما يلي :

١- المقصود بحاصل ضرب التردد X الطول الموجي :

أ - التداخل. ب - سرعة الصوت.

جـ- الصدى. د - الحيود.

٢- المسافة بين مركزي تضاغطين متتالين، أو مركزي تخلخلين متتاليين تعني :

أ - التردد . ب - انعكاس الموجات الصوتية.

جـ- الطول الموجي. د - سرعة الموجات الصوتية.

٣- تسمى ظاهرة إعادة سماع الصوت الأصلي بعد انعكاسه :

أ - انكسار الموجات الصوتية. ب - حيود الموجات الصوتية.

جـ- الموجة الطولية. د - الصدى.

السؤال الثالث : علل :

١- يُسمع الصّدى في قاعة كبيرة، ولا يُسمع في غرفة صغيرة.

٢- عندما تكون في غرفتك تسمع أصواتاً تصدر من خارج الغرفة.

٣- لا تسمع الأصوات عندما تكون غاطساً تحت سطح الماء.

السؤال الرابع : وضح مع الرسم الآتي :

١ - الموجات الصوتية تنتشر على هيئة موجات كُريّة مركزها مصدر الصوت.

٢ - كيفية انعكاس الموجات الصوتية.

٣- حيود الموجات الصوتية يتغير بتغير اتساع فتحة الحاجز.

el-online.net

السؤال الخامس :

١ – مستعيناً بالجدول التالي، أوجد سرعة الصوت في كل من الأكسجين، والزئبق، والفولاذ، ثم من خلال إجاباتك حدّد نوع الوسط الذي تكون فيه سرعة الصوت أكبر.

المادة :	الكثافة كجم/م^{٣} .	معامل المرونة نيوتن/م^{٢} .	سرعة الصوت
الأكسجين .	١٫٤٣	١٫٤١×١٠^{٥}	
الزئبق .	١٣٦٠٠	٢٫٨×١٠^{١٠}	
الفولاذ .	٧٨٠٠	٢ × ١٠^{١١}	

٢– إذا علمت أن سرعة الصوت في ماء البحر (١٥٣٣) م/ث، وكثافته = (١٫٠٢٥ × ١٠^{٣}) كجم/م^{٣} ؛ فما معامل المرونة الحجمي لماء البحر؟

السؤال السادس : ضع الإشارة (√) على رمز الإجابة الصحيحة ، فيما يأتي :

١– العلاقة f × λ تعنى : أ – الطول الموجي . ب – سعة الاهتزازة .
جـ – سرعة الموجة الصوتية . د – المسافة التي يقطعها الصوت ليصل إلى الأرض .

٢– عندما تكون سرعة الصوت في الهواء : (٣٣٦) م/ث، ما تردد شوكة رنانة تحدث موجات طولية في الهواء طول كل منها (٤٢)سم ؟
أ – (٨٠) ذ/ث . ب – (٨٠٠)ذ/ث .
جـ – (٠٫٠٨)ذ/ث . د – (٠٫٨)ذ/ث .

٣– الطول الموجي للموجة الصوتية التي تحدثها شوكة رنانة مهتزة في الهواء عند درجة حرارة(٣٥°م) إذا كان ترددها (٢٥ ر كيلوهرتز) يبلغ :
أ – ١٫٣٢٤ متر. ب– ١٫٤١ سم .
جـ – ١٫٤١ متر . د – ١٫٣٢٤ سم .

السؤال السابع : أجب عن الأسئلة التالية :

١– اشرح كيفية حدوث كلٍّ مما يأتي :
– الانعكاس – الانكسار – الحيود للموجات الصوتية ، مع التوضيح بالرسم .

٢– ما أثر كثافة الوسط الناقل للصوت على سرعة الصوت؟

٣– كيف يتم التغلب على الدوي الناتج عن انعكاس الصوت في القاعات عند بنائها؟

٤– اشرح تجربة لاستنتاج قانوني انعكاس الموجات الصوتية .

el-online.net

الوحدة الرابعة

النغمات الصوتية والرنين

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة أن يكون قادراً على أن :

١- يوضح المقصود بكل من :

درجة الصوت – شدة الصوت – نوع الصوت – الرنين – الاهتزاز (القسري – الرنيني) – الديسيبل – التلوث الضوضائي– الضربات .

٢- يوضح العلاقة بين تردد موجات الصوت ومدى السمع عند الإنسان .

٣- يوضح كيفية استجابة الأذن البشرية للصوت .

٤- يشتق العوامل التي تتوقف عليها شدة الصوت .

٥- يذكر بعض التطبيقات للموجات فوق السمعية، وغيرها من الأمواج الصوتية .

٦- يوضح عملياً كيفية اهتزاز الوتر .

el-online.net

٧ – يستنتج عملياً العلاقة بين تردد الوتر المهتز والعوامل التي يتوقف عليها .

٨ – يفرق بين النغمات الصوتية ونوع الصوت .

٩ – يصف مع الرسم الصندوق الرنان، والصونومتر .

١٠– يحدد عملياً العلاقة بين تردد العمود المهتز وطوله لكل من العمود الهوائي المغلق والمفتوح .

١١– يفسر حدوث الرنين في الأعمدة الهوائية .

١٢– يوضح الفرق بين النغمة الأساسية والنغمة التوافقية .

١٣– يحسب سرعة الصوت في الهواء باستخدام الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة والمفتوحة .

١٤– يذكر أنواع الآلات الموسيقية .

١٥– يحل المسائل ذات العلاقة .

مميزات النغمات الصوتية

عند طرق شوكة رنانة يهتز فرعاها بتردد معين، وهذا يسبب اهتزاز جزيئات الهواء بنفس التردد وينتج عنه موجات صوتية توافقية بسيطة، ويسمى الصوت الناشئ عن ذلك الاهتزاز « نغمة صوتية » .

فما هي النغمة الصوتية؟

«**تطلق النغمة الصوتية على كل صوت له تردد محدد**»

وأغلب الأصوات الصادرة عن حديث الأشخاص أو الآلات الموسيقية عبارة عن خليط من نغمات صوتية ذات ترددات مختلفة .

تستطيع الأذن البشرية أن تميز بين ثلاث نغمات صوتية مختلفة كصوت كل من المرأة ، الرجل، الطفل .....إلخ وذلك من خلال اختلافهم في الأوجه الآتية :

١– درجة الصوت

٢– شدة الصوت

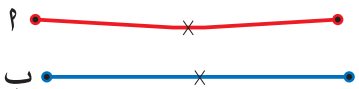
٣– نوع الصوت

el-online.net

١ـ درجة الصوت Pitch of Sound

النشاط (١)

١- أحضر خيطاً بلاستيكياً (وتر)، ثم ثبت طرفيه بحيث يكون مرتخياً كما في الشكل (١/أ)، اجذبه من منتصفه ثم اتركه واستمع إلى النغمة الصوتية الصادرة.



شكل (١)

٢- شد الوتر كما في الشكل (١/ب)، واجذبه من منتصفه، كما حدث في الحالة (١) ثم اتركه واستمع إلى النغمة الصوتية الصادرة.

- ما الفرق بين النغمات الصوتية التي سوف تسمعها في الحالتين؟
- متى تكون درجة النغمة المسموعة غليظة؟ متى تكون رفيعة أو حادة؟
- ما العلاقة بين درجة الصوت المسموع والتردد؟
- من هذا النشاط اذكر تعريفاً لدرجة الصوت؟

درجة الصوت: هي خاصية النغمة التي تجعلنا نميز بين نغمة غليظة ونغمة رفيعة (حادة). أي أن الدرجة تعبر عن حدة النغمة، أو حدة الموجات الصوتية التي تشعر بها الأذن. فكلما كان الصوت حاداً كانت درجته عالية، وكلما كان غليظاً كانت درجته منخفضة.

وتختلف درجة الصوت باختلاف مصدره، فكلما زاد تردد الوتر المشدود زادت درجة صوته، لذلك نشاهد وجود مفاتيح في بعض الآلات الموسيقية للتحكم في درجة الصوت أي في حدته عن طريق شد الأوتار أو إرخائها.

أيهما أعلى تردداً صوت الرجل (الغليظ) أم صوت المرأة (الرفيع)؟

من هذا النشاط نتوصل إلى أن: درجة الصوت تتناسب طردياً مع تردد مصدره ويكون الصوت حاداً كلما زاد تردده.

٢ـ شدة الصوت Intensity of Sound

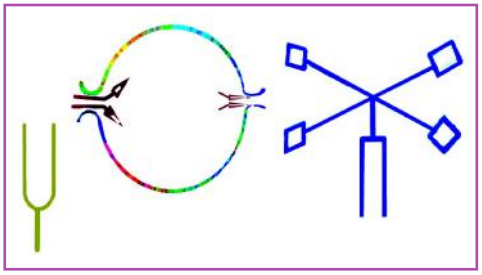
درست سابقاً أن الصوت يعد شكلاً من أشكال الطاقة، وتكون الطاقة المصاحبة لانتقال الموجات الصوتية في وسط مادي طاقة ميكانيكية يمكنها أن تحرك الأشياء.

والنشاط التالي يوضح ذلك.

el-online.net

النشاط (٢)

١- أحضر إناءً كروياً أو أسطوانياً مفتوح الطرفين بحيث تكون إحدى فتحتيه أوسع من الأخرى (مثل قنينة مياه صحية) كما هو موضح بالشكل (٢)، ومروحة ورقية خفيفة، وشوكة رنانة.



شكل (٢)

٢- اطرق فرعي الشوكة ثم ضعها أمام الفوهة المتسعة للإناء، وضع المروحة أمام الفوهة الضيقة.

وعند اهتزاز الشوكة الرنانة ستشاهد دوران المروحة دلالة على اكتسابها طاقة حركية نتيجة لانتقال الطاقة الصوتية في الهواء عبر فتحة الإناء.

يدل ذلك على أن الطاقة الصوتية هي طاقة ميكانيكية.

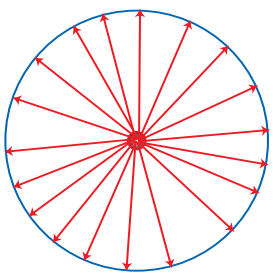
شدة الصوت عند نقطة، تعني **مقدار الطاقة الصوتية التي تَعْبر عمودياً وحدة المساحات حول نقطة ما في الثانية الواحدة.**

كما يقصد **بشدة الصوت خاصية النغمة التي تجعلنا نميز بين النغمة القوية والنغمة الضعيفة** وتتوقف شدة الصوت عند نقطة ما على العوامل الآتية:

١- المسافة بين مصدر الصوت والنقطة التي يصل إليها الصوت (السامع):

تنتشر الطاقة الصوتية على شكل موجات كروية مركزها مصدر الصوت وفي لحظة ما تتوزع هذه الطاقة على سطح الكرة شكل (٣).

فلو فرضنا أن (م) مصدراً صوتياً، و(ط) كمية الطاقة الصوتية الساقطة في جميع الاتجاهات على سطح الكرة في الثانية الواحدة فإن:

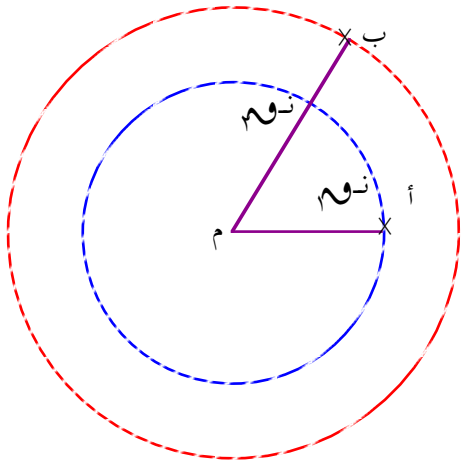


شكل (٣)

$$\text{شدة الصوت عند نقطة} = \frac{\text{كمية الطاقة الصوتية في الثانية}}{\text{وحدة المساحات من سطح الكرة}}$$

el-online.net

وفي الشكل (٤) تتوزع الطاقة (طا) بانتظام على سطح كرة نصف قطرها = نـ$_{ه_1}$



شكل (٤) إثبات قانون التربيع العكسي في الصوت نظرياً .

∴ شـدة الصـوت عند النقطة (أ)

$$ش_1 = \frac{طا}{٤ \pi نـ_{ه_1}^2} \quad .....(١)$$

كـما تتـوزع الطاقة (طا) بانتظام على سطح كرة نصف قطرها = نـ$_{ه_2}$

شدة الصوت (ش) عند النقطة (ب)

$$ش_2 = \frac{طا}{٤ \pi نـ_{ه_2}^2} \quad .....(٢)$$

$$\frac{ش_1}{ش_2} = \frac{نـ_{ه_2}^2}{نـ_{ه_1}^2} \quad .....(٣)$$

من (١ ، ٢) نجد أن :

إذا كان (نـ$_{ه_1}$) = ف$_1$ بعد النقطة (أ) عن المصدر (م)

و (نـ$_{ه_2}$) = ف$_2$ بعد النقطة (ب) عن المصدر (م)

فإن :

$$\frac{ش_1}{ش_2} = \frac{ف_2^2}{ف_1^2} \quad .....(٤)$$

ومن العلاقة (٤) نجد أن :

شدة الصوت تتناسب عكسياً مع مربع بُعد النقطة عن المصدر .

$$\therefore ش \propto \frac{1}{ف^2} \quad .....(٥)$$

ويعرف ذلك بقانون التربيع العكسي في الصوت والذي ينص على أن :

شدة الصوت تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بين المصدر والسامع .

فكلما ابتعد مصدر الصوت توزعت الطاقة على مساحة أكبر وهذا يجعل شدة الصوت تختفي تدريجياً كلما زادت المسافة بين المصدر والنقطة (السامع) .

el-online.net

٢- كثافة الوسط الناقل للصوت :

أثبتت التجارب أنه إذا وضع جرس داخل ناقوس زجاجي مملوء بالهواء فإن صوت الجرس يسمع بوضوح ولكن إذا فرغ الناقوس من الهواء فإن الصوت ينخفض تدريجياً أثناء تفريغ الهواء. ما تفسيرك لذلك؟ وما علاقة ذلك بكثافة الهواء؟

ولتوضيح العلاقة بين شدة الصوت وكثافة الوسط الناقل نفذ النشاط التالي :

النشاط (٣)

١- ضع جرساً كهربائياً داخل ناقوس زجاجي مملوء بالهواء، واستمع إلى الصوت الصادر عنه.

٣- املأ الناقوس بغاز أكبر كثافة من الهواء مثل غاز ثاني أكسيد الكربون (تحت نفس الضغط) واستمع إلى صوت الجرس.

٤- استبدل غاز ثاني أكسيد الكربون بغاز أقل كثافة منه ومن الهواء مثل غاز الهيدروجين (تحت نفس الضغط) واستمع إلى صوت الجرس سيكون الصوت أقل وضوحاً (منخفضاً) مما كان عليه عندما كان الوسط الناقل ثاني أكسيد الكربون أو الهواء.

مما سبق تتوصل إلى أن شدة الصوت تزداد بزيادة كثافة الوسط الناقل.

■ لماذا نسمع الصوت بوضوح إذا كان الوسط الناقل صلباً أكثر مما لو كان سائلاً أو غازياً؟

٣- سعة اهتزازة المصدر :

النشاط (٤)

اجذب وتراً مشدوداً من منتصفه ثم اتركه، فسوف يهتز الوتر ويصدر نغمة ذات شدة معينة، كرر جذب الوتر من منتصفه إلى مسافة أكبر من السابق، ماذا تلاحظ؟ وماذا تسمع؟

إذا اهتز الوتر بسعة اهتزازية أكبر فإننا نسمع نغمة صوتية أقوى مما سبق.

ويلاحظ أنه كلما زادت سعة الاهتزازة زادت شدة الصوت.

el-online.net

وتفسير ذلك أنه كلما زادت سعة اهتزازة الجسم المهتز زاد مقدار الشغل أي الطاقة اللازمة لإحداث تلك الاهتزازة، وينتقل جزء من تلك الطاقة إلى الهواء فتتحرك جزيئات الهواء حركة اهتزازية وتزداد طاقة حركته وتزداد سعة اهتزاز جزيئاته، وتزداد شدة الصوت في نقطة معينة من الحيز المحيط بمصدر الصوت. ولقد ثُبت بالتجربة أن شدة الصوت تتناسب طردياً مع مربع سعة الاهتزازة.

٤- مساحة السطح المهتز:

النشاط (٥)

اطرق شوكة رنانة واستمع إلى الصوت الصادر عنها، ثم اطرق الشوكة مرة أخرى وضع قاعدتها على سطح الطاولة واستمع إلى الصوت الصادر.

- ما الفرق بين الصوت المسموع في الحالتين؟
- ما العلاقة بين شدة الصوت المسموع وزيادة مساحة السطح المهتز؟

نستنتج من ذلك أن شدة الصوت تزداد بملامسة مصدر الصوت لجسم آخر أي بزيادة مساحة السطح المهتز وذلك لأنه في الحالة الأولى يؤثر الجسم المهتز (الشوكة) على جزيئات الهواء المجاورة له فقط، بينما عند ملامسة الجسم لسطح الطاولة تنتقل الحركة إلى سطحه الملامس لعدد أكبر من جزيئات الهواء فتزداد عدد الجزيئات المهتزة ويزداد معدل انتشار الطاقة الصوتية وبذلك تزداد شدة الصوت.

قياس شدة الصوت:

تقاس شدة الصوت عند نقطة، بمقدار الطاقة الصوتية التي تمر عمودياً في الثانية الواحدة خلال وحدة المساحات عند تلك النقطة. أي:

$$\text{شدة الصوت} = \frac{\text{الطاقة}}{\text{الزمن} \times \text{المساحة}}$$

$$\because \text{القدرة} = \frac{\text{الطاقة}}{\text{الزمن}}$$

من العلاقة السابقة نجد أن

$$\text{شدة الصوت (ش)} = \frac{\text{القدرة}}{\text{المساحة}} \quad \frac{\text{وات}}{\text{م}^2} \quad \ldots\ldots\ldots (٦)$$

el-online.net

وات / م^{٢} وهي الوحدة العملية لقياس شدة الصوت. وتقاس شدة الأصوات العادية بوحدة أصغر هي الميكروووات لكل متر مربع (وات = ١٠^{٦} ميكروووات)

أما الشدة النسبية للصوت فتقاس بنسبتها إلى قيمة معيارية = ١٠$^{-١٢}$ وات/م^{٢} (وهي أدنى شدة يمكن سماعها) ووحدة قياسها تسمى (الديسيبل) حيث واحد ديسيبل = $\frac{١}{١٠}$ (بل)، وهي وحدة قياس علو الصوت نسبة إلى العالم جراهام بل.

جدول يوضح شدة الصوت ومنسوبة لمصادر مختلفة.

مصدر الصوت	شدة الصوت (وات/م^{٢})	منسوب شدة الصوت ديسيبل
أدنى صوت مسموع	١٠$^{-١٢}$	صفر
حفيف أوراق الشجر	١٠$^{-١١}$	١٠
الهمس	١٠$^{-١٠}$	٢٠
المحادثة العادية	١٠$^{-٦}$	٦٠
الموسيقى الصاخبة	١٠	١١٠
طائرة نفاثة	١٠^{٣}	١٥٠

٣- نوع الصوت : Quality of Sound

إن قدرة الأذن على تمييز نوعية الصوت لنغمة موسيقية ناتجة عن أداة موسيقية معينة يعود إلى حقيقة أن النغمة ليست نغمة واحدة ، بل هي مزيج من نغمات عدة مختلفة في الشدة والدرجة.

فالنغمات الصادرة عن الآلات الموسيقية مثل البيانو، والكمان والجيتار لها صفات مميزة حيث يسبب اهتزاز أوتارها اختلافات في نوعيتها.

وتفسير ذلك أن الآلات الموسيقية لا تعطي النغمة (الأساسية التي ستتعرف عليها لاحقاً) فقط بل تعطي أيضاً عدداً من النغمات التوافقية. وهذه النغمات هي التي تميز بين النغمات الأساسية المتماثلة في الدرجة والشدة. وعلى ذلك فإن نوع الصوت يعتمد على شدة وطبيعة وعدد النغمات التوافقية المصاحبة للنغمة الأساسية.

وتُشبّه نوعية الصوت هنا ببصمات الأصابع إذ جعل الله سبحانه وتعالى لكل شخص بصمة صوت مختلفة عن غيره كاختلاف بصمات أصابعه، فقد زودنا بنغمات توافقية مختلفة بشكل يجعل الأذن تميز صوت شخص ما عن غيره بمجرد سماعه.

el-online.net

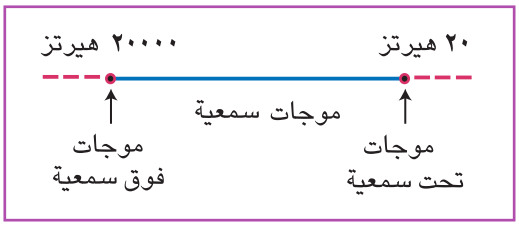
ولولا نوعية الصوت لكانت أصواتنا متشابهة ولما استطعنا التمييز بين شخص وآخر.

استجابة الأذن البشرية للصوت :

الأذن هي جهاز السمع الدقيق الذي أنعم به الله تعالى علينا، وقد دلت التجارب أن حاسة السمع من أولى الحواس التي يبدأ بها المولود الاتصال بالعالم الجديد من حوله.

ويختلف الناس في قدرتهم على سماع الأصوات، فإذا ضعف السمع لدى بعض الناس لأي سبب من الأسباب قلت حساسية آذانهم لسماع الأصوات بدرجة أقل من الشخص العادي، ولكن معظم الناس يتساوون تقريباً في شدة الصوت الذي يمكن أن يُسمع بالكاد، وكذلك في شدة الصوت الذي يسبب الألم للأذن. إذاً توجد حدود متوسطة لقدرة الأذن البشرية العادية على سماع الأصوات ، ويكون الحد الأدنى هو شدة الصوت الذي يسمع بالكاد، والحد الأقصى هو شدة الصوت الذي يسبب الألم للأذن.

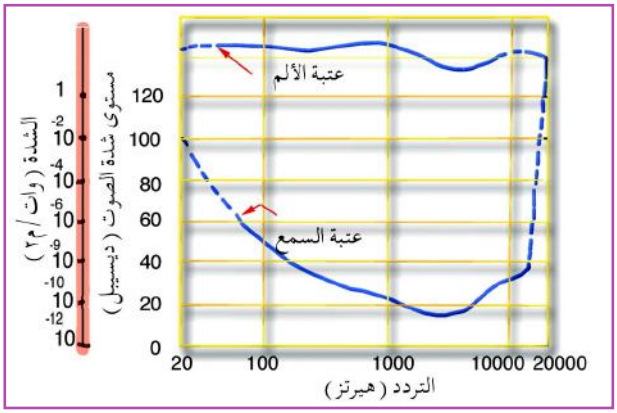
ومعظم الناس لا يستطيعون سماع الموجات الصوتية في الهواء التي يزيد ترددها عن حوالي (٢٠٠٠٠) هيرتز وتسمى الموجات التي يزيد ترددها عن هذه القيمة بالموجات فوق السمعية، ويتم توليدها بطرق معينة.



شكل (٥) مدى الموجات المسموعة للأذن البشرية

وبالمثل لا تستطيع الأذن سماع الأصوات التي يقل ترددها عن (٢٠) هيرتز وتسمى بالموجات تحت السمعية وهي التي تنشأ عن الهزات الأرضية والأعاصير شكل (٥).

ونلاحظ من الشكل (٦) أن الأذن العادية غير حساسة إلى حد بعيد للترددات التي تزيد عن حوالي (١٥,٠٠٠) هيرتز أو التي تقل عن حوالي (٣٠) هيرتز ، أما الأصوات التي يقع



شكل (٦) تغير حساسية السمع مع شدة الصوت

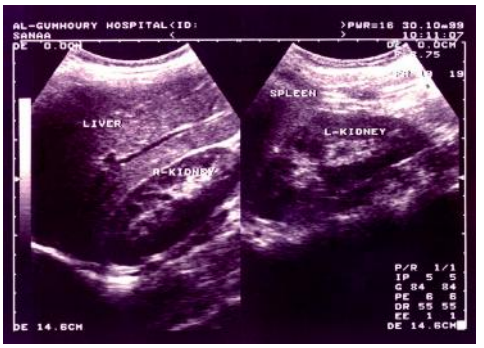
el-online.net

ترددها خارج هذا المدى فيمكن أن تسمع فقط إذا كانت شدة الصوت عالية جداً.
كذلك يلاحظ أن شدة الصوت التي تسبب الألم لا تتغير كثيراً مع التردد.
كما تلاحظ أن الحد الأدنى لشدة الصوت المسموع في حدود ($١٠^{-١٢}$) وات/م٢ وهو أضعف الأصوات التي تحس بها الأذن البشرية.
وتكون حساسية الأذن للأصوات أكبر ما يمكن عندما تقع الترددات في المدى المحصور بين (٧٠٠–٦٠٠٠) هيرتز.

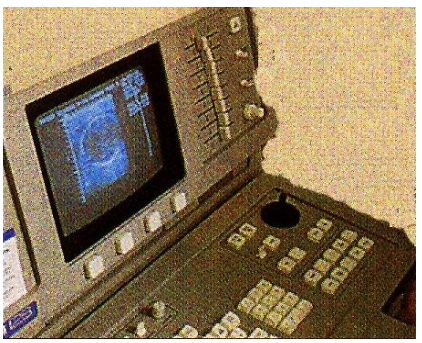
أهم خصائص الموجات فوق السمعية

إن من أهم خصائص الموجات فوق السمعية قصر طولها الموجي فهي تسير في خطوط محددة بحيث تجعل الإنسان قادراً على توجيهها في اتجاهات معينة، كما أن طاقة هذه الموجات تتركز في حزم ضيقة فتكون شدتها عالية. وترددها العالي يزيد من شدة الموجة حيث تعتمد الشدة على كل من السعة والتردد.

بعض التطبيقات للموجات فوق السمعية في الحياة العملية:



شكل(٧)صورة كلى أخذت بجهاز الموجات فوق الصوتية


شكل (٨) جهاز الموجات فوق الصوتية

١– في مجال الطب تستخدم في تحديد أماكن الأورام الخبيثة في جسم الإنسان، وفي عمليات فحص القلب والرحم والأجنة أثناء الحمل، وفي تفتيت الحصى في المرارة والكلى.
٢– معالجة الماء وذلك بقتل الكائنات الدقيقة التي فيه وتنقيته.
٣– قياس سرعة الموجات الصوتية في السوائل والغازات.
٤– دراسة التركيب الكيميائي للمواد وكذا بعض خواصها، وفحص لحام المعادن والسبائك.

el-online.net

٥- الكشف عن الشقوق في المعادن.

٦- تنظيف الملابس الحريرية، وصناعة الأفلام المستخدمة في التصوير، وإزالة الضباب في المطارات، وطرد الماء من الورق أثناء التصنيع.

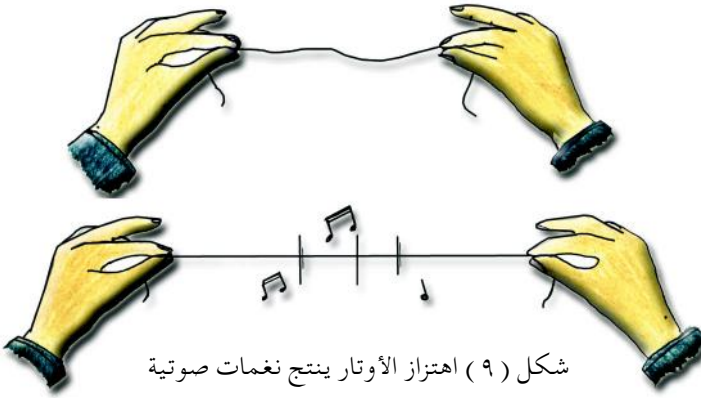
الضـــربـات: Beats

نسمع أحياناً أصواتاً تقوى ثم تضعف بصورة دورية كما يحدث لنغمات الأصوات الصادرة عن الراديو وجهاز التسجيل فما سبب ذلك؟

عندما تصدر نغمتان صوتيتان متقاربتان في التردد في لحظة واحدة تتداخل النغمتان ويحدث نتيجة لذلك أن نسمع صوتاً يقوى ويضعف بصورة دورية وتسمى هذه الظاهرة «بالضربات» وبذلك تعرف الضربات **بأنها ظاهرة التقوية والضعف الحادثين في شدة الصوت بصفة دورية، عندما تتداخل نغمتان مختلفتان في التردد اختلافاً صغيراً.**

اهتزاز الأوتار : Vibration of Strings

علمت مما سبق أن الصوت ينشأ عن الأجسام المهتزة، كالأوتار عندما تشدها ثم تجذبها فتهتز وتسمع نغمات صوتية معينة ومتنوعة. لذلك تستخدم الأوتار في صنع الآلات الموسيقية التي تعطي نغمات موسيقية متنوعة مثل البيانو، والقانون، والعود، والكمان.



شكل (٩) اهتزاز الأوتار ينتج نغمات صوتية

- ما هو الوتر؟

تطلق كلمة الوتر على أي خيط مرن مشدود بين نقطتين، وتصنع بعض الأوتار من مواد معدنية كالحديد، والنحاس، وبعضها يصنع من الحرير، أو أمعاء الحيوانات مثل القطط.

الموجات الموقوفة أو الساكنة: Standing or Stationary Waves

لتوضيح معنى الموجات الموقوفة نفذ النشاط التالي:

el-online.net

النشاط (٦)

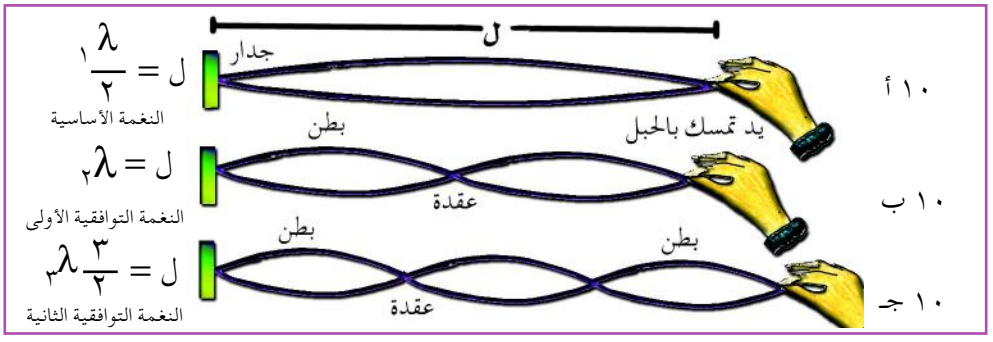
– احضر حبلاً طويلاً (حوالي ٤ متر) وثبت أحد طرفيه في جدار، ثم شده من الطرف الآخر أفقياً.

– ابدأ بتحريك الحبل من الطرف الذي تمسكه حركة منتظمة باستمرار حتى تتولد سلسلة متتالية من النبضات التي تندفع نحو الطرف المثبت ثم تنعكس مقلوبة نحو يدك، انظر الشكل (١٠ أ).

– غير سرعة حركة يدك ولاحظ شكل الحبل ثم قارنه بالشكل (١٠ب ثم ١٠جـ).

– تلاحظ أن الحبل ينقسم إلى مجموعة من البطون يفصل بينها نقاط ثابتة تسمى عقد.

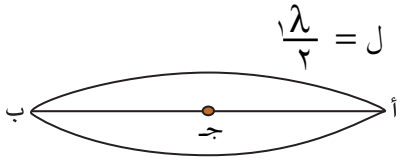
ويمكن الحصول على نفس النمط من الموجات في زنبرك مشدود أو وتر مهتز.



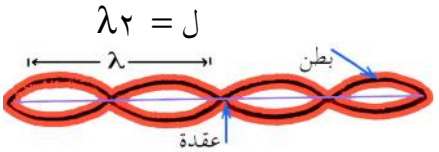
شكل (١٠) الموجات الموقوفة

أنواع الموجات الصادرة عن اهتزاز الوتر:

عند ضرب الوتر من منتصفه (جـ) كما في الشكل (١١) فإن الاهتزاز ينتشر في أجزاء الوتر حتى يصل إلى النهايتين المثبتتين (أ،ب) فينعكس عندهما ويحدث تداخل للموجات المنعكسة من النهاية (أ) مع الموجات المنعكسة من النهاية (ب) للوتر، وحيث إن الموجتين



شكل (١١) النغمة الأساسية



شكل (١٢) النغمة التوافقية الثالثة

el-online.net

متساويتان في التردد ومتعاكستان في الاتجاه فينتج عن تداخلهما موجات ساكنة (أو موقوفة) شكل (١٢) وتتكون البطون (Antinodes) نتيجة التداخل البنّاء في حين تتكون العقد (Nodes) نتيجة التداخل الهدام وعندما يكون طول الوتر (ل) مساوياً لنصف طول الموجه(λ) تكون النغمة الصادرة هي النغمة الأساسية للوتر. وبضرب الوتر في أماكن مختلفة، تنتج نغمات ثانوية مختلفة.

وتعتمد سرعة انتشار الموجات الصوتية في الوتر على خصائص مادة الوسط الذي تنتشر فيه ولدراسة تلك العوامل يستخدم جهاز (الصونومتر Sonometer) .

تركيب الصونومتر :

شكل (١٣) المصوات (الصونومتر)

يتركب الصونومتر من صندوق خشبي به عدة فتحات جانبية ومثبت عليه عدد من الأوتار التي تمر فوق قنطرتين خشبيتين مثبتتين عند نهايتي الصندوق إحداهما متحركة يمكن بواسطتها تغيير طول الوتر المهتز بين القنطرتين .

وتثبت أوتار من أحد الأطراف بمسمار على الصندوق الخشبي بينما يمر الطرف الآخر للوتر المهتز على بكرة ملساء وينتهي الطرف بحامل أو كفة لوضع أثقال تزيد أو تنقص حسب قوة الشد المطلوبة، وفي بعض الأجهزة ينتهي الطرف بميزان زنبركي ومفتاح لتغيير قوة الشد في الوتر ويدرج السطح العلوي أو الجانبي للصونومتر بالسنتيمترات أو البوصات لقياس طول الوتر المهتز.

العوامل التي يعتمد عليها تردد الوتر المهتز :

١- طول الوتر المهتز (ل) .

٢- قوة شد الوتر (س) .

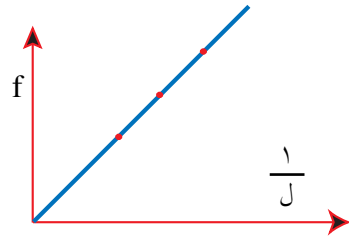
٣- كتلة وحدة الأطوال من الوتر (ك) .

el-online.net

تجربة (١) : العلاقة بين تردد الوتر وطوله :

(قم بإجراء هذه التجربة في كراس الأنشطة والتجارب العملية) .

من نتائج التجربة تجد أن : تردد الوتر يتناسب تناسباً عكسياً مع طوله، كما يوضحها الشكل (١٤) وذلك عند ثبوت قوة الشد وكتلة وحدة الأطوال منه .



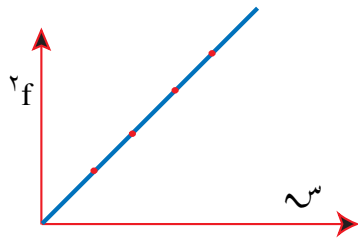
شكل (١٤)

أي أن : $f \propto \frac{١}{ل}$

$\therefore f \times ل =$ مقدار ثابت أو $\frac{f_١}{f_٢} = \frac{ل_٢}{ل_١}$

$$\therefore f_١ \times ل_١ = f_٢ \times ل_٢ \quad \ldots\ldots (٧)$$

تجربة (٢) العلاقة بين تردد الوتر المهتز وقوة الشد :



شكل (١٥)

(قم بإجراء التجربة في كتاب الأنشطة العملية) .

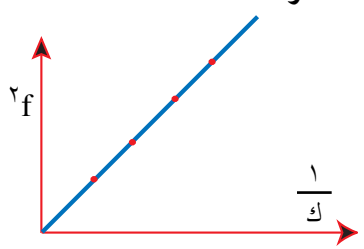
تدل التجربة على أن العلاقة البيانية بين قوة الشد (س) ومربع تردد الوتر ($f^٢$) هي علاقة خطية طردية كما يوضحها الشكل (١٥)

أي أن : $f^٢ \propto س$ ومنه $f \propto \sqrt{س}$

وتدل على أن تردد الوتر المهتز يتناسب تناسباً طردياً مع الجذر التربيعي لقوة الشد عند ثبوت طول الوتر وكتلة وحدة الأطوال منه .

$$\therefore \sqrt{\frac{س_١}{س_٢}} = \frac{f_١}{f_٢} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٨)$$

تجربة (٣) العلاقة بين تردد الوتر المهتز وكتلة وحدة الأطوال منه :



شكل (١٦)

(قم بإجراء التجربة في كراس الأنشطة والتجارب العملية) .

فقد وجد أن العلاقة البيانية بين ($f^٢$) و $\frac{١}{ك}$ هي علاقة خطية (طردية) كما يوضحها الشكل (١٦) .

el-online.net

أي أن : $f^{2} \propto \frac{1}{ك}$ أو $f \times \sqrt{ك}$ = مقدار ثابت .

أي أن تردد الوتر يتناسب تناسباً عكسياً مع الجذر التربيعي لكتلة وحدة الأطوال منه عند ثبوت طول الوتر وقوة الشد .

$$\therefore \frac{f_{1}}{f_{2}} = \sqrt{\frac{ك_{2}}{ك_{1}}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٩)$$

القانون العام لاهتزاز الأوتار :

بما أن $f \propto \frac{1}{ل}$ عند ثبوت س ، ك . و $f \propto \sqrt{س}$ عند ثبوت ل ، ك

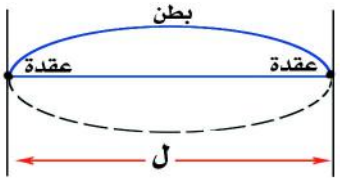
وكذلك $f \propto \sqrt{\frac{1}{ك}}$ عند ثبوت ل ، س

$$\therefore f \propto \frac{1}{ل} \sqrt{\frac{س}{ك}} \quad \text{أي أن : } f = \text{مقدار ثابت} \times \frac{1}{ل} \sqrt{\frac{س}{ك}}$$

ولقد وجد أن هذا المقدار الثابت = $\frac{1}{2}$ وذلك عندما يصدر الوتر نغمته الأساسية والتي تتكون من بطن (واحد) عند منتصفه وعقدتين عند نهايتيه، والبعد بين العقدتين يساوي نصف طول موجه . أي أن :

$$f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{س}{ك}}$$

(حيث $\lambda = 2ل$ (انظر الشكل ١٧)



شكل (١٧) $ل = \frac{\lambda}{2}$

وبشكل عام $f_{ن} = \frac{ن}{\lambda} \sqrt{\frac{س}{ك}}$ .....(١٠)

حيث أن (ن) رتبة أو رقم النغمة

أمثلة محلولة

مثال(١) : وتر طوله ٥٠ سم يصدر نغمة ترددها ٥٠٠ هيرتز. احسب تردده عندما يصبح طوله ١٠٠سم .

el-online.net

الحل :

$\because \quad f_1 \times ل_1 = f_2 \times ل_2$

$\therefore \quad ٥٠٠ \times ٥٠ = f_2 \times ١٠٠$

$\therefore f_2 = \frac{٥٠٠ \times ٥٠}{١٠٠} = ٢٥٠$ هيرتز .

مثال (٢) : وتر مشدود بقوة مقدارها ٢٠ نيوتن، يصدر نغمة ترددها ٢٥٦ هيرتز فإذا حدثت زيادة في قوة الشد بحيث أصبح تردد الوتر ٧٦٨ هيرتز. احسب مقدار قوة الشد هذه؟

الحل :

$\because \quad \frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{س_1}{س_2}}$ $\qquad$ $\therefore \quad \frac{٢٥٦}{٧٦٨} = \sqrt{\frac{٢٠}{س_2}}$

باستخدام الآلة الحاسبة

$٢٥٦ \times \sqrt{س_2} = ٧٦٨ \times \sqrt{٢٠}$ $\qquad$ $\therefore \quad س_2 = ١٨٠$ نيوتن

مثال(٣) : وتران مشدودان متساويان في الطول وقوة الشد، إذا كان تردد الوتر الأول ٢٠٠ ذ/ث، وكتلة وحدة طوله ٠,٠٢ كجم/متر، احسب تردد الوتر الثاني إذا كانت كتلة وحدة طوله ٠,٠٨ كجم/م.

الحل :

$f_1 \sqrt{ك_1} = f_2 \sqrt{ك_2}$

$\therefore \quad f_2 = f_1 \sqrt{\frac{ك_1}{ك_2}} \times ٢٠٠ = \sqrt{\frac{٠,٠٢}{٠,٠٨}} = ١٠٠$ ذ/ث .

مثال (٤) : وتر طوله ٠,٨ متر وكتلته ٠,٠٠٠٥ كجم شد بتعليق كتلة في أحد طرفيه مقدارها ٥ كجم.

احسب تردد النغمة الأساسية التي يصدرها الوتر.

الحل : ل = ٠,٨ م ، ك = ٥ كجم

كتلة الوتر = ٥×١٠^{-٤} كجم

كتلة وحدة الأطوال منه (ك) = $\frac{٥ \times ١٠^{-٤}}{٠,٨} = \frac{٥}{٨} \times ١٠^{-٣}$ كجم/م

el-online.net

قوة الشد (س) = ٥ × ٩٫٨ = ٤٩٫٠ نيوتن

(حيث ٩٫٨ = عجلة السقوط الحر) وقوة الشد (س) = ك × ء

من القانون العام لاهتزاز الأوتار :

$$f = \frac{1}{2ل}\sqrt{\frac{س}{ك}} = \frac{1}{2\times0٫٨}\sqrt{\frac{٤٩}{١٠\times\frac{٥}{٨}^{-٣}}} = \frac{1}{1٫٦}\sqrt{\frac{٤٩\times٨\times١٠^{٤}}{٥٠}}$$

= ١٧٥ هيرتز

الرنين في الأعمدة الهوائية Resonance in Air Columns

الرنين:

– ما المقصود بالرنين؟

لقد عرفت أن الصوت يحدث نتيجة اهتزاز الأجسام، وكل جسم عندما يهتز يحدث صوتاً يختلف عن أصوات الأجسام الأخرى. وهذا الاختلاف يعود إلى تردد الجسم المهتز. والرنين يحدث عندما يهتز جسم متأثراً باهتزاز جسم آخر مما يؤدي إلى تقوية الصوت الناتج. **أي أن الرنين هو عبارة عن تقوية الصوت الناتج عن اهتزاز جسم بتأثير جسم آخر مهتز عندما يتساوى تردد الجسمين.** ويتم ذلك عندما يتفق تردد القوة المسببة للاهتزاز مع تردد الجسم المهتز مما يسبب زيادة سعة الذبذبة وبالتالي زيادة الاهتزازة.

ويهتز الجسم اهتزاز رنينياً عندما يتأثر بجسم آخر مهتز، ويكون للجسمين نفس التردد. والرنين أيضاً يعني زيادة الصوت أو تقويته ويحدث ذلك عندما يتساوى تردد جسم مع تردد القوة المسببة له.

وكمثال لحدوث الرنين هو الأرجوحة فإذا أردنا أن ندفع طفلاً في أرجوحة فإننا لا نحتاج إلى قوة كبيرة لدفع الأرجوحة بل في الإمكان استخدام قوة صغيرة تؤدي إلى زيادة سعة الاهتزازة، ولكن بشرط أن تستخدم القوة في اللحظة المناسبة وذلك أن يتفق تردد القوة مع تردد اهتزاز الأرجوحة أي تساوي تردد القوة مع تردد حركة الأرجوحة فعندئذ نقول أن الأرجوحة في حالة رنين مع القوة.

والاهتزاز الرنيني نوعان :

el-online.net

١- الاهتزاز القسري :

النشاط (٧)

الأدوات : شوكة رنانة، منضدة، مطرقة خاصة بطرق الشوكة الرنانة .

١- اطرق الشوكة الرنانة أولاً واستمع لصوتها .

٢- اطرق الشوكة مرة أخرى واجعل مقبضها يلامس المنضدة .

- ماذا تلاحظ؟

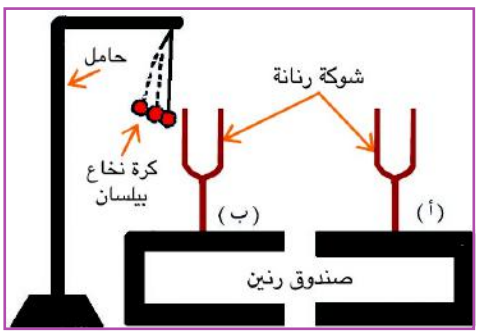
إنك تسمع في الحالة الثانية صوتاً أكبر من صوت الشوكة لوحدها، وسبب ذلك يعود إلا أن جزيئات المنضدة اهتزت بسبب انتقال الاهتزاز من الشوكة الرنانة إلى المنضدة، وأن المنضدة تلقائياً اهتزت بتردد يساوي تردد الشوكة الرنانة وليس بالتردد الخاص بها ويسمى هذا الاهتزاز بالاهتزاز القسري

أي أن الاهتزاز القسري هو اهتزاز جسم بتأثير جسم آخر مهتز، وبتردد يساوي تردد الجسم المؤثر.

٢- الاهتزاز الرنيني :

النشاط (٨)

الأدوات : شوكتان رنانتان متساويتان في التردد، صندوق رنين، كرة نخاع بيلسان معلقة على حامل .



شكل (١٩)

١ – ضع الشوكتين الرنانتين على صندوقي الرنين وقربهما من بعضهما دون أن يتلامسا كما في الشكل (١٩) .

٢- قرب كرة نخاع البيلسان من أحد الصندوقين وليكن (ب) بحيث تلامس فرع الشوكة الرنانة

٣- اطرق الشوكة الرنانة (أ) ماذا تلاحظ؟

٤- أمسك فرعي الشوكة الرنانة (أ) لتوقفها من الاهتزاز .

ماذا حدث للشوكة الثانية (ب)؟

تلاحظ أن الشوكة الثانية (ب)

el-online.net

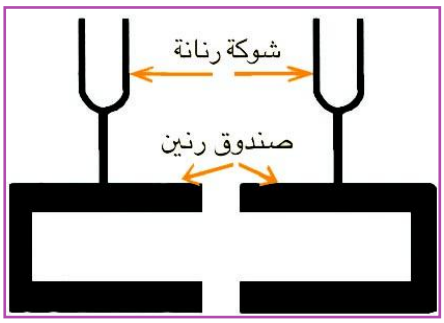
اهتزت متأثرة باهتزاز الشوكة (أ) بدليل اهتزاز كرة البيلسان .

إن هذا الاهتزاز الذي حصل للشوكة (ب) دون ملامستها للشوكة (أ) يعرف بالاهتزاز الرنيني .

– استخرج تعريفاً للاهتزاز الرنيني .

الصناديق الرنانة : Resonant Boxes

يوجد في المعامل المدرسية عدة صناديق خشبية مجوفة وكل صندوق منها له أبعاد خاصة به وله تردد خاص به يتعلق بكتلة الجسم ومرونته في الوسط . وتستخدم هذه الصناديق لإحداث رنين مع الشوكات الرنانة شكل (٢٠) حيث يوجد صندوق خاص لكل شوكة رنانة .



شكل (٢٠)

فإذا وضعت شوكة رنانة متذبذبة وكان ترددها مساوياً لتردد الصندوق يحدث تقوية للصوت أو رنيناً وهذا النوع من الاهتزازات تعرف بالاهتزازات الرنينية .

الأعمدة الهوائية : Air Columns

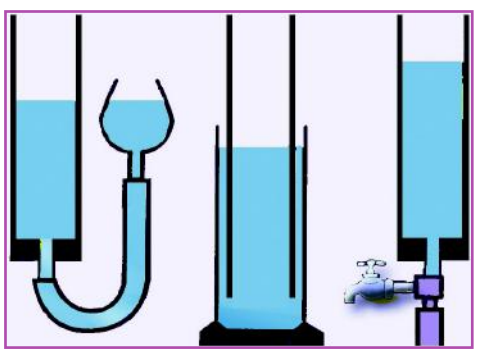
يوجد نوعان من الأعمدة الهوائية هما :

١– الأعمدة الهوائية المغلقة . ٢– الأعمدة الهوائية المفتوحة .

وسنبدأ أولاً بدراسة الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة .

١- الأعمدة الهوائية المغلقة: Closed Air Columns

الأعمدة المغلقة هي أعمدة هوائية تكون مغلقة من أحد الطرفين ومفتوحة من الطرف الآخر وتُصمم بتصاميم مختلفة لدراسة الرنين . حيث يمكن التحكم في طول العمود الهوائي وذلك عن طريق التحكم في مستوى سطح الماء أو أي سائل آخر داخل الأنبوب المستخدم كما في شكل (٢١) .


شكل (٢١) أنابيب هوائية مغلقة من أحد الطرفين

el-online.net

العلاقة بين تردد العمود المهتز وطوله :

لإيجاد العلاقة بين تردد العمود المهتز وطوله في العمود الهوائي المغلق دعنا نصف كيفية حدوث الرنين فيها من خلال النشاط الآتي :

النشاط (٩)

تحتاج لتنفيذ هذا النشاط الأدوات الآتية :

شوكة رنانة، مطرقة خاصة بطرق الشوكات الرنانة، عمود هوائي مغلق به ماء .

١- اطرق الشوكة الرنانة وقربها من فوهة العمود الهوائي المغلق كما في الشكل (٢٢) .

- ماذا تلاحظ ؟

٢- غير طول العمود الهوائي عن طريق الانقاص من الماء ثم كرر الخطوة (١)

- ماذا تلاحظ ؟

٣- كرر الخطوات السابقة بزيادة طول العمود وطرق الشوكة وقربها من فوهة الأنبوبة .

- ماذا تلاحظ ؟

إنك تلاحظ تقوية لصوت اهتزاز الشوكة الرنانة عدة مرات .

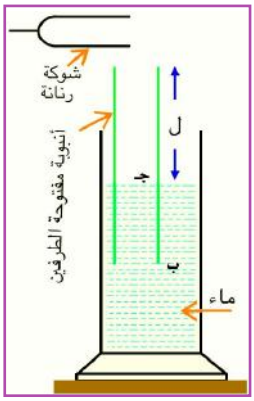
- ماذا تسمى مثل هذه التقوية ؟

- متى يحدث زيادة التقوية في الصوت ؟

تحدث التقوية عندما يتساوى تردد العمود الهوائي مع تردد الشوكة .

- ماذا تسمى هذا النوع من الاهتزاز ؟

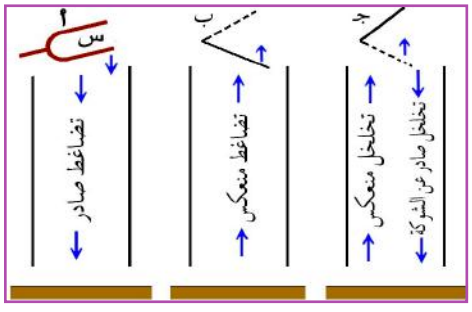
حاول الآن العودة إلى كراس التجارب العملية وحدد العلاقة بين تردد العمود المهتز وطوله عملياً .



شكل (٢٢)

-تفسير حدوث الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة .

لتفسير حدوث الرنين انظر إلى الشكل(٢٣ /أ) فعند تقريب فرع الشوكة إلى الفوهة فإن فرعها (س) يضغط على الهواء بالقرب من الفوهة فيولد نبضة تضاغط تسري خلال الأنبوبة إلى قعرها



شكل (٢٣) .

el-online.net

فتنعكس هذه النبضة إلى أعلى حتى تصل إلى الفوهة فتندفع جزيئات الهواء إلى الخارج ويحدث تخلخل في طبقات الهواء عندالفوهة شكل (٢٣ب)، فيسري التخلخل في طبقات الهواء في الأنبوب. فإذا صادف وأن التقى هذا التخلخل مع التخلخل الذي يصدره فرع الشوكة بسبب تحركه إلى أعلى يحدث التقوية في الصوت شكل (٢٣جـ).

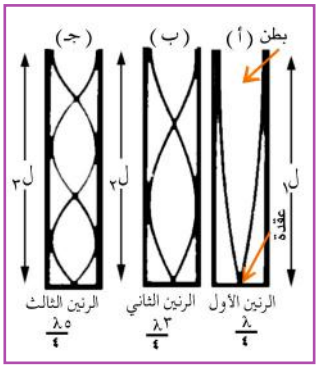
النغمات الأساسية والنغمات التوافقية في الأعمدة الهوائية المغلقة :

تحدث النغمة الأساسية (الرنين الأول) في الأعمدة الهوائية المغلقة عندما يتكون داخل العمود الهوائي عقدة واحدة وبطن واحد فبالعودة إلى الشكل (٢٣) نجد أن الرنين حدث عندما سرت نبضة التضاغط في الأنبوب ذهاباً وإياباً كما في الموجات الموقوفة. فإذا كان طول العمود الهوائي الذي أحدث الرنين = (ل)، وطول الموجة الصادرة عن الشوكة الرنانة هي (λ) فإن :

$$\lambda = ٤ \, ل_{١}$$

$$ل_{١} = \frac{\lambda}{٤} \quad .....(١١)$$

ومعنى هذا أن الرنين يحدث عندما يكون طول العمود الهوائي المغلق مساوياً $\frac{١}{٤}$ طول الموجة شكل (٢٤–أ).



شكل (٢٤) .

وأما النغمة التوافقية الأولى (الرنين الثاني) فإنه يحدث عندما يتكون داخل العمود الهوائي المغلق عقدتان وبطنان شكل (٢٤–ب) وفي هذه الحالة فإن :

$$ل_{٢} = \frac{٣\lambda}{٤} \quad .....(١٢) .$$

ويحدث الرنين الثالث (النغمة التوافقية الثانية) عندما يتكون داخل العمود الهوائي ثلاث عقد وثلاث بطون كما في الشكل (٢٤–جـ) وفي هذه الحالة فإن :

$$ل_{٣} = \frac{٥\lambda}{٤} \quad .....(١٣) .$$

el-online.net

وهكذا فبشكل عام يحسب طول العمود الهوائي (ل$_{ن}$) داخل الأنابيب المغلقة في حالة الرنين من العلاقة :

$$ل_{ن} = (٢ن - ١) \frac{\lambda}{٤} \quad .....(١٤) .$$

(حيث ن عدد صحيح موجب = ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ...)

عندما : ن = ١ نحصل على المعادلة (١١)

وعندما : ن = ٢ نحصل على المعادلة (١٢)

وبإعطاء (ن) جميع القيم الصحيحة الموجبة نحصل على جميع النغمات التوافقية المناظرة للعمود الهوائي (ل) .

مثال (٥) : إذا كان طول العمود الهوائي الذي يحدث رنيناً أولاً هو ١٥ سم.

فما طول الموجه ؟

الحل : $ل_{١} = ١٥$سم ، λ = ؟

عند الرنين الأول يكون ن = ١ وبالتعويض في العلاقة (١٤) نجد أن :

$ل_{١} = \frac{\lambda}{٤}$ ومنه

$\lambda = ٤ ل_{١}$ لأن العمود مغلق.

$\therefore \lambda = ٤ \times ١٥$ سم

= ٦٠ سم .

تصحيح النهاية في قياس الأعمدة الهوائية المغلقة :

لقد أوجدنا العلاقة بين طول العمود الهوائي المغلق الذي يحدث عنده الصوت والطول الموجي، وتردد النغمة الأساسية إلا أن هذا الحساب ليس دقيقاً إذ أنه عند الطرف المفتوح للأنبوبة تندفع جزئيات الهواء نحو الخارج قليلاً أي أن البطن تتكون خارج الطرف لمسافة صغيرة (هـ) شكل (٢٥) وقد وجد عملياً أن مقدار الخطأ هذا يتناسب طردياً مع قطر العمود المستخدم في التجربة وقد وجد أنه يساوي ٠,٦ من نصف قطر العمود . وكلما صغر نصف قطر الأنبوبة كلما قل مقدار تصحيح النهاية

el-online.net

وعلى ذلك يكون :

الطول الصحيح للعمود الهوائي المغلق = (ل + ٠,٦ نـ٥) = $\frac{\lambda}{٤}$

∵ λ = ٤ × الطول الصحيح للعمود الهوائي المغلق

∴ $\boxed{\lambda = ٤ (ل_{١} + ٠,٦ نـ٥)}$ ..... (١٥)

ويمكن التخلص من الخطأ بإيجاد الفرق بين طولي عمود الهواء في رنينين متتاليين كالآتي :

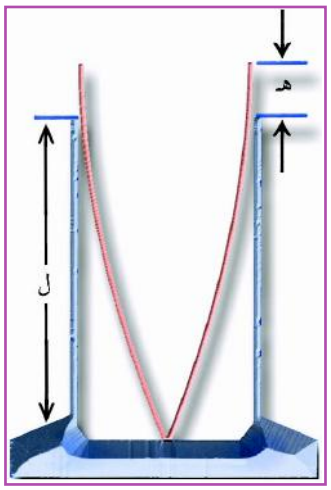
∵ طول العمود الهوائي المغلق للرنين الأول بعد التصحيح يساوي :

$\boxed{ل_{١} + هـ = \frac{\lambda}{٤}}$ ..... (١٦)

حيث هـ = ٠,٦ نـ٥ ،

وطول العمود الهوائي المغلق للرنين الثاني بعد التصحيح يساوي :

$\boxed{ل_{٢} + هـ = \frac{\lambda ٣}{٤}}$ .....(١٧)



شكل (٢٥) عمود هوائي مغلق.

وبطرح المعادلة (١٦) من المعادلة (١٧)

∴ ($ل_{٢}$ + هـ) – $ل_{١}$ – هـ = $\frac{\lambda ٣}{٤} - \frac{\lambda}{٤}$

$ل_{٢} - ل_{١} = \frac{\lambda ٢}{٢ \times ٤}$

∴ $\boxed{\lambda = ٢ (ل_{٢} - ل_{١})}$ .....(١٨)

إيجاد سرعة الصوت في الهواء باستخدام الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة :

لإيجاد سرعة الصوت باستخدام الرنين في الأعمدة الهوائية فإننا نحتاج إلى شوكة رنانة معلومة التردد ومخبار مملوء بالماء ومسطرة، وأنبوبة مفتوحة تنزلق بداخل أنبوبة مغلقة، ولتوضيح الآلية لهذا العمل قم بالنشاط التالي :

el-online.net

النشاط (١٠)

شكل (٢٦)

١- املأ المخبار بالماء حتى حافته .
٢- ضع الأنبوبة المغلقة داخل المخبار .
٣- اغمر الأنبوبة حتى يصبح طرفها (أ) قريباً من سطح الماء في المخبار .
٤- اطرق الشوكة الرنانة وقربها من فوهة الأنبوبة .
٥- ارفع الأنبوبة تدريجياً حتى يحدث أقوى رنين .
٦- قس طول العمود الهوائي وليكن ل١ .
٧- قس قطر الأنبوبة بالمسطرة ومنه عين نصف القطر (نـه)
٨- أوجد الطول الصحيح لأقصر عمود هوائي مغلق من الآتي :

الطول الصحيح لأقصر عمود هوائي= (ل١ + ٠,٦ نـه) .

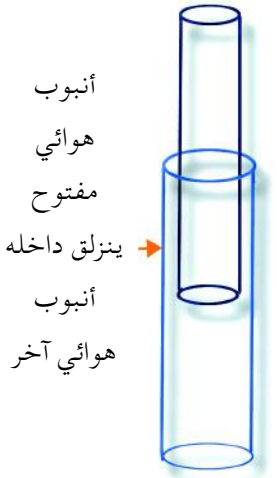
٩- أوجد سرعة الصوت من القانون :

ع= (تردد الشوكة الرنانة) × ٤ (ل١ + ٠,٦ نـه) .

ويمكن حساب سرعة الصوت أو حساب التردد (بإهمال تصحيح النهاية لأنه مقدار صغير) كالآتي :

∵ ع = f × λ ∴ ع = f × ٢ (ل٢ – ل١) ، ∴ ع = f ٢ (ل٢ – ل١) .

٢- الأعمدة الهوائية المفتوحة : Open Air Columns



شكل (٢٧)

عرفت في الدروس السابقة كيف يحدث الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة واستنتجت العلاقة بين تردد العمود المهتز وطوله، وها أنت الآن ستتعرف على حدوث الرنين في الأعمدة الهوائية المفتوحة، والعمود الهوائي المفتوح هو عبارة عن أنبوبة مفتوحة الطرفين على شكل أنبوبين يتحرك أحدهما داخل الآخر للتحكم في طول العمود الهوائي زيادة ونقصاناً شكل (٢٧) .

el-online.net

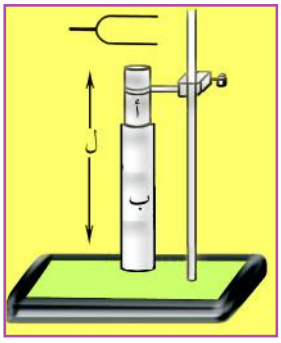
العلاقة بين تردد العمود الهوائي المفتوح وطوله :

النشاط (١١)

لإيجاد العلاقة بين تردد العمود الهوائي المفتوح وطوله فإنك تحتاج الأدوات الآتية : أنبوبتين مفتوحتي الطرفين تنزلق إحداهما داخل الأخرى، ومسطرة، وشوكة رنانة وحامل .

١- ادخل الأنبوبة الصغرى في الأنبوبة الكبرى بحيث يصير العمود الهوائي المفتوح أقصر ما يمكن وثبتهما على حامل كما في الشكل : (٢٨) .

٢- اطرق شوكة رنانة معلومة التردد (f) وقربها من فتحة الأنبوبة ثم اسحب الأنبوبة الصغرى تدريجياً ليزداد طول العمود الهوائي حتى تسمع أقوى صوت، ماذا تسمي هذه الظاهرة؟



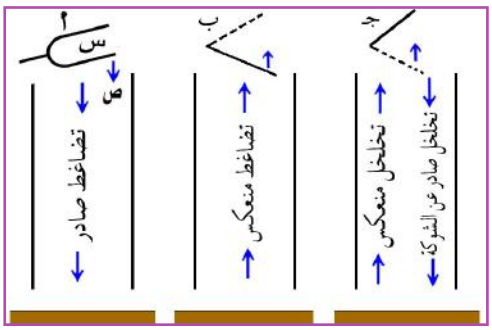
شكل (٢٨)

٣- قس بالمسطرة طول العمود الهوائي (ل) . ويكون تردد العمود الهوائي المفتوح يساوي تردد الشوكة الرنانة .

الآن عد إلى كراس التجارب العملية وجدْ العلاقة بين تردد العمود الهوائي المفتوح وطوله .

■ تفسير حدوث الرنين في الأعمدة الهوائية المفتوحة

في الشكل (٢٩ أ) عندما يتحرك فرع الشوكة الرنانة من الوضع (س) إلى (ص) فإن فرع الشوكة (س) يحدث نبضة من التضاغط تسري خلال الأنبوبة حتى تصل إلى الطرف المفتوح فتنعكس على شكل نبضة من التخلخل (٢٩ب) نحو الفوهة القريبة من فرع الشوكة الرنانة فينعكس على شكل نبضة تضاغط شكل (٢٩جـ)



شكل (٢٩)

فإذا صادف وأن التقى التضاغط مع التضاغط الذي تحدثه الشوكة عندما يتحرك فرع الشوكة من س إلى ص مرة أخرى أي أن التضاغط المنعكس يلتقي مع التضاغط الصادر من فرع الشوكة يحدث الرنين .

el-online.net

النغمات الأساسية والنغمات التوافقية في الأعمدة الهوائية المفتوحة

تحدث النغمة الأساسية (الرنين) في الأعمدة الهوائية المفتوحة عندما يتكون داخل العمود الهوائي عقدة واحدة وبطنان كما في الشكل (٣٠– أ) . حيث أن الرنين يحدث عندما يعمل فرع الشوكة الرنانة ذبذبة كاملة . فإذا كان طول العمود الهوائي الذي أحدث الرنين هو ل$_{١}$ ، فإن المسافة بين بطنين متتاليين تساوي ضعف طول الموجة أي أن :

$$\lambda = ٢ \, ل_{١}$$

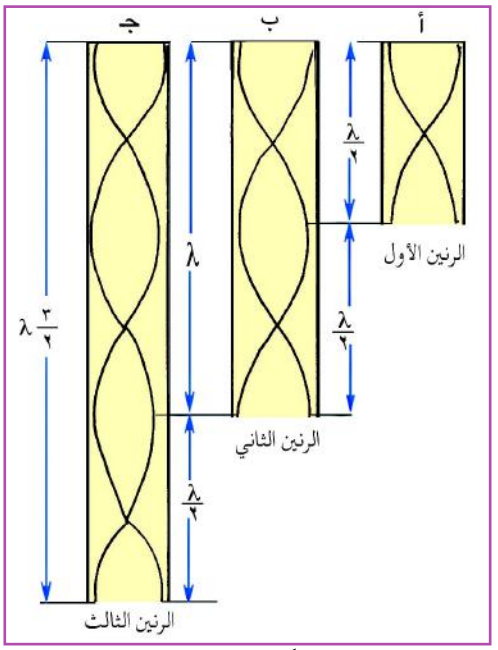
$$\boxed{ل_{١} = \frac{\lambda}{٢}} \quad \ldots\ldots\ldots (١٩)$$

وأما النغمة التوافقية الأولى (الرنين الثاني) فإنه يحدث عندما يتكون داخل العمود الهوائي عقدتان وثلاث بطون شكل (٣٠–ب) أي :

$$ل_{٢} = \frac{\lambda ٢}{٢}$$

$$\boxed{ل_{٢} = \lambda} \quad \ldots\ldots\ldots (٢٠)$$

ويحدث الرنين الثالث (النغمة التوافقية الثانية) عندما يتكون داخل العمود الهوائي ثلاث عقد وأربعة بطون كما في الشكل (٣٠– جـ) وفي هذه الحالة فإن : $\therefore \quad \lambda = \frac{٢}{٣} ل_{٣}$



شكل (٣٠)

$$\boxed{ل_{٣} = \frac{\lambda ٣}{٢}} \quad \ldots\ldots\ldots (٢١)$$

وبشكل عام يحدث الرنين داخل الأعمدة الهوائية المفتوحة عندما يكون طول العمود الهوائي (ل$_{ن}$)

$$\boxed{ل_{ن} = \frac{\lambda}{٢} \, ن} \quad \ldots\ldots\ldots (٢٢)$$

(حيث ن عدد صحيح موجب) .

ويحسب عدد الموجات الواقفة داخل الأنبوب من العلاقة :

$$\boxed{\lambda = \frac{٢ ل_{ن}}{ن}} \quad \ldots\ldots\ldots (٢٣) .$$

el-online.net

تصحيح النهاية في قياس الأعمدة الهوائية المفتوحة

من الشكل (٣٠)، حيث أن العمود الهوائي مفتوح وله بطنان ونظراً لأن البطن تحدث دائماً خارج الطرف المفتوح بمسافة (هـ) وأن هـ = ٠,٦ نـ ؛

وعلى ذلك يكون الطول الصحيح للعمود الهوائي المفتوح للرنين الأول :

$= ل_{١} + هـ_{١} + هـ_{٢}$

$= ل_{١} + ٠,٦ نـ + ٠,٦ نـ$

$= ل_{١} + ١,٢ نـ$

∵ $\lambda = ٢ ل_{١}$ (حيث $ل_{١}$ الطول الصحيح للعمود الهوائي المفتوح للرنين الأول)

∴ $\boxed{\lambda = ٢ (ل_{١} + ١,٢ نـ)}$ .....(٢٤)

حيث (نـ) نصف القطر الداخلي للعمود الهوائي المفتوح .

النشاط (١٢)

حاول أن تتخلص من الخطأ بإيجاد الفرق بين طولي عمود الهواء في رنينين متتاليين .

إيجاد سرعة الصوت في الهواء باستخدام الرنين في الأعمدة الهوائية المفتوحة الطرفين :

∵ $\lambda = ٢ \times$ الطول الصحيح لأقصر عمود هوائي مفتوح

∴ $\lambda = ٢ (ل_{١} + ١,٢ نـ)$

∵ $ع = f \times \lambda$

∴ $\boxed{ع = f \times ٢ (ل_{١} + ١,٢ نـ)}$ .....(٢٤) .

مثال (٦) : حدث الرنين الأول في عمود هوائي مغلق عندما كان طوله ٤٣,٥ سم، وحدث الرنين الثاني عندما أصبح طول العمود الهوائي ٩٦ سم . فإذا كان تردد الشوكة المستخدمة في التجربة في الحالتين ٣٢٠ ذ/ث .

احسب سرعة الصوت في الهواء دون العودة لحساب تصحيح النهاية .

el-online.net

الحل :

ل$_{١}$ = ٤٣٫٥سم ، ل$_{٢}$ = ٩٦سم ، f = ٣٢٠ ذ/ث ، ع = ؟

∵ ع = ٢ f (ل$_{٢}$ – ل$_{١}$)

= ٢ × ٣٢٠ (٩٦ – ٤٣٫٥) = ٢ × ٣٢٠ × ٥٢٫٥ = ٣٣٦٠٠ سم/ث = ٣٣٦ م/ث.

الآلات الموسيقية : Musical Instruments

يوجد أربعة أنواع من الآلات الموسيقية وهي :

الوترية، وآلات النفخ، والقرع، والآلات الإلكترونية وهذه الآلات تنتج اهتزازات بأشكال منتظمة، تحصل الآلات الإلكترونية على طاقتها من الطاقة الكهربائية وأما الأنواع الأخرى للآلات فإن طاقتها تأتي من الناس التي تلعب بها، وكل الآلات الموسيقية تحتوي على مذبذب (Vibrator) يعمل على إنتاج الصوت ويعمل العمود الهوائي على زيادة شدة الصوت وتتضمن الآلات الوترية الكمنجة الكبيرة والكمنجة الصغيرة، والجيتار.

شكل (٣١) صورة للكمنجة الصغيرة والكبيرة والجيتار.

تحدث النغمات الموسيقية عندما تهتز هذه الأوتار فيهتز الهواء داخل الجهاز المحتوي على الأوتار ويحدث الرنين. إن شكل الجهاز أو الآلة الموسيقية هو الذي يعطي العديد من الترددات، لذلك من الممكن إصدار رنين نغمات موسيقية مختلفة.

تعتمد درجة صوت أو تردد الصوت الحادث بواسطة اهتزاز الوتر على طول وسمك الوتر والشد على الوتر. فنجد مثلاً أن الكمنجة أو الجيتار أو الكمنجة الكبيرة شكل (٣١) لها أوتار ذات سمك مختلف فتصدر النغمة المنخفضة من أكبر الأوتار سمكاً والنغمات العالية تصدر بواسطة أدق وتر.

إن شد الوتر بقوة يجعله يصدر أصواتاً مرتفعة التردد، والإرخاء يجعله يصدر أصواتاً منخفضة التردد، ولجعل الجيتار أو أي آلة أخرى موسيقية تصدر نغمة معينة فإن العازف

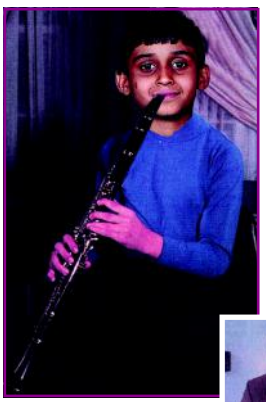
el-online.net

يقوم بضبط قوة الشد على الأوتار حتى تصدر الترددات المطلوبة ولتغيير طول الوتر فإن العازف يقوم بالضغط أسفل الوتر وبالتالي جزء من الوتر فقط هو الذي يهتز وكلما قصر الوتر كلما أصدر صوتاً أعلى، وأغلظ صوت يصدره الوتر يحدث عندما يهتز الوتر بكامله.

آلات النفخ كالشبابة أو المزمار تحدث أصواتاً بواسطة الأعمدة الهوائية فالشبابة لها مزمار لإصدار الاهتزاز وعندما ينفخ العازف يجعل الهواء يهتز، وتعتمد ترددات النغمات الموسيقية على طول العمود الهوائي الذي يصدر الرنين فكلما كان العمود الهوائي طويل كلما كان الصوت منخفضاً، وكلما كان العمود الهوائي قصيراً كلما كان الصوت مرتفعاً. ومفاتيح غلق وفتح الثقوب الموجودة على البوق تساعد العازف على التحكم في طول العمود الهوائي كما في الشكل (٣٢). أما آلات النفخ الأخرى كالبوق مثلاً فإنها تعتمد على ذبذبات شفاه العازف عند البدء في تحريك الهواء داخله.

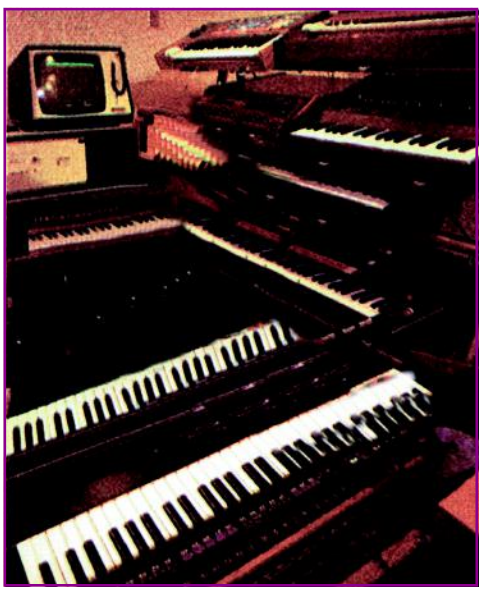
أما الآلات التي تعمل بالنقر أو القرع فتصدر الأصوات على أغشية أو أجراس أو صفائح معدنية أو قضبان مثل الطبلة والأكسيلوفون شكل (٣٣).

أما الآلات الموسيقية الإلكترونية فهي أنواع حديثة من الآلات أخترعت في القرن العشرين وأكثرها شيوعاً لوحة المفاتيح المصنعة شكل (٣٤) هذه الآلة تحول الإشارات الكهربائية إلى أمواج صوتية حيث تستطيع إصدار العديد من النغمات الموسيقية المختلفة.



شكل (٣٢)

شكل (٣٣)



شكل (٣٤)

el-online.net

تقويم الوحدة

س١ : أكمل العبارات التالية :

١- تسمع الأذن البشرية الأصوات التي يقع ترددها بين ..... و ..... .

٢- المسافة بين أي عقدتين متتاليتين تساوي .....

٣- تستطيع الأذن البشرية أن تميز بين نغمتين صوتيتين وذلك من خلال اختلافهما في .....، .....، .....

٤- عندما يحدث تقوية وضعف في شدة الصوت بصفة دورية يسمى ذلك .....

٥- تتكون الموجات الموقوفة نتيجة ..... .

س٢ : أي العبارات التالية صواب وأيها خطأ – حدد ذلك بين القوسين :

١- تهتز جزيئات الوسط الناقل للأمواج الصوتية حركة اهتزازية حول جانبي موضع سكونها فقط ( )

٢- شدة الصوت تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بين المصدر والسامع ( )

٣- تردد صوت الرجل أعلى من تردد صوت الطفل ( )

س٣ : اختر الإجابة الصحيحة بوضع الإشارة (√) أمامها

١- ما تردد وتر طوله متران مع العلم أنه يصدر نغمة ترددها ٢٥٠ هيرتز عندما كان طوله ١٠٠سم :

أ) ٢٥٠ هيرتز. ( ) جـ) ٢٠٠ هيرتز. ( )

ب) ٢٢٥ هيرتز . ( ) د) ١٢٥ هيرتز. ( )

٢- وتر طوله ١٠٠سم وكتلته ٤ جم ، ومشدود بقوة مقدارها ٩ ثقل كيلوجرام. احسب تردد نغمته الأساسية، مع العلم أن عجلة الجاذبية الأرضية =١٠م/ث٢ :

أ) ١٥٠ ذ/ث. ( ) ب) ١٠٠ذ/ث. ( )

جـ) ٧٥ ذ/ث. ( ) د) ٥٠ ذ/ث. ( )

س٤ : ما معنى قولنا أن النسبة بين شدة الصوت للحديث العادي وأدنى حد للصوت المسموع تساوي (٧٠) ديسيبل.

س٥ : ما العوامل التي يعتمد عليها تردد الوتر المهتز مع إثبات ذلك عملياً ورياضياً.

el-online.net

س٦ : وضح معنى الموجات الموقوفة مع الرسم.

س٧ : مما يتركب الصونومتر وفيم يستخدم وضح ذلك عملياً.

س٨ : اختر الإجابة الصحيحة بين الإجابات :

١- اهتزاز الجسم بتردده الطبيعي يعرف بـ:

أ) الاهتزاز الرنيني ( ). ب) الاهتزاز القسري ( ).

جـ) الاهتزاز الحر ( ). د) لا شيء مما سبق ( ).

٢- إذا تكوّن داخل العمود الهوائي المغلق بطنان وعقدتان فإن النغمة تكون :

أ) أساسية ( ). ب) توافقية أولى ( ).

جـ) توافقية ثانية ( ). د) جميع ما ذكر ( ).

٣- إذا كان طول العمود الهوائي المغلق الذي يحدث النغمة التوافقية الثالثة هو ١٥سم فإن طول الموجة تساوي :

أ) ١٢,٥ سم ( ). ب) ١٥ سم ( ).

جـ) ٦٠ سم ( ). د) ٨,٥ سم ( ).

س٩ : أ – احسب طول أقصر عمود هوائي مغلق ثم مفتوح يحدث رنيناً مع شوكة رنانة ترددها ٣٢٠ ذ/ث علماً بأن سرعة الصوت في الهواء ٣٣١ م/ث.

ب – احسب طول العمود في الحالتين عندما يكون نصف قطر الأنبوبة ٥سم.

جـ – احسب الطول المقاس لأقصر عمود هوائي مغلق يحدث رنيناً مع شوكة رنانة ترددها ٥١٢ ذ/ث علماً بأن قطر العمود الهوائي ٥سم وأن سرعة الصوت في الهواء ٣٣١م/ث.

س١٠ : كيف تستخدم ظاهرة الرنين في عمود هوائي مغلق في تعيين سرعة الصوت في المعمل بدقة؟

س١١ : ما العلاقة بين تردد العمود الهوائي المفتوح وطوله؟

س١٢ : ماذا تعرف عن الصندوق الرنان وضح إجابتك بالرسم؟

س١٣ : تحدث عن أنواع الآلات الموسيقية مع ذكر مثال لكل منها.

el-online.net

الوحدة الخامسة

الضوء وأجهزة الإبصار
Light and Optic Sets

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من تعلم هذه الوحدة أن يكون قادراً على أن :

١- يتعرف على طبيعة الضوء، وتكوينه من خلال رأي بعض العلماء، وتقديره لدورهم.

٢- يفسر سبب تكون ظلال للأشياء عند سقوط الضوء عليها بذكر أمثلة من واقع الحياة.

٣- يستنتج قانون انعكاس الضوء عند سقوطه على الأجسام، ويذكر نوعي الانعكاس.

٤- يستنتج القانون العام للمرايا، والعدسات رياضياً، وعملياً ويحل مسائل عليها.

٥- يعرف التكبير في المرايا، والعدسات، ويحل مسائل حسابية، ويطبق قاعدة الإشارات.

٦- يعدد أمثلة من الحياة توضح معنى الانكسار للأشعة الضوئية.

٧- يحل مسائل حسابية على قوانين الانكسار، والانعكاس.

٨- يعرّف كلاً من معامل الانكسار النسبي، والمطلق، ويذكر قانون سنل.

٩- يجري تجربة عملية باستخدام المنشور الزجاجي؛ لتعيين زواياه، وكذلك استخدام متوازي المستطيلات الزجاجي؛ لتعيين معامل الانكسار النسبي.

١٠- يذكر تركيب كلٍ من: الميكروسكوب (المجهر) المركب، والمنظار الفلكي (التلسكوب)، ويحل مسائل حسابية على قوة تكبيرهما.

١١- يجري تجربة عملية؛ لتحليل الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف.

١٢- يفسر ظاهرة رؤية الأشياء من حوله بألوان مختلفة.

el-online.net

الضوء (Light)

– ما المصدر الرئيس للضوء؟

– هل يمكن أن تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية؟ كيف يمكن ذلك؟

– اذكر أهم المصادر الأساسية والثانوية للضوء .

عرفت في دراستك السابقة أن الضوء صورة من صور الطاقة، وأن المصدر الرئيس للضوء هو الشمس، ويمكننا تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية من خلال مرور التيار الكهربائي في سلك المصباح، والذي يرفع درجة حرارته مما يسبب إضاءته، والطاقة الضوئية يستفيد منها الإنسان في حياته، وراحته، وكذلك النبات، والكائنات الحية المختلفة على كوكبنا الأرضي.

– هل يمكنك أن ترى الأشياء من حولك، وأنت في غرفة مظلمة؟ وفي أية حالة يمكنك رؤية الأشياء التي تحيط بك؟

انتشار الضوء Lights Spread :

من خلال دراستك للضوء في المرحلة الأساسية، يمكنك الإجابة عن السؤال التالي :

– كيف ينتشر الضوء؟

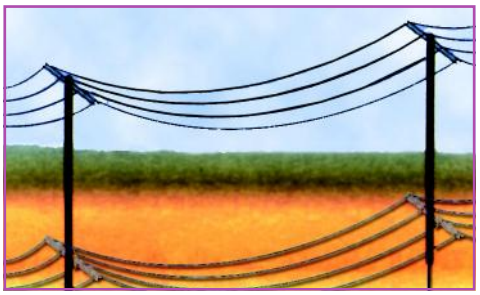
لاحظ الصورتين في الشكلين (١) و (٢)، ما سبب تكون ظل الجسم فيها؟

– إذا أضأت مصباح الجيب في ليلة مظلمة. كيف ترى شكل الأشعة الضوئية الصادرة منه؟

– اذكر بعض المشاهد التي تراها في حياتك؛ أثناء انتشار الضوء سواء أكان ضوء الشمس أم المصابيح الكهربائية.

– ماذا تستنتج من المشاهدات السابقة؟.

شكل (١).



شكل (٢) .

el-online.net

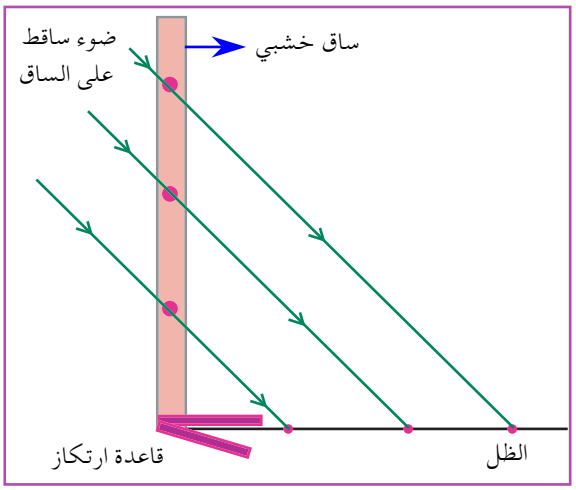
قد علمت من دراستك السابقة في الصف الثامن– أن أشعة الضوء تنتشر في خطوط مستقيمة، وأن تكوُّن الظل للأجسام خلال يوم مشمس خير دليل على ذلك. وللتأكد من هذا أجر النشاط التالي:

النشاط (١)

١- خذ ساقاً خشبياً مستقيماً عليه عدة علامات (مثل مسامير صغيرة) وثبته في وضع رأسي ثم سلط عليه ضوءً شكل (٣).

٢- ثم صل بين العلامات الموجودة على الساق والنقاط المناظرة لها الموجودة في الظل.

٣- النتيجة تحصل على خطوط مستقيمة متوازية (تقريباً).



شكل (٣)

نستنتج من ذلك إن الضوء يسير في خطوط مستقيمة. وقد اثبت العلماء بأن سرعته تصل إلى حوالي (٣×١٠^{٨} متر/ث) وهو صورة من صور الطاقة، وتوصلوا إلى أن له طبيعة مزدوجة، فهو يسلك في مساره سلوك الجسيمات، وسلوكاً موجياً آخراً في الوقت نفسه.

وقد أثار سلوك الضوء دهشة العلماء منذ زمن بعيد، وظهرت العديد من النظريات تفسر طبيعة الضوء، وسلوكه، فعندما يسير في خطوط مستقيمة تكوِّن خطوطه ظلالاً عند سقوطها على بعض الأجسام، وتنعكس أوتنكسر عندما تسقط على أجسام أخرى، وبعض الأجسام تمتصها؛ فترتفع درجة حرارتها بدرجات متفاوتة.

أمّا أشعة الشمس فلها أطياف مختلفة الألوان، وقد أمكن تحليلها.

وإذا سألنا السؤال التالي: مِمَّ يتكون الضوء؟. وما طبيعته؟.

للإجابة عن السؤال السابق؛ فإننا سوف نعرض بعض النظريات التي حاول بها العديد من علماء الفيزياء منذ القرن السابع عشر شرح تصوراتهم لطبيعة الضوء، وسلوكه، ومن هذه النظريات نكتفي بما يلي:

el-online.net

نظرية الجسيمات لنيوتن

أجرى نيوتن العديد من التجارب حول معرفته بسلوك الضوء، وتوصل في اعتقاده إلى أن الضوء يتكون من جسيمات (Particles) تسير في خطوط مستقيمة، وأنها كروية تامة المرونة،وسرعتها منتظمة، وكبيرة جداً، وتختلف من وسط إلى آخر، وتتوقف على كثافة الوسط، وتتحرك هذه الجسيمات في خطوط مستقيمة في الوسط المتجانس.

لقد فسرت هذه النظرية تساوي زاويتي السقوط، والانعكاس للأشعة الضوئية على أساس ارتداد الجسيمات الدقيقة بعد اصطدامها بسطح صلب عاكس نظراً لمرونتها التامة.

نظرية هيجنز

استطاع (كريستيان هيجنز)، وهو أحد معاصري نيوتن أن يفسر الكثير من خواص الضوء باعتباره موجياً في طبيعته، وقد ساد اعتقاده طويلاً، واستمر البحث للتعرف عن سلوك الضوء طوال القرن التاسع عشر وما بعده من قبل العديد من العلماء، مثل: بوهر، وانشتاين، وماكسويل، وتوماس ينج وغيرهم، وما يعنينا هنا هو أن الضوء المسبب للرؤية عبارة عن موجات كهرو مغناطيسية تسمى فوتونات وليس جسيمات لها كتلة مادية .

الطاقة الضوئية المرئية

عرفنا أن الضوء صورة من صور الطاقة. وينقسم إلى نوعين من الطاقة هما: طاقة مرئية (مسببة للرؤية)، وطاقة غير مرئية.

والطاقة المرئية هي الضوء المسبب للرؤية والذي يتكون من ألوان الطيف السبعة التي نراها بحواسنا البصرية عند تحليلها، وتقع هذه الأشعة المرئية ما بين البنفسجي، والأحمر وتمثل جزءاً بسيطاً جداً من الطيف الكلي للشمس .

أما الأشعة الضوئية غير المرئية فتقع فوق الأشعة البنفسجية، وتحت الأشعة الحمراء والجدول(١) التالي، يوضح منطقة الأشعة المرئية، وغير المرئية، وأطوالها الموجية، وترددتها بوحدة النانومتر؛ حيث (واحد نانومتر = $١٠^{-٩}$ متر).

el-online.net

جدول (١) يبين ألوان الطيف المسببة للرؤية، وأطوالها الموجية مقدّرة بوحدة (نانومتر) .

ألوان الطيف المرئي	أطوالها الموجية من	أطوالها الموجية إلى	وحدة القياس
الأشعة البنفسجية	٤٠٠	٤٥٠	نانومتر
الزرقاء، والنيلية	٤٥٠	٥٠٠	نانومتر
الأشعة الخضراء	٥٠٠	٥٥٠	نانومتر
الأشعة الصفراء	٥٥٠	٦٠٠	نانومتر
الأشعة البرتقالية	٦٠٠	٦٥٠	نانومتر
الأشعة الحمراء	٦٥٠	٧٠٠	نانومتر

منطقة الأشعة المرئية

نوع الإشعاع	مدى (التردد Hz)
– أشعة جاما .	10^{20} – 10^{24}
– أشعة إكس X .	10^{17} – 10^{20}
– فوق البنفسجية .	10^{15} – 10^{17}
الطيف المرئي .	$7{,}5 \times 10^{14}$ – $4{,}2 \times 10^{14}$
– الأشعة تحت الحمراء .	10^{13} – 10^{14}
– الموجات المتوسطة .	10^{10} – 10^{13}
– موجات الراديو القصيرة .	$< 3 \times 10^{11}$
– موجات الراديو الطويلة .	$< 3 \times 10^{11}$

ويمكن تحليل الضوء الأبيض أو ضوء الشمس باستخدام المنشور الزجاجي، وسوف نتناول ذلك لاحقاً .

ملاحظة : يمكن أن يكون اللون مكوناً من عدة ألوان مختلفة، ولها أطوال موجية مختلفة؛ إذا وجدت أجهزة تحليل دقيقة، مثل الأسكتروسكوب، وغيره، فقد أمكن تحليل كل لون لألوان متعددة كلٍ على حدة .

أما الضوء وحيد اللون فلا يمكن تحليله .

شدة الإستضاءة ووحدة قياسها

تلاحظ في حياتك اليومية أن بعض المصادر الضوئية الصناعية المنبعث منها الضوء إما أن تكون شدة إضاءتها قوية، أو خافتة . كما تلاحظ أن الشمس يكون ضوؤها شديداً أثناء الظهيرة، وتقلّ هذه الشدة عند الغروب، أو الشروق .

ويمكن أن نعرِّف شدة الإستضاءة لسطح بأنها :

تساوي عدد الجسيمات الضوئية التي تسقط عمودياً على وحدة المساحة من السطح خلال الثانية الواحدة .

el-online.net

ويعبر عن ذلك بالعلاقة الرياضية الآتية :

شدة الإستضاءة = $\frac{\text{الفيض الضوئي}}{\text{المساحة}}$ ليومن/م٢

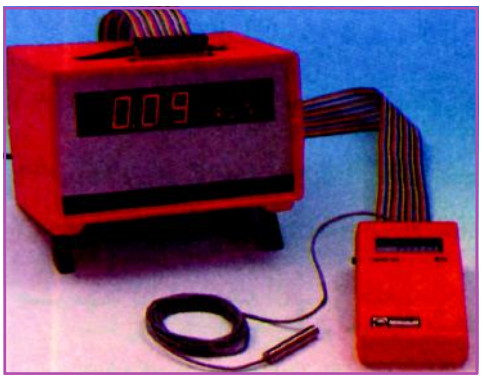
$= \frac{\text{ق } \pi \text{ ٤}}{\text{نـو}^{٢} \pi \text{ ٤}} = \frac{\text{ق}}{\text{نـو}^{٢}}$ ليومن/م٢ أو (قنديلة)/م٢

$$\therefore \quad \text{ش} = \frac{\text{ق}}{\text{ف}^{٢}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$

حيث :(ق) قوة إضاءة المصدر الضوئي،(ش) شدة الإستضاءة ، ف = نـو = بعد المنبع عن السطح الساقط عليه الضوء.

ويمكن قياس قوة مصدر ضوئي أو مقارنة قوى المصادر الضوئية باستخدام جهاز يسمى بالمقياس الضوئي (Light meter) .

وهذا النوع يستخدمه المصورون، لتحديد شروط الإضاءة المناسبة عند التصوير الفوتوجرافي، وهو عبارة عن خلية كهروضوئية (Photo-electric cell)، حساسة تتأثر بالضوء، ويتناسب تيارها (الذي يبينه المؤشر الرقمي على شاشة الجهاز في الشكل(٤)) مع شدة استضاءة سطحها.



شكل (٤)

يلاحظ من العلاقة (١) أن شدة الاستضاءة (ش) تتناسب طردياً مع قوة إضاءة المصدر الضوئي، وعكسياً مع مربع المسافة الفاصلة بين المصدر الضوئي، والسطح المضاء.

el-online.net

الوحدة العيارية لقياس قوة إضاءة مصدر

تقاس قوة مصدر ضوئي (ق) بوحدة يطلق عليها « الشمعة » العيارية، أو القنديلة (The Candel) .

تعريف الشمعة العيارية (القنديلة) : هي قوة مصدر ضوئي يتكون من جسم أسود مثالي مساحته = $\frac{١}{٦ \times ١٠^{٥}}$ متراً مربعاً وبدرجة حرارة تجمد البلاتين، وتحت الضغط الجوي المعياري.

والوحدة العيارية لقياس شدة الاستضاءة: هي عبارة عن شدة الاستضاءة الناشئة عن شمعة عيارية على بعد قدم واحد منها، وتسمى (قدم – شمعة) . وتقرأ هذه الوحدة ككلمة واحدة.

الخصائص البصرية للمادة

الأجسام الشفافة والملونة والمعتمة: (Transparent, Coloured and Opaque Bodies)

تشرق الشمس، وترسل ضوءها في جميع الاتجاهات، والأشعة الضوئية التي تصل إلى سطح الأرض، يتشتت جزءاً منها بواسطة ذرات الغلاف الجوي المحيط بالكرة الأرضية، ولولا وجود الغلاف الجوي لما استطعنا رؤية الشمس، والنجوم من شدة لمعانها في كبد سماء مظلمة . وقد أكدَّ ذلك رجال الفضاء أثناء رحلاتهم إلى الفضاء، وإلى سطح القمر حول الأرض ؛ فقد رأو أن السماء مظلمة بسبب انعدام مادة تسبب تشتت الأشعة الضوئية .

النشاط (٢)

اكتب تقريراً علمياً عن سبب رؤيتنا للأشياء من حولنا من خلال دراستك، ثم ألقه على زملائك في كلمة طابور الصباح ، أو انشره في المجلة العلمية الحائطية في المدرسة.

el-online.net

النشاط (٣)

أحضر لوحاً زجاجياً شفافاً، وآخر ملوناً، وجسماً ثالثاً معتماً وليكن لوح من ورق الكرتون، أو غيره مما هو متوافر في البيئة. (توجد مثل هذه الألواح الزجاجية بكثرة عند صانعي القمريات).

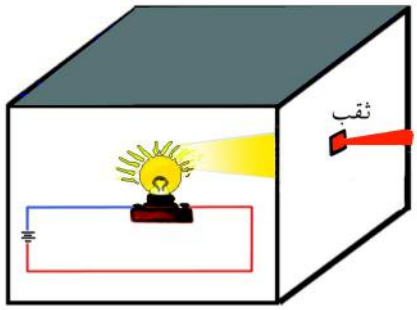
ثم أحضر مصدراً ضوئياً وليكن مصباح كهربائي صغيراً.

١ – ضع المصباح المضيء بداخل الكرتون الورقي شكل (٥)، واثقب في أحد جانبي الكرتون ثقباً مناسباً يسمح بخروج ضوء المصباح، بحيث تكون مساحة الثقب مساوية لمساحة الألواح الزجاجية السابقة.

٢– ضع اللوح الزجاجي الشفاف على الثقب ولاحظ ضوء المصباح.

٣– ثم استبدله باللوح الزجاجي الملون ولاحظ ضوء المصباح.

٤– ضع اللوح المعتم على الثقب، ولاحظ ضوء المصباح ماذا يحدث لضوء المصباح. دوّن ملاحظاتك من خلال الخطوات: (٢، ٣، ٤) السابقة؟ وماذا تستنتج من ذلك؟



شكل (٥).

من النشاط السابق يمكن أن نستنتج ما يلي:

تختلف الأجسام المادية من حيث إنفاذها للأشعة الضوئية الصادرة من المنابع الضوئية سواء أكانت الشمس أم المصادر الصناعية، مثل: المصابيح الكهربائية، وغيرها، ويمكن تصنيف هذه الأجسام على النحو التالي:

١– الأجسام الشفافة: هي الأجسام التي تسمح بنفاذ جميع الأشعة الضوئية، مثل: الزجاج الشفاف، أو الهواء..

٢– الأجسام نصف شفافة: هي الأجسام التي تسمح بنفاذ جزء من الأشعة الضوئية ولاتسمح للجزء الآخر بالنفاذ، مثل: الألواح الزجاجية الملونة، أو الورق المطلي بقليل من الزيت.

el-online.net

٣- الأجسام العاتمة: هي الأجسام التي لا تسمح بنفاذ الأشعة الضوئية من خلالها، مثل: ورق الكرتون المقوى، الأجسام المعدنية والخشب، وغيرها من الأجسام العديدة. يمكنك ذكر أمثلة لها.

وكما عرفت في السابق أن الضوء الأبيض الصادر من الشمس يتكون من ألوان الطيف السبعة، ويمكن تحليله بواسطة المنشور الثلاثي الزجاجي عند تعريضه لضوء الشمس المباشر، أو يمكنك أن تلاحظ هذه الألوان بعد سقوط المطر: (قوس الطيف)، والآن أجب عن السؤال التالي:

- كيف يمكنك الحصول على ضوء أحادي اللون؟

الأجسام التي نستخدمها للحصول على ضوء أحادي اللون، نسميها المرشحات الضوئية.

ربما شاهدت أشعة ضوء الشمس من خلال القمريات في المنزل فإنك ترى الأشعة الضوئية بألوان مختلفة: (أحمر، أخضر، أزرق، أصفر..إلخ)، وهذه الألواح الزجاجية هي مرشحات ضوئية، وهناك مرشحات ضوئية مصنوعة من ألواح بلاستيكية مختلفة الألوان.

- ما سبب رؤيتنا للأجسام التي تحيط بنا بألوان مختلفة؟

وماذا تفعل الأجسام الشفافة الملونة للضوء الأبيض الصادر من الشمس؟ هل تضيف إلى الضوء الأبيض شيئاً، أو تطرح منه شيئاً؟

للإجابة عن السؤال السابق، قم بإجراء النشاط الآتي:

النشاط (٤)

١- احضر ورقة بيضاء، وألواح زجاجية شفافة ملونة، ولتكن: لوح صغير من زجاج أحمر، وأخضر، وأزرق، وأصفر.

٢- ضع اللوح الأحمر على الورقة البيضاء فإنك تلاحظ لون الورقة باللون الأحمر، وإذا استبدلت اللوح الأحمر باللوح الأزرق فإنك ترى الورقة باللون الأزرق.، وهكذا في بقية الألوان.

وهذا يدل على أن اللوح الأحمر يمتص كل الألوان من الضوء الأبيض ما عدا اللون الأحمر، وهكذا بالنسبة للوح الأزرق والأخضر والأصفر..إلخ.

ونستنتج من ذلك أن الألواح الشفافة الملونة بألوان مختلفة تمتص جميع الألوان عدا اللون المشابه للونها.

el-online.net

النشاط (٥)

– أحضر جسماً لونه أسود، وآخر لونه أبيض .

– عرضهما لضوء الشمس لفترة كافية من الزمن بحيث يكون ضوء الشمس الساقط عليهما مباشراً في وقت الظهيرة.

بعد مرور وقت من الزمن وليكن على سبيل المثال من(٣٠–٦٠) دقيقة ، المس بيدك كل منهما . أي من اللوحين تكون درجة حرارته أعلى؟ وماذا تفسر ذلك؟

الجسم الأسود درجة حرارته أعلى من درجة حرارة الجسم الأبيض؛ لأن هذا الجسم امتص كل الأشعة الضوئية الساقطة عليه، وهو سبب في ارتفاع درجة حرارته، بينما الجسم الأبيض درجة حرارته أقل، وسبب ذلك أن جزءاً كبيراً من الأشعة الضوئية الساقطة عليه انعكست (ارتدت)، وجزءاً بسيطاً من الضوء تم امتصاصه.

وتُستغل الأجسام السوداء في تسخين المياه بواسطة المسطحات الشمسية، وتكثر هذه المسطحات على سطوح المنازل في المناطق الباردة، وتصنع من أجسام سوداء يمر بداخلها تيار الماء الذي يمتص الحرارة من الجسم الأسود المسلط عليه ضوء الشمس.

انعكاس الضوء Reflection of Light

مر معنا في السابق بأنه عندما تسقط الأشعة الضوئية على سطوح بعض الأجسام، فإن جزءً منها يمتص، والجزء الآخر يرتد عن سطوحها (ينعكس) ، واننا نرى الأشياء من حولنا بسبب هذا الانعكاس للأشعة الضوئية ، ثم وقوعها على العين البشرية، والتي بدورها ترسلها إلى المخ لمعالجتها، وبذلك نرى الأشياء المحيطة بنا، وإذا لم يكن الأمر كذلك لما رأينا شئ من حولنا ورأينا الظلمة كما يرى رجال الفضاء السماء سوداء مظلمة ، لأنه لا توجد مادة في الفراغ تعكس الضوء.

وعندما تسقط الأشعة الضوئية على سطوح الأجسام؛ فإنها تعكس هذه الأشعة سواءً جزئياً أم كلياً بحسب نوع مادة الجسم. والانعكاس نوعان هما:

١ـ الانعكاس المنتظم (Specular Reflection) :

يحدث هذا النوع من الانعكاس عندما تسقط الأشعة الضوئية على سطوح الأجسام المستوية المصقولة، مثل: المرآة المستوية، والأجسام المعدنية المصقولة، مثل: الألومنيوم والفضة.. إلخ كما يوضحه الشكل (٦).

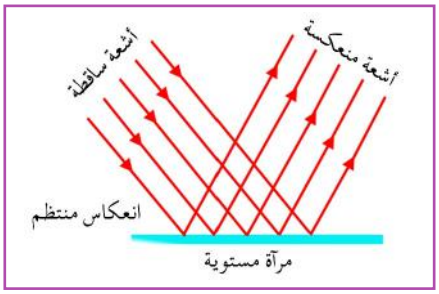
el-online.net

٢ـ الانعكاس غير المنتظم (المشتت)

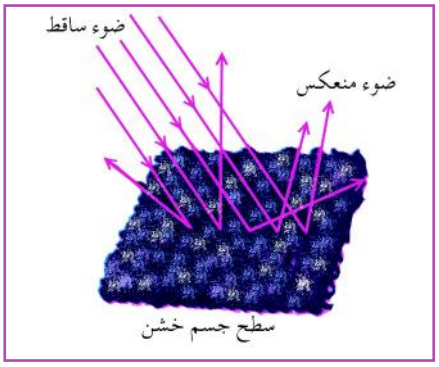
(Diffuse Reflection)

ويحدث هذا النوع من الانعكاس عند سقوط الأشعة الضوئية على سطوح الأجسام الخشنة (غير مصقولة)، مثل: الورق، وسطوح الألواح الخشبية، والجدران ...إلخ.

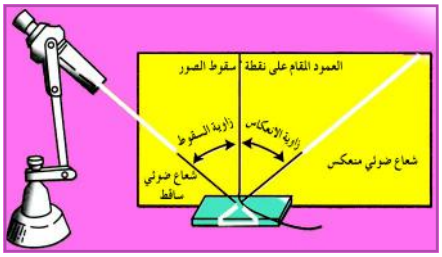
لأن السطح الخشن يتكون من عدة سطوح صغيرة جداً (في صورة نتوءات) بحيث يحصر كلٌّ سطحين متجاورين زاويةٌ معينة؛ ولهذا السبب فالانعكاس الذي يحدث عن هذه السطوح هو انعكاس غير منتظم (متشتت)، والشكل (٧) يبين ذلك. ومن الشكل (٨) نوضح التعاريف الآتية:



شكل (٦).



شكل (٧) انعكاس غير منتظم.



شكل (٨).

- **الشعاع الساقط**: هو الشعاع الواصل من المصدر الضوئي إلى السطح العاكس.
- **الشعاع المنعكس**: هو الشعاع المرتد (المنعكس) عن السطح العاكس.
- **نقطة السقوط**: هي نقطة تلاقي الشعاع الساقط، والسطح العاكس.
- **عمود الانعكاس**: هو العمود الوهمي المقام على السطح العاكس من نقطة السقوط.
- **زاوية السقوط**: هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط، وعمود الانعكاس .
- **زاوية الانعكاس**: هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس، وعمود الانعكاس.

el-online.net

قانونا الانعكاس

القانون الأول :

لاحظ الشكل (٨) السابق

عند سقوط حزمة من أشعة الضوء على سطح جسم مستو مصقول؛ فإن الشعاع ينعكس من السطح في الاتجاه الآخر، وإذا أقمنا عموداً عند نقطة سقوط الشعاع على السطح المصقول؛ فإن هذا العمود يقع في المستوى الذي يحدده الشعاعان الساقط والمنعكس، والزاوية التي تقع بين العمود المقام والشعاع الساقط تسمى زاوية السقوط، والزاوية التي تقع بين العمود المقام والشعاع المنعكس تسمى زاوية الانعكاس، وهاتان الزاويتان متساويتان . وهذا يسمى القانون الأول للانعكاس .

[أي أن : زاوية السقوط = زاوية الانعكاس] .

القانون الثاني :

الشعاع الساقط، والشعاع المنعكس، والعمود المقام على السطح من نقطة السقوط تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس .

ولإثبات صحة القانونين السابقين : (أُنظر الأنشطة العملية) .

– ماذا يحدث إذا سقط شعاع ضوئي عمودي على سطح المرآة المستوية كيف ينعكس هذا الشعاع بعد سقوطه على سطح المرآة؟

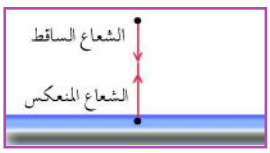
يمكنك الإجابة عن السؤال السابق من خلال تنفيذ النشاط الآتي :

النشاط (٦)

أحضر مرآة مستوية، وضعها على سطح مستو في مكان مظلم، واحصل على حزمة ضيقة من الأشعة الضوئية، وأسقط هذه الحزمة بحيث يكون اتجاه سقوطها عمودياً على سطح المرآة .

ولاحظ اتجاه انعكاس الشعاع الضوئي الساقط على سطح المرآة .

لا شك أن الشعاع المنعكس سوف يأخذ نفس مسار الشعاع الساقط وينطبق عليه، لاحظ الشكل (٩) .



شكل (٩) مرآة مستوية .

el-online.net

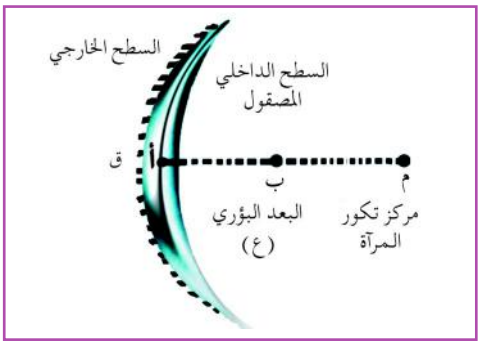
ذُكر – في النشاط السابق – أنه إذا سقط شعاع ضوئي على سطح مرآة مستوية، بحيث يكون عمودياً على السطح؛ فإن الشعاع المنعكس ينعكس على نفسه لأن زاوية السقوط تساوي صفراً، وزاوية الانعكاس تساوي صفراً كذلك، ولهذا فالشعاع الساقط عمودياً ينعكس على نفسه.

والآن نستعرض انعكاس الضوء الساقط على المرايا الكروية ، وندرس القانون العام للمرايا وتكوُّن الصور.

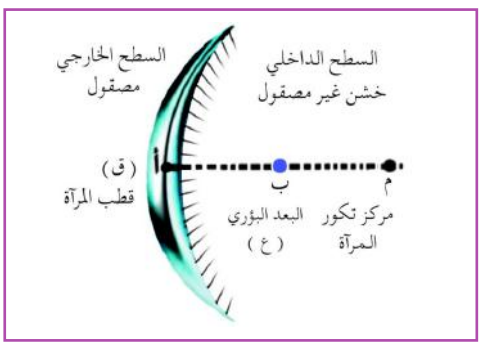
القانون العام للمرايا الكروية:

المرايا الكروية نوعان: مقعرة، ومحدبة. المرايا المقعرة هي جزء من كرة مجوفة سطحها الداخلي لامع ومصقول وسطحها الخارجي معتم خشن غير مصقول. والشكل (١٠)، يوضح المرآة المقعرة.

أما المرآة المحدبة فيكون سطحها الخارجي هو السطح المصقول، والشكل (١١)، يوضح المرآة المحدبة



شكل (١٠) المرآة المقعرة (اللامة).



شكل (١١) المرآة المحدبة (المفرقة).

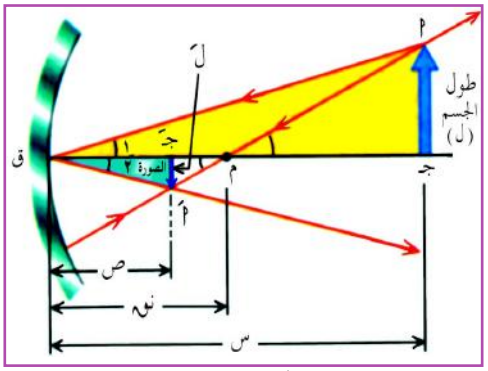
استنتاج القانون العام للمرايا المقعرة (اللامة) رياضياً

سنكتفي بمثال عن استنتاج القانون العام للمرايا الكروية في المرآة المقعرة (اللامة):

من الشكل (١٢)، يسمى (ق) قطب المرآة، الخط (م ق) هو نصف قطر تكور المرآة (نـو) ، (اجـ) طول الجسم (ل)، (أ جَ) طول الصورة (لَ) المتكونة للجسم.

والرقم (١) زاوية سقوط الشعاع الضوئي الساقط، (٢) زاوية انعكاس الشعاع، (س) بعد الجسم عن قطب المرآة ، (ص) بعد الصورة المتكونة عن قطب المرآة (ق)،

el-online.net



شكل (١٢) .

والآن نفترض أن الشعاع (ا م) هو الشعاع المار بمركز التكور، والساقط عمودياً على سطح المرآة الكروي وباتجاه نصف قطرها حيث يكون نصف القطر عمودي على السطح، وينعكس على نفسه .

ونفترض أن الشعاع (ا ق) يسقط عند قطب المرآة، وينعكس طبقاً لقانون الانعكاس في الاتجاه ق ا' بزاوية مساوية لزاوية سقوطه، كما هو مبين بالشكل (١٢) فنحصل على أشكال هندسية، ومن هذه الأشكال : المثلثين ا' جـ' ق ، ا جـ ق وهما مثلثان متشابهان، ومن التشابه نجد أن :

$$\frac{\text{ا' جـ' (ل')}}{\text{ا جـ (ل)}} = \frac{\text{ص}}{\text{س}} \quad \ldots (٢) .$$

ومن تشابه المثلثين ا' جـ' م ، ا جـ م، فإن : $\frac{\text{ل'}}{\text{ل}} = \frac{\text{نـو} - \text{ص}}{\text{س} - \text{نـو}}$ ..... (٣)

ومن العلاقتين : (٢ ، ٣) نحصل على العلاقة الآتية :

$$\frac{\text{ص}}{\text{س}} = \frac{\text{نـو} - \text{ص}}{\text{س} - \text{نـو}} \quad \ldots\ldots\ldots (٤)$$

وبما أن حاصل ضرب الطرفين = حاصل ضرب الوسطين، فالعلاقة :(٤) تصبح :

س ص – نـو ص = س نـو – س ص

٢س ص = نـو ص + س نـو ، وبقسمة طرفي المعادلة على (س ص نـو)

ينتج الآتي : $\frac{٢}{\text{نـو}} = \frac{١}{\text{س}} + \frac{١}{\text{ص}}$ ..... (٥)

وبما أن نصف قطر تكور المرآة نـو = ضعف البعد البؤري للمرايا (ع)،

أي نـو = ٢ ع وبعد التعويض عن قيمة (نق) في العلاقة (٥) نجد أن :

$$\frac{٢}{٢\text{ع}} = \frac{١}{\text{س}} + \frac{١}{\text{ص}} \quad \text{ومنها}$$

$$\boxed{\frac{١}{\text{ع}} = \frac{١}{\text{س}} + \frac{١}{\text{ص}}} \quad \ldots\ldots\ldots (٦)$$

وهذا هو القانون العام للمرايا والذي نعين منه البُعد البؤري للمرايا، وبُعد الجسم

el-online.net

(س) عن قطب المرآة، وبعد الصورة المتكونة للجسم (ص) .

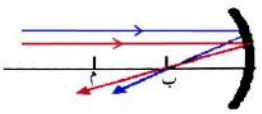
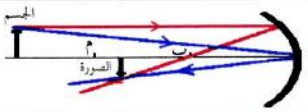
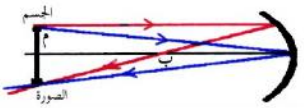
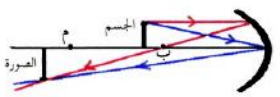
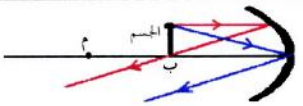
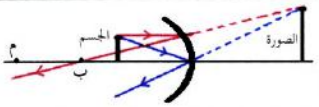
ملاحظة : يمكن تطبيق هذا القانون على كل من المرايا المقعرة، والمحدبة بشرط مراعاة تطبيق قاعدة الإشارات في الجدول (٢) .

جدول (٢)

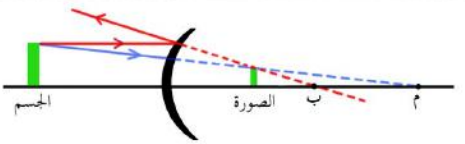
ع	موجبة للمرآة المقعرة وسالبة للمرآة المحدبة .
س	موجبة للجسم الحقيقي وسالبة للجسم التخيلي .
ص	موجبة للصورة الحقيقية وسالبة للصورة التخيلية .

جدول (٣)حالات تكون الصورة في المرايا الكروية

حالات تكون الصورة في المرآة المقعرة

الحالة	موقع الجسم	موقع الصورة	صفات الصورة	الشكل الموضح للصورة
1	في مكان بعيد نسبيا ما لانهاية	في بؤرة المرآة	حقيقية مقلوبة ومصغرة جدا	
2	ابعد من مركز التكور	بين البؤرة ومركز التكور	حقيقية مقلوبة ومصغرة	
3	في مركز التكور	في مركز التكور	حقيقية مقلوبة بقدر طول الجسم	
4	بين البؤرة ومركز التكور	خلف مركز التكور	حقيقية مقلوبة مكبرة	
5	في البؤرة	في اللانهاية	لا تتكون الصورة	
6	بين البؤرة وقطب المرآة	خلف المرآة	تخيلية مكبرة	

حالة الصورة المتكونة في المرآة المحدبة



el-online.net

قوة التكبير في المرايا :

ويقصد بها النسبة بين طول الصورة المتكونة للجسم وطول الجسم أي أن :

$$\text{التكبير (ت)} = \frac{\text{طول الصورة}}{\text{طول الجسم}} = \frac{\text{ل}'}{\text{ل}} = \frac{\text{ص}}{\text{س}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٧)$$

أو أن طول الصورة المتكونة إلى طول الجسم يساوي بعد الصورة عن قطب المرآة إلى بعد الجسم عنها .

النشاط (٧)

أثبت رياضياً أن $\frac{\text{ل}'}{\text{ل}} = \frac{\text{ص}}{\text{س}}$ كما مر معك سابقاً.

قوة المرآة : هي مقلوب البعد البؤري للمرآة مقدراً بالمتر

قوة المرآة تحسب من العلاقة الآتية :

$$\text{قوة المرآة} = \frac{١}{\text{البعد البؤري مقاساً بالمتر}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٨)$$

وتقاس قوة المرآة بوحدة تسمى « الديوبتر » ويرمز لها بالرمز (Δ) .

– **ملاحظة :** قوة المرآة المقعرة (اللامة) موجبة، وقوة المرآة المحدبة (المفرقة) سالبة ، ما سبب ذلك؟

النشاط (٨)

حاول الحصول على مرآة محدبة، وأخرى مقعرة، واستقبل على كل منها أشعة ضوئية لمصدر، واستقبل الأشعة المنعكسة من كل منهما على سطح ورق أبيض مقوى في غرفة مظلمة، لاحظ الأشعة المنعكسة من كل منهما، ثم أجب عن السؤال التالي :

لماذا سميت المرايا المقعرة باللامة، والمرايا المحدبة بالمفرقة؟

ملاحظة : في الجدول الآتي موجز لصفات الصورة المتكونة لجسم وضع أمام مرآة كروية عند قيم التكبير الموضحة قرين كل صفة (حالة) .

جدول (٤)

قيم (ت)	ت > صفر	ت > صفر	ت < ١	ت = ١	ت > ١
حالة الصورة المكونة	مقلوبة	معتدلة	مكبرة	مساوية للجسم	مصغرة

el-online.net

مثال (١) : و ضع جسم على بعد (٣٠) سم، أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري (١٢) سم.
أوجد بعد الصورة الناتجة، والتكبير لها، مع وصف لحالة الصورة المتكونة.

الحـــل : $\because \frac{١}{ع} = \frac{١}{س} + \frac{١}{ص}$

وبالتعويض عن القيم المعطاة فإن :

$$\frac{١}{١٢} = \frac{١}{٣٠} + \frac{١}{ص} \quad \text{ومنها ص} = ٢٠ \text{ سم}$$

وطالما وأن قيمة (ص) موجبة؛ فإن الصورة حالتها حقيقية.

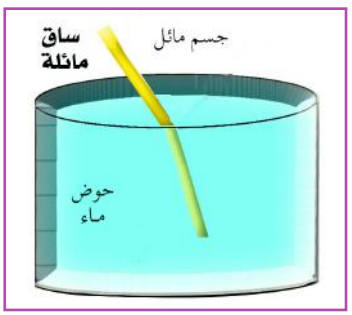
التكبير (ت) $= \frac{ل}{ل} = \frac{ص}{س}$ ، $\therefore$ ت $= \frac{ص}{س} = \frac{٢٠}{٣٠} = \frac{٢}{٣}$.

وعندما تكون قيمة ت > صفر، فتكون الصورة (مقلوبة) معكوسة.
وعندما تكون قيمة ت < ١ تكون الصورة المتكونة مصغرة.
الصورة المتكونة تكون مقلوبة (معكوسة) مصغرة، وعلى بعد (٢٠) سم، وتقع أمام المرآة.

انكسار الضوء (Refraction of Light)

النشاط (٩)

أحضر حوضاً زجاجياً شفافاً، وصب فيه كمية من الماء النقي، وأحضر ساقاً لأية مادة، أو قلم رصاص، واغمر جزءاً منه في الماء، والجزء الآخر اتركه معرضاً للهواء، ثم لاحظ القلم عند سطح الماء، ودقق النظر إليه كيف يبدو لك شكل القلم؟ انظر الشكل (١٣).
– ما سبب ذلك؟



شكل (١٣).

إذا سقط شعاع ضوئي على السطح الفاصل بين وسطين شفافين، مثل: الهواء، والماء. كما في النشاط السابق؛ فإن بعضاً من الشعاع ينكسر عند السطح الفاصل، ويغير اتجاهه فجأة، ويستمر بعد ذلك يسير في اتجاه جديد بخط مستقيم في الوسط الثاني.

el-online.net

وظاهرة التغير المفاجئ لاتجاه انتقال الضوء بين وسطين شفافين يطلق عليها «ظاهرة الانكسار الضوئي». وهذا هو السبب الذي جعلنا نرى القلم عند السطح الفاصل يبدو وكأنه مكسوراً.

■ **القانون الأول في الانكسار الضوئي**: ونصه:

الشعاع الساقط، والشعاع المنكسر، والعمود المقام على السطح الفاصل من نقطة سقوط الشعاع الضوئي تقع كلها في مستوى واحد عمودي على السطح الفاصل.

القانون الثاني في الانكسار (قانون سنل)

(Snell's Law of Refraction.) ينص على أن:

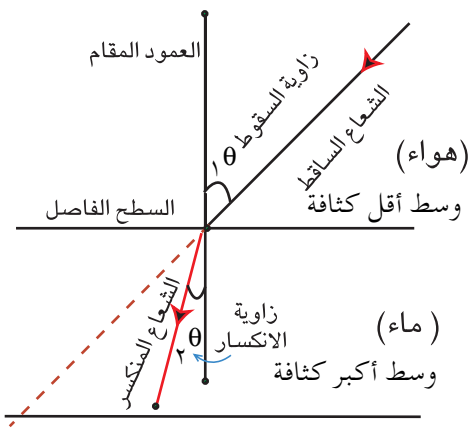
«النسبة بين جيب زاوية السقوط، وجيب زاوية الانكسار نسبة ثابتة للوسطين الثابتين».

معامل الانكسار:

النسبة بين جيبي زاوية السقوط وزاوية الانكسار = مقداراً ثابتاً، وهذه النسبة الثابتة تسمى (معامل انكسار الوسطين)، ويرمز لها بالرمز اللاتيني (μ).

أي أن: $\mu = \frac{\text{جيب زاوية السقوط}}{\text{جيب زاوية الانكسار}}$ ..... (٩)

لاحظ الشكل (١٤) عندما يسقط شعاع من وسط أقل كثافة ضوئية مثل الهواء إلى وسط آخر أكبر كثافة ضوئية مثل الماء؛ فإنه ينكسر مقترباً من العمود المقام وتكون زاوية السقوط أكبر من زاوية الانكسار، وأن معامل الانكسار بين هذين الوسطين نرمز له بالرمز ($\mu_{\text{ماء}}$ هواء) ويساوي:



شكل (١٤)

$\mu_{\text{ماء}}$ هواء $= \frac{\text{جيب زاوية السقوط في الهواء}}{\text{جيب زاوية الإنكسار في الماء}}$ .....(١٠)

el-online.net

وينقسم معامل الانكسار إلى قسمين :

١ – معامل الانكسار المطلق .

٢ – معامل الانكسار النسبي .

أولاً : معامل الانكسار المطلق (The Absolute Index of Refraction.) :

هو معامل انكسار الضوء عند انتقاله من الفراغ إلى الوسط المعني ونرمز له بالرمز ($\mu_{\text{وسط}}$ فراغ) ويساوي :

$$\mu_{\text{وسط}}\ \text{فراغ} = \frac{\text{معامل انكسار الوسط}}{\text{معامل انكسار الفراغ}} \quad \ldots\ldots\ldots (١١)$$

(حيث معامل انكسار الفراغ = ١)

وقد تبين من خلال التجارب العملية أنه إذا كان الوسط الأول هو الهواء بدلاً من الفراغ؛ فإن الفرق بين معاملي الانكسار يكاد لا يذكر عند استخدام الهواء بدلاً من الفراغ، فمثلاً إذا كان معامل الانكسار لقطعة من الزجاج هو (١٫٥) في الهواء؛ فإن قيمته في الفراغ تكون (١٫٤٩٩٦) . وعملياً لا نفرق في معظم الأحيان بين معامل الانكسار المطلق للمادة، ومعامل انكسارها عند انتقال الشعاع من الهواء إلى المادة، ونعتبرهما متساويين، ونطلق عليهما اسم « معامل الانكسار » فقط .

فإذا افترضنا أن زاوية سقوط الشعاع الضوئي في الهواء (الوسط الأول) هي ($\theta_١$)، وزاوية انكسار الشعاع في الزجاج (الوسط الثاني) هي ($\theta_٢$) فإن :

$$\mu_{٢}\mu_{١} = \frac{\mu_{٢}}{\mu_{١}} \Leftarrow \mu_{\text{ز}}\mu_{\text{هـ}} = \frac{\mu_{\text{ز}}}{\mu_{\text{هـ}}}$$

$$\therefore \frac{\mu_{\text{ز}}}{\mu_{\text{هـ}}} = \frac{\text{جا}\theta_{١}}{\text{جا}\theta_{٢}} \quad \text{ومنه :}$$

$$\mu_{\text{هـ}}\ \text{جا}\theta_{١} = \mu_{\text{ز}}\ \text{جا}\theta_{٢} \quad \ldots\ldots\ldots (١٢)$$

وهذا هوا قانون سنل .

ثانياً : معامل الانكسار النسبي :

هذا النوع من الانكسار نحصل عليه عند انتقال الضوء بين وسطين ليس أي منهما فراغاً (هواء) مثل الزجاج والماء أو الزجاج والجلسرين فعند انتقال شعاع ضوئي

el-online.net

من الزجاج إلى الماء –مثلاً– فإن معامل انكسارهما النسبي نعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$\mu_{\text{زجاج}}{}_{\text{ماء}} = \frac{\mu_{\text{ماء}}}{\mu_{\text{هواء}}} \Big/ \frac{\mu_{\text{زجاج}}}{\mu_{\text{هواء}}}$$

$$\mu_{\text{زجاج}}{}_{\text{ماء}} = \frac{\mu_{\text{ماء}}}{\mu_{\text{زجاج}}} \quad \ldots\ldots\ldots (١٣)$$

مثال (٢): إذا كان معامل انكسار الماء = ١٫٣٣، ومعامل انكسار الزجاج (١٫٥). احسب معامل الانكسار النسبي من الماء للزجاج، ثم من الزجاج للماء.

الحل:

$$\therefore \quad \mu_{\text{ماء}}{}_{\text{ز}} = \frac{\mu_{\text{ز}}}{\mu_{\text{ماء}}} = \frac{١٫٥}{١٫٣٣} = ١٫١٣$$

معامل الانكسار النسبي بين الزجاج والماء

$$\mu_{\text{ز}}{}_{\text{ماء}} = \frac{\mu_{\text{ماء}}}{\mu_{\text{ز}}} = \frac{١٫٣٣}{١٫٥} = ٠٫٨٨٧$$

مثال (٣): إذا كان معامل انكسار الجلسرين (١٫٤٧)، ومعامل انكسار الكحول الإيثيلي (١٫٣٦)، احسب معامل الانكسار النسبي بين الجلسرين والكحول الإيثيلي، والعكس.

الحل:

معامل الانكسار النسبي بين الجلسرين والكحول: $\frac{\mu_{\text{ك}}}{\mu_{\text{ج}}} = \frac{١٫٣٦}{١٫٤٧}$

أما معامل الانكسار النسبي بين الكحول والجلسرين: $(\mu_{\text{ك}}{}_{\text{ج}}) = \frac{\mu_{\text{ج}}}{\mu_{\text{ك}}} = \frac{١٫٤٧}{١٫٣٦}$

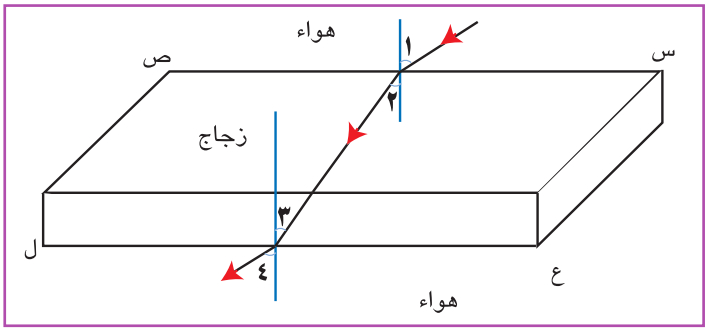
انكسار الضوء خلال عدة أوساط (سطوح) متوازية (متوازي مستطيلات زجاجي):

لاحظ الشكل (١٥) متوازي مستطيلات من الزجاج.

ماذا يحدث إذا سقط على أحد أوجهه شعاع ضوئي؟، وكيف سيكون مسار الشعاع الخارج منه عند نفاذه من السطح الآخر المقابل له؟

el-online.net

يلاحظ أن الشعاع الضوئي عند خروجه من السطح المقابل يكون موازياً تماماً لاتجاه سقوطه على السطح الأول، ومعنى ذلك أن الانحراف الذي حدث في مسار الضوء عند انكساره من الهواء للزجاج قد حدث عكسه عند انكسار الضوء من الزجاج إلى الهواء، ولولا هذا لما خرج الشعاع موازياً لنفسه.



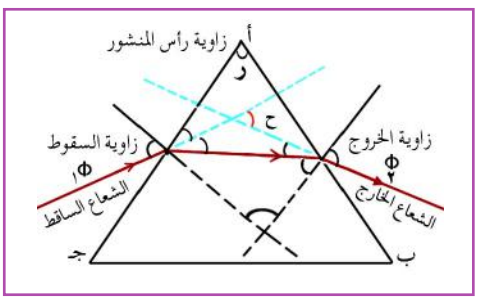
شكل (١٥) .

وهذا يعني أن الشعاع الضوئي اقترب من العمود المقام على السطح بزاوية محددة عند انكساره من الهواء إلى الزجاج، ثم عاد وابتعد عن العمود المقام على السطح بنفس الزاوية عند انكساره من الزجاج للهواء – أي أن الانكسار من الهواء إلى الزجاج هو بالضبط عكس الانكسار من الزجاج إلى الهواء.

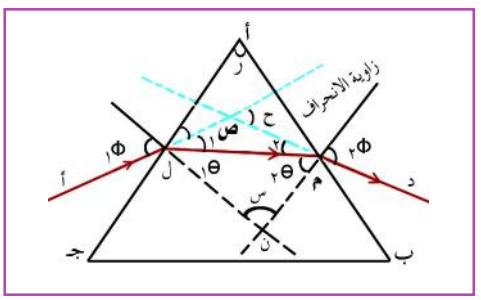
ويمكن استخدام متوازي المستطيلات السابق في تعيين معامل الانكسار المطلق للزجاج ($\mu_{هـ ز}$) = $\frac{\text{جا}\phi_1}{\text{جا}\phi_2}$ ، بطريقة عملية .

انكسار الضوء في المنشور الثلاثي (Refraction By A prism) :

إذا سقط شعاع من الضوء على أحد أوجه المنشور الزجاجي (أ ب جـ) بزاوية السقوط، ولتكن (ϕ_1)؛ هذا الشعاع سيعاني انكساراً، وعندما يصل إلى الوجه الآخر للمنشور سوف يعاني انكساراً آخراً، ويخرج هذا الشعاع من الجانب الآخر، ويصنع



شكل (١٦) .



شكل (١٧) .

el-online.net

زاوية (ϕ_2) وهي زاوية الخروج، وتسمى الزاوية المحصورة بين امتداد الشعاع الساقط،وامتداد الشعاع الخارج بزاوية الانحراف (ح)، والشكلين (١٦) و (١٧) يوضحان هذه العملية، ومنهما فإننا نطرح السؤال الآتي :

– ما العلاقة بين زاوية السقوط ϕ_1، وزاوية الخروج ϕ_2 ، وزاوية الانحراف (ح)، وزاوية رأس المنشور (ر)؟

للإجابة عن هذا السؤال قم بإجراء التجربة العملية المدونة في دليل التجارب، والأنشطة العملية المرفق مع هذا الكتاب بالاستعانة بالشكل (١٧) .

ويمكنك معرفة قيم الزوايا المطلوبة من العلاقات الآتية :

بما أن :

$\hat{م} + \hat{ل} + \hat{ر} + \hat{س} = ٣٦٠^\circ$ (مجموع زوايا الشكل الرباعي (م ن ل ؟)

ولكن $\hat{م} = \hat{ل} = ٩٠^\circ$

$\therefore \quad \hat{ر} + \hat{س} = ١٨٠^\circ$

في المثلث (ل ن م) : $\hat{\theta}_1 + \hat{\theta}_2 + \hat{س} = ١٨٠^\circ$

$\therefore$ من العلاقتين السابقتين نحصل على

$$\hat{ر} = \hat{\theta}_1 + \hat{\theta}_2 \quad \text{.....(١٤)}$$

وفي المثلث (م ص ل) ، $\hat{ح} = \hat{١} + \hat{٢}$ (زاوية خارجية)

ولكن $\hat{١} = \phi_1 - \theta_1$ (بالتقابل بالرأس في النقطة ل)

$\hat{٢} = \phi_2 - \theta_2$ (بالتقابل بالرأس في النقطة م)

بالتعويض في العلاقة (ح) نجد أن :

$\hat{ح} = \phi_1 - \theta_1 + \phi_2 - \theta_2$

$= \phi_1 + \phi_2 - (\theta_1 + \theta_2)$

من العلاقة (١٤) نستنتج أن :

$$ح = \phi_1 + \phi_2 - ر \quad \text{.....(١٥)}$$

el-online.net

مثال (٤) : منشور ثلاثي زاوية رأسه = (٦٠°)، ومعامل انكسار مادته ($\frac{٣}{٢}$)، سقط عليه شعاع بزاوية سقوط مقدارها = (٣٠°) . احسب زاوية خروج الشعاع، ومقدار زاوية الانحراف .

الحل :

$\because \mu = \frac{\text{جا } \phi_١}{\text{جا } \theta_١}$ ، $\therefore \frac{\text{جا } ٣٠^\circ}{\text{جا } \theta_١} = \frac{٣}{٢}$ ، ومنها $\theta_١ = ٢٨^\circ\ ٢٨'\ ١٩''$.

زاوية رأس المنشور : (ر) $= \theta_١ + \theta_٢$ $\therefore \theta_٢ = ٦٠^\circ - ٢٨^\circ\ ٢٨'\ ١٩''$.

$\theta_٢ = ٣١^\circ\ ٣٢'\ ٤٠''$

$\therefore \mu = \frac{\text{جا } \phi_٢}{\text{جا } \theta_٢}$ $\therefore \frac{\text{جا } \phi_٢}{\text{جا } ٣١^\circ\ ٣٢'\ ٤٠''} = \frac{٣}{٢}$ ، ومنها : $\phi_٢ = ٧^\circ\ ٧٧'\ ٠''$ وهي زاوية خروج الشعاع .

مقدار زاوية الانحراف : (ح) $= \phi_١ + \phi_٢ - ر = ٣٠^\circ + ٧^\circ\ ٧٧' - ٦٠^\circ$ ،

ومنها : (ح) $= ٧^\circ\ ٤٧'\ ٠''$.

■ تحليل الضوء باستخدام المنشور الزجاجي :

عرفت مما سبق أن الضوء المرئي هو ضوء مركب من عدة ألوان من الأطياف، وهذه الأطياف محصورة بين الأشعة البنفسجية، والحمراء، وعددها سبعة ألوان . هل يمكننا ملاحظتها باستخدام المنشور الزجاجي؟، كيف يمكن ذلك؟

للإجابة عن السؤال السابق قم بإجراء النشاط الآتي :

النشاط (١٠ أ)

أحضر مصدراً للضوء الأبيض (ضوء الشمس)، أو أي مصدر ضوئي آخر، وحاجز من الورق المقوى، ومنشور زجاجي، ثم قم بما يلي :

١- اجعل أشعة الضوء الأبيض الصادرة من المصدر الضوئي تسقط على أحد أوجه المنشور .

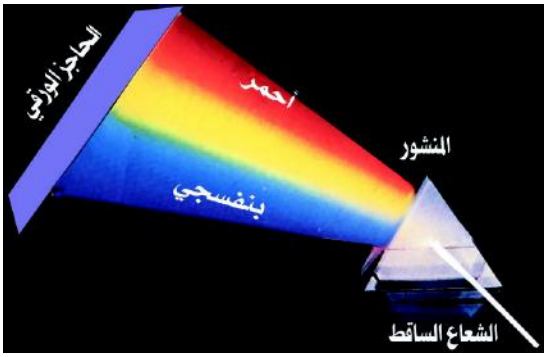
٢- غيّر من زاوية سقوط الأشعة على وجه المنشور، ثم استقبل الأشعة الخارجة من الوجه الآخر للمنشور بواسطة الحاجز .

حتى تحصل على أشعة ضوئية ملونة، وعددها سبعة ألوان على الحاجز؛ ستجد أن هذه الألوان جميعها انكسرت مقتربة من قاعدة المنشور، والشكل (١٨) يبين ذلك .

el-online.net

النشاط (١٠ ب)

أحضر منشوراً آخراً، ثم ضعه؛ بحيث يكون رأسه معاكساً للمنشور السابق في النشاط: (أ) في مسار الأشعة الخارجة من المنشور، واستقبلها بواسطة الحاجز؛ حتى تحصل على ضوء أبيض أي أن ألوان الطيف تتحول مرة أخرى إلى ضوء أبيض.



شكل(١٨)

– ماذا تستنتج من نتائج النشاطين السابقين؟

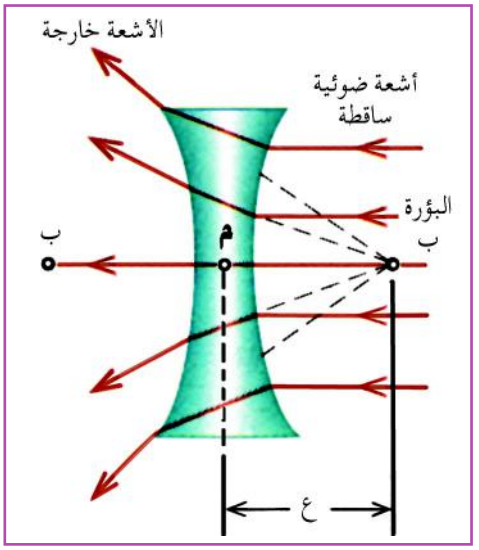
ملاحظة: الضوء الأبيض هو ضوء مركب من ألوان الطيف السبعة، وكل لون من ألوان الطيف يتكون من العديد من الألوان المختلفة، وكل لون له زاوية انحراف مختلفة عن اللون الآخر.

العدسات الرقيقة «الخفيفة» وقوانينها

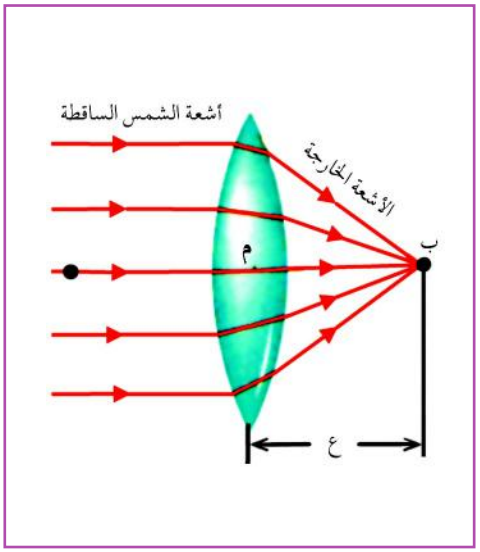
لعلك قد شاهدت بعض الناس من حولك يلبسون نظارات لمعالجة عيوب النظر، وهذه النظارات مكونة من عدسات مختلفة من شخص إلى آخر بحسب العيوب التي تصاب بها العين.

وربما قد لاحظت بعض الأولاد يحصلون على عدسات، ويقومون بتعريضها لضوء الشمس، ثم يحركونها قرباً أو بعداً، من حاجز حتى يحصلون على نقطة مضيئة يستقبلونها على ورقة بياض لفترة حتى تحترق، ومثل هذه العدسات تسمى بالعدسة اللامة أو المحدبة.

el-online.net



شكل (١٩) عدسة مقعرة (مفرقة) .



شكل (٢٠) عدسة محدبة (لامة) .

انظر إلى الشكلين السابقين: لماذا سميت العدسة المحدبة بالعدسة اللامة؟
ولماذا سميت المقعرة بالمفرقة؟

تعاريف خاصة لمصطلحات العدسة المحدبة والمقعرة

من خلال الشكلين السابقين يمكن أن نعرِّف المصطلحات الآتية:

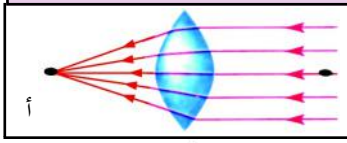
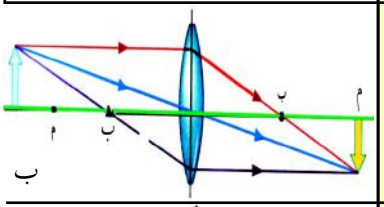
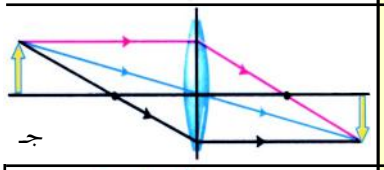
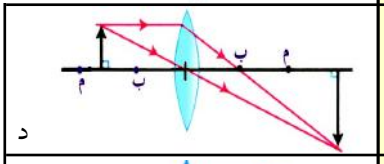
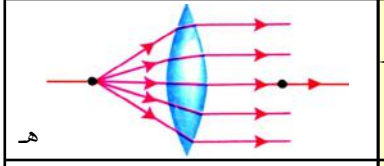
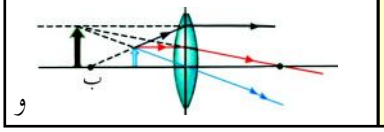
- **المركز البصري للعدسة (م)**: هو نقطة تقع في منتصف العدسة، فإذا مر به الشعاع الضوئي؛ فإنه لا ينكسر.
- **البؤرة الحقيقية**: هي النقطة (ب) التي تتجمع عندها الأشعة الموازية لمحور العدسة بعد انكسارها.
- **البؤرة التخيلية للعدسة المقعرة**: هي النقطة التي تتجمع عندها امتدادات الأشعة المنكسرة بعد سقوطها موازية لمحور العدسة.
- **البعد البؤري (ع)**: يقصد به البعد بين المركز البصري للعدسة، والبؤرة.
- **مركز تكور العدسة**: هي النقطة التي تمثل مركز الكرة التي اقتطعت منها العدسة، ويبعد عن المركز البصري مسافة تساوي ضعف طول البعد البؤري.
  ولكل عدسة مركزيْ تكوّر ولكل سطح مركز تكور.
- **محور العدسة**: هو الخط المستقيم الوهمي الذي يصل بين مركزي تكور سطحي العدسة ممتداً من الجهتين.

el-online.net

■ حالات تكون الصور في العدسة المحدبة (اللامة) :

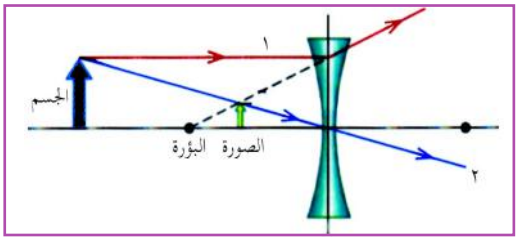
لاحظ حالات تكون الصور في العدسة المحدبة والتي يوضحها الجدول(٥) التالي :

جدول(٥)حالات تكون الصور في العدسة المحدبة

الحالة	موقع الجسم	موقع الصورة	صفات الصورة	الشكل الموضح للصورة
١	في مكان بعيد نسبياً (مالا نهاية)	في بؤرة العدسة	حقيقية مقلوبة، ومصغرة جداً	 أ
٢	أبعد من مركز التكور	بين البؤرة، ومركز التكور	حقيقة، مقلوبة مصغرة	 ب
٣	في مركز التكور	في مركز التكور للعدسة	حقيقية،مقلوبة، طولها يساوي طول الجسم	 جـ
٤	بين مركز التكور، وبؤرتها الأصلية	خلف مركز تكورها	حقيقية، مقلوبة، مكبرة	 د
٥	في البؤرة الأصلية للعدسة	في اللانهاية	صفاتها غير معروفة	 هـ
٦	بين قطب العدسة، وبؤرتها الأصلية	نفس الجهة التي بها الجسم	خيالية، معتدلة، مكبرة	 و

■ حالة تكون الصور في العدسة المقعرة (المفرقة) :

يلزم لتحديد موقع صورة لجسم يوضع أمام عدسة مفرقة، أن نسقط أشعة ضوئية من الجسم ماراً في العدسة. كما يوضحه الشكل (٢٢)، والأشعة الساقطة تأخذ أشكالاً هي :



شكل (٢٢)

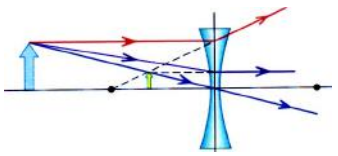
el-online.net

١- الشعاع رقم (١) الساقط على العدسة موازياً لمحورها؛ بحيث ينكسر ويمر امتداده بالبؤرة.

٢- الشعاع رقم (٢) الساقط بحيث يمر بالمركز البصري للعدسة، وهذا الشعاع لا ينكسر ونقطة تقاطع الشعاعين تكون هي رأس الصورة.

أما صفات الصورة المتكونة للجسم الموضوع أمام العدسة المقعرة يوضحه الجدول (٦).

جدول (٦) حالة تكون الصورة في العدسة المقعرة.

موقع الجسم	موقع الصورة	صفات الصورة	الشكل الموضح للصورة
ابعد من مركز التكور	في نفس جهة الجسم	خيالية، معتدلة مصغرة	

القانون العام للعدسات، والتكبير

مر معك في المرايا الكروية حالات تكون الصور للجسم الموضوع أمام مرآة، والقانون العام للمرايا الذي تم استنتاجه رياضياً ، وهونفسه ينطبق على العدسات، ويربط بين البعد البؤري للعدسة (ع) وبُعد الجسم عن مركز العدسة (س) وبُعد الصورة المتكونة للجسم عن المركز البصري للعدسة (ص)، وصورته كما يلي :

$$\frac{١}{ع} = \frac{١}{س} + \frac{١}{ص} \quad \ldots\ldots\ldots (١٦)$$

وهو القانون العام للعدسات.

أما قوة التكبير في العدسات، فهو يشابه قانون التكبير في المرايا الكروية كما يلي :

$$\frac{\text{بعد الصورة (ص)}}{\text{بعد الجسم (س)}} = \frac{\text{طول الصورة}}{\text{طول الجسم}} \quad ، \text{ أي أن :}$$

$$\frac{ص}{س} = \frac{ل'}{ل} \quad \ldots\ldots\ldots (١٧)$$

وهذا القانون يحكم التكبير في العدسات ويوضحه جدول (٧).

el-online.net

جدول (٧)

س < ٠	س > ٠	ص < ٠	ص > ٠	ت > ١	ت = ١	ت < ١	ت > ٠	ت < ٠
للجسم وجود حقيقي	للجسم وجود تقديري	الصورة حقيقية	الصورة تقديرية	الصورة مصغرة	الصورة = الجسم	الصورة مكبرة	الصورة معتدلة	الصورة مقلوبة

البعد البؤري (ع)

ع > صفر العدسة محدبة (لامة) .

ع < صفر العدسة مقعرة (مفرقة) .

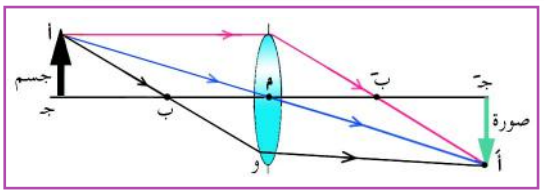
قاعدة الإشارات :

١- البعد البؤري يكون موجباً للعدسة المحدبة (اللامة)، وسالباً للعدسة المقعرة (المفرقة) .

٢- بعد الصورة : يكون موجباً للصورة الحقيقة، وسالباً للصورة الخيالية .

٣- بعد الجسم : يكون موجباً للأجسام الحقيقية، وسالباً للأجسام الخيالية مع العلم أن الصور الخيالية تعتبر أجساماً خيالية إذا استقبلت على عدسة أخرى .

النشاط (١١)



استعن بالشكل (٢٣)، ثم استنتج القانون العام للعدسات رياضياً، كما في حالة المرايا .

مثال (٥) : عدسة محدبة بعدها البؤري : (ع) = ٨سم .

أين يجب أن يوضع الجسم أمام العدسة، حتى تتكون للجسم صورة على النحو التالي :

أ – حقيقية مكبرة (٤) مرات . ب –خيالية مكبرة (٤) مرات أيضاً .

الحل :

∵ قانون التكبير في العدسات هو $\frac{\text{ل}'}{\text{ل}} = \frac{\text{ص}}{\text{س}} = ٤$

∴ ص = ٤ س ، بالتعويض في القانون العام كما يأتي :

$$\frac{١}{\text{س}} + \frac{١}{\text{ص}} = \frac{١}{\text{ع}}$$

el-online.net

$$\frac{١}{س} + \frac{١}{٤س} = \frac{١}{٨}$$

$$\frac{١+٤}{٤س} = \frac{١}{٨} \quad ، \quad \therefore \frac{٥}{٤س} = \frac{١}{٨} \quad ، \text{ ومنها } ٤س = ٤٠$$

∴ موضع الجسم أمام العدسة: (س) = ١٠ سم.

ب- أما عندما تكون الصورة خيالية، فإن:

$$\frac{١}{س} - \frac{١}{٤س} = \frac{١}{٨} \quad (\text{لأن الصورة خيالية})$$

$$\frac{١-٤}{٤س} = \frac{١}{٨} \quad \text{ومنها:} \quad \frac{١}{٨} = \frac{٣}{٤س}$$

∴ بعد الجسم (س) = $\frac{٢٤}{٤}$ = ٦ سم.

قوة العدسة:

تعتمد قوة العدسة على بعدها البؤري (ع)، وكلما قل البعد البؤري زادت قوة العدسة، ويعتمد البعد البؤري للعدسات على معامل الانكسار للمادة المصنوعة منها العدسة، وكذلك تحدب سطحها.

$$\text{قوة العدسة} = \frac{١}{(ع) \text{ مقاس بالمتر}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١٨)$$

ووحدة قياس قوة العدسة هي الديوبتر.

مثال (٦): عدسة مقعرة (مفرقة) بعدها البؤري (٢٠) سم، وضع جسم طوله (٣) سم يبعد عن مركز العدسة مسافة (٤٠) سم. أوجد بُعد الصورة، وطولها، وحالتها.

الحل:

$$\therefore \frac{١}{ع} = \frac{١}{س} + \frac{١}{ص} \quad ، \text{ وبما أن العدسة مفرقة؛ فإن ع} = -٢٠ \text{ سم}$$

$$\frac{١-}{٢٠} = \frac{١}{٤٠} + \frac{١}{ص} \quad \therefore \frac{١}{ص} = -\frac{١}{٢٠} - \frac{١}{٤٠} =$$

$$\therefore \frac{١}{ص} = \frac{١-٢-}{٤٠} = \frac{٣-}{٤٠} \quad \text{ومنها ص} = -١٣\frac{١}{٣} \text{ سم.}$$

el-online.net

بما أن قيمة : (ص) سالبة، فإن الصورة المتكونة تقديرية . ولمعرفة وضع الصورة .

ت = $\frac{\text{ل}'}{\text{ل}} = \frac{\text{ص}}{\text{س}}$. إذا : ت = $-\frac{٤٠}{٤٠ \times ٣} = -\frac{١}{٣}$

بما أن قيمة : (ت < صفر) فإن الصورة تكون معتدلة .

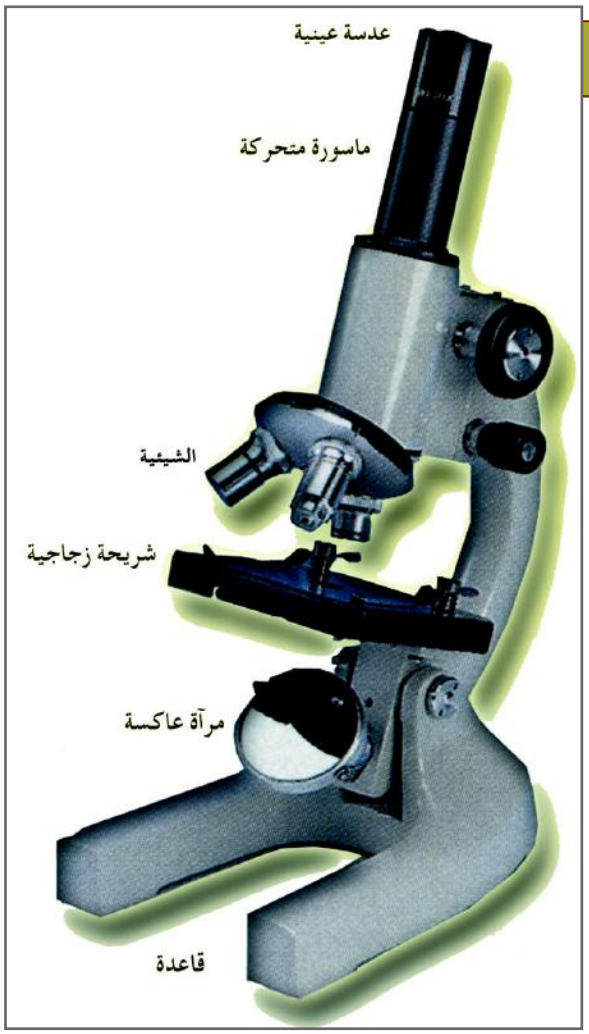
بما أن : ت = $\frac{١}{٣}$ ، ولأن قيمة ت <١ فالصورة تكون مصغرة

طول الصورة (ص) = التكبير × طول الجسم

= $\frac{١}{٣} \times ٣ = ١$سم

الأجهزة البصرية

يستفيد الإنسان من صناعة العدسات في مجالات شتى في حياته، وتدخل في صناعة آلات التصوير، والنظارات والأجهزة التي نراها في المحلات التجارية، وسوف نستعرض بعض الأجهزة البصرية، ومنها : الميكروسكوب المركب (المجهر)، والمنظار الفلكي : (التلسكوب) .



شكل (٢٤) الميكروسكوب

el-online.net

الميكروسكوب

النشاط (١٢)

حاول مع مجموعة من زملائك، التنسيق مع مدرس المادة، وإدارة المدرسة القيام بزيارة لإحدى المراكز الصحية، أو المستشفيات في المكان الذي تعيش فيه، وحاول، وزملاؤك أن تقدم الأسئلة الآتية لمختص المختبر :

- ما اسم الجهاز الذي يستخدم لرؤية الكائنات الحية الدقيقة التي تصيب الإنسان بالأمراض؟
- كيف يتم وضع العينة المراد فحصها من قبل طبيب المختبر؟
- ماذا يسمى الجزء الذي ينظر منه لرؤية الجسم الدقيق؟ وكيف تصدر الأشعة الضوئية للعينة المراد فحصها؟ وكيف تنعكس للعين؟ وما نوع العدسات فيه؟
- حاول كتابة الإجابة عن الأسئلة السابقة، وقم بإلقائها على زملائك في طابور الصباح، وكتابتها في المجلة العلمية الحائطية بعد عرضها على مدرسك؛ لتصحيحها.

طريقة عمل المجهر المركب (الميكروسكوب) :

يوضع الجسم المراد فحصه أمام العدسة الشيئية، وعلى بعد : (س١) من مركزها البصري، وتتكون له صورة حقيقية على بعد :(ص١). تقع هذه الصورة بين العدستين، وتعتبر الصورة المتكونة جسماً بالنسبة للعدسة الثانية :(العينية)، ويحدث تكبير للصورة مرة أخرى بواسطة العدسة العينية، ويحدث لها أكبر تكبير للصورة إذا تكونت الصورة الناتجة عن العدسة الشيئية على بعد يقل قليلاً عن البعد البؤري للعدسة العينية :(ع ع)، ويمكن الوصول إلى ذلك بواسطة تغيير البعد بين العدستين من خلال تغيير الماسورة المتحركة للمجهر.

ويتكون للصورة صورة خيالية مكبرة مئات المرات بواسطة العدسة العينية.

قوة تكبير المجهر المركب :

تعتمد قوة تكبيره على قوة كل من العدستين: الشيئية، والعينية، وتحسب من العلاقة الآتية :

قوة تكبير المجهر =قوة تكبير العدسة الشيئية X قوة تكبير العدسة العينية. .(١٩)

el-online.net

عندما تكون الصورة النهائية في مالا نهاية .

ويمكن كتابة العلاقة السابقة بالصورة الآتية :

$$\text{قوة التكبير : (ت)} = \frac{ص_{1}}{س_{1}} \times \frac{٢٥}{\text{البعد البؤري العدسة العينية (ع)}} \quad .....(٢٠)$$

حيث :

١- المقدار : (٢٥سم)، هو أقصر مدى للرؤية الواضحة للعين السليمة .

٢- (س١) : بعد الجسم المراد فحصه أمام العدسة الشيئية من مركزها البصري .

٣- (ص١) : بُعد الصورة المتكونة للجسم التي تقع بين العدستين (الشيئية والعينية) .

الزاوية البصرية ، وقوة التكبير :

النشاط (١٣)

لمعرفة معنى الزاوية البصرية، وقوة التكبير قم بالنشاط التالي :

١- اطلب من أحد زملائك أن يقف في آخر الفصل، وأنت في الطرف المقابل له .

٢- أغلق إحدى عينيك، وانظر إلى زميلك من خلال العين الأخرى .

٣- ضع أحد أصابعك على بعد(٥) سم تقريباً من عينك، وفي طريق الأشعة الضوئية المنعكسة من زميلك الواصلة إلى عينك . هل ترى كامل جسم زميلك؟

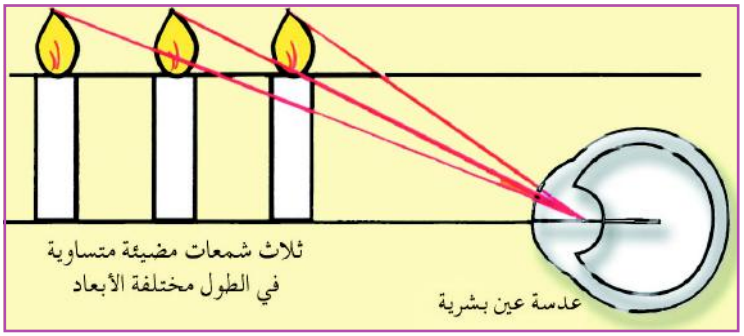
٤- قرب إصبعك إلى عينك . ماذا تلاحظ؟

لابد أنك لاحظت اختفاء زميلك عندما قربت إصبعك من عينك، هل هذا يعني أن حجم إصبعك أكبر من حجم جسم زميلك؟

ستكون الإجابة لا ، فسِّر سبب ذلك .

يمكن تفسير ذلك من المثال الموضح بالشكل (٢٥)، وهي ثلاثة شمعات متساوية في الطول، ومختلفة في بعدها عن المركز البصري لعدسة العين، وتصنع كل شمعة زاوية مع المركز البصري لعدسة العين تكبر كلما اقترب الجسم من المركز البصري لعدسة العين، وبالتالي تكبر صورة الشمعة في العين .

el-online.net



شكل (٢٥) .

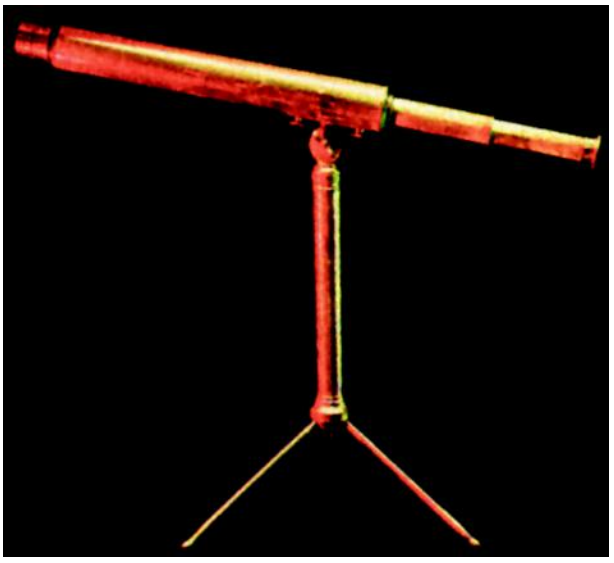
وهذه الزاوية يطلق عليها اسم «الزاوية البصرية»، وتعرَّف بأنها: **«الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط من الجسم، والمركز البصري لعدسة العين»**.

ونستنتج مما سبق أنه لكي يزداد الجسم وضوحاً للعين يلزم تقريبه من العين حتى تزداد الزاوية البصرية، وبذلك يزداد حجم الجسم.

المنظار الفلكي (التلسكوب)

لعلك سمعت أن العلماء استطاعوا رؤية الأجسام البعيدة عن أرضنا كالكواكب، والنجوم في الفضاء. ما اسم الجهاز الذي يستخدم لرؤية ذلك؟

■ تركيب المنظار الفلكي:



شكل: (٢٦) .

نعرف أن هذا الجهاز يستخدم لرؤية الأجسام البعيدة التي لا تراها العين المجردة بوضوح بسبب بعدها الكبير عنا، مثل: الكواكب، والنجوم، وغيرها، ويتركب من:

١- عدسة بعدها البؤري صغير نسبياً ويطلق عليها العدسة العينية.

el-online.net

٢- عدسة بعدها البؤري كبير نسبياً، مقارنة مع البعد البؤري للعدسة العينية، وتسمى بالعدسة الشيئية؛ لأنها تقع في مواجهة الجسم المراد رؤيته.

٣ - أنبوبة مركبة قابلة للتعديل.

طريقة عمله:

يوجه الجهاز إلى الجسم المراد مشاهدته في الفضاء، والأشعة الساقطة منه للجهاز تكون متوازية بسبب بعدها عن الجسم، وتتكون صورة حقيقية مقلوبة مصغرة للجسم عند بؤرة العدسة الشيئية، وتعد هذه الصورة جسماً بالنسبة للعدسة العينية، وعند تغيير البعد بين العدستين (طول انبوبة التلسكوب المتحركة)؛ بحيث تقع تلك الصورة على بعد أقل بقليل من البعد البؤري للعدسة العينية تتكون للجسم صورة خيالية في اللانهاية.

قوة تكبير المنظار الفلكي (التلسكوب):

تعتمد قوة تكبيره على قوة تكبير كل من:

العدسة العينية، والعدسة الشيئية، والعلاقة التالية تستخدم لتعيين قوة التكبير له:

قوة تكبير المنظار $(ت) = \dfrac{\text{البعد البؤري للعدسة الشيئية}}{\text{البعد البؤري للعدسة العينية}}$ ..... (٢١)

وطول الماسورة المتحركة للمنظار يحسب من العلاقة،

(ل) = البعد البؤري للعدسة الشيئية + البعد البؤري للعدسة العينية.

مثال(٧): تلسكوب البعد البؤري لعدسته الشيئية (١٠٠) سم، والبعد البؤري لعدسته العينية (٥) سم، ما قوة تكبيره. وما طول ماسورته المتحركة؟

الحل: قوة تكبيره (ق) $= \dfrac{\text{(ع) للعدسة الشيئية}}{\text{(ع) للعدسة العينية}} = \dfrac{١٠٠}{٥} = ٢٠$ مرة.

طول ماسورته المتحركة (ل) = ١٠٠ + ٥ = ١٠٥ سم.

el-online.net

تقويم الوحدة

أجب عن جميع الأسئلة الآتية:

١- أكمل الفراغات التالية بما يناسبها من كلمات:

أ – ينتشر الضوء في .....، وسرعته تصل حوالي: ..... م/ث.

ب– تكوُّن ظلال للأجسام التي تسقط عليها الأشعة الضوئية يدل على أن الضوء .....في ..... مستقيمة، وانعكاس الضوء الساقط على الأجسام اللامعة، يدل على أن الضوء عبارة عن ..... مادية لها كتلة، وطاقة حركة.

جـ– اعتقد نيوتن من خلال أبحاثه أن الضوء عبارة عن ..... مادية، بينما هيجنز توصل إلى أن الضوء يسلك سلوك: .....

د – أمكن تحليل الضوء الأبيض إلى عدة ألوان هي اللون البنفسجي و..... و..... و ..... و..... و..... و ..... وهذا يدل على أن الضوء الأبيض عبارة عن ضوء ..... .

٢- ضع علامة: (√) أمام الفقرة الصحيحة، وعلامة: (X) أمام الفقرة الخطأ فيما يأتي:

أ – اللون الطيفي الأزرق لا يمكن تحليله إلى ألوان أخرى ( ).

ب– توصل العلماء في بحثهم لمعرفة سلوك الضوء بأن له طبيعة جسيمية فقط( ).

جـ– الأشعة المرئية التي تصلنا من ضوء الشمس كميتها أكبر من الأشعة غير المرئية ( ).

د – وحدة قياس شدة الاستضاءة هي النيوتن ( ).

هـ – المصدر الضوئي المتكون من جسم أسود مثالي مساحته (٦×١٠^{-٥}) $م^{٢}$ تحت درجة حرارة تجمد البلاتين، وتحت الضغط الجوي المعياري يسمى «الشمعة» ( ).

٣- اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المحتملة للفقرات الآتية:

أ – عندما يسقط الشعاع الضوئي المرئي على لوح زجاجي أحمر؛ فإن اللوح:

– يضيف للشعاع لون أحمر. – يمتص كل الألوان عدا الأحمر.

– يمتص من الشعاع اللون الأحمر. – لا يوجد إجابة صحيحة.

ب– يمكننا الحصول على شعاع ضوئي أحادي اللون، وذلك بتعريض المرشحات الضوئية إلى:

– (حرارة الأشعة). – (سقوط الأشعة الضوئية عليها). – (لا شيء مما ذكر).

el-online.net

جـ – الأجسام الشفافة هي الأجسام التي تسمح بنفاذ :

– (جزء من الضوء) . – (كل الأشعة الضوئية) . – (الأشعة غير المرئية فقط) .

د – إذا تعرضت ثلاثة أجسام أحدها أسود، وآخر لونه أبيض، وآخر شفاف؛ فإن الجسم الذي ترتفع درجة حرارته بشكل أكبر هو :

– (الأبيض) . – (الأسود) . – (الشفاف) .

هـ – إذا تعرض الجسم الأسود لأشعة الشمس فإنه :

– (يعكس الأشعة الساقطة عليه) . – (يمتص الأشعة الساقطة عليه) .

و – زاوية سقوط الشعاع الضوئي الساقط على جسم مصقول تساوي زاوية الانعكاس له، هذا القانون يطلق عليه :

– (القانون الثاني في الانكسار) – (القانون الثاني في الانعكاس)

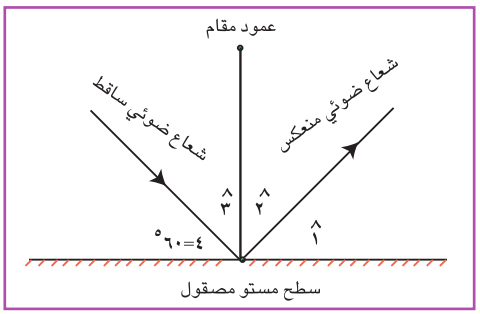
– (القانون الأول في الانكسار) .

٤ – استخدم الأشكال (٢٧ ، ٢٨) وأجب عما يلي :

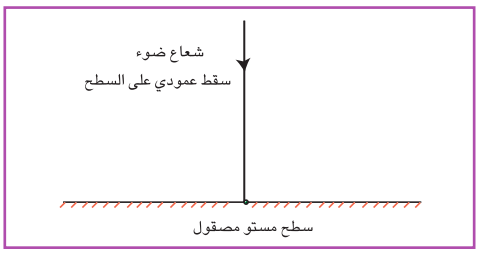
أ – (احسب قيمة الزوايا (١ ، ٢ ، ٣) علماً بأن الزاوية ٤ = ٦٠°) .

– (ماذا تستنتج من ذلك ؟)

ب – حدد اتجاه الشعاع المنعكس في الشكل : (٢٨) .



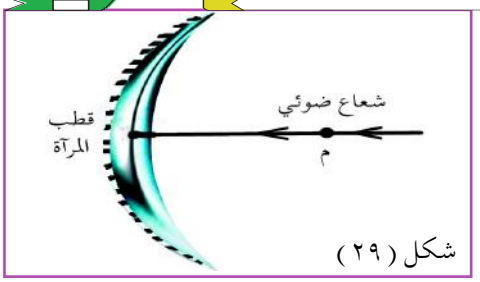
شكل (٢٧)



شكل (٢٨)

el-online.net

جـ – سقط شعاع ضوئي على مرآة مقعرة مارٍ بمركزها، ووصل إلى قطبها، كما في الشكل (٣٠) والمطلوب : تحديد اتجاه انعكاسه .



شكل (٢٩)

٥– كيف يمكنك إثبات القانون العام للمرايا الكروية، وقانون التكبير بطريقة رياضية موضحاً إجابتك بالرسم .

٦– اشرح تجربة عملية لتعيين معامل الانكسار باستخدام متوازي المستطيلات الزجاجي .

٧– ما المقصود بكل من :

– معامل الانكسار النسبي – معامل الانكسار المطلق – الشعاع المنعكس عن السطح العاكس – عمود الانعكاس – زاوية السقوط – زاوية الانعكاس .

– قوة التكبير في كل من المرايا الكروية والعدسة المحدبة – البعد البؤري لكل من العدسة والمرآة – ألوان الطيف الشمسي – محور العدسة –

– بؤرة العدسة المحدبة – الزاوية البصرية؟

٨– لماذا سميت العدسة المحدبة بالعدسة اللامة، والمرايا المحدبة بالمفرقة؟

٩– كيف يستخدم الميكروسكوب المركب في فحص عينة لاكتشاف الكائنات الحية الصغيرة جداً التي تسبب للإنسان أمراضاً مختلفة؟ .

١٠ – ما فائدة كل – مما يأتي – في حياتنا :

– العدسات – المرايا المحدبة والمقعرة – التلسكوب الفلكي؟

١١– وضح مع الرسم سبب رؤيتنا للأجسام البعيدة مصغرة، والقريبة مكبرة .

١٢– ما الفرق بين البؤرة الأصلية الحقيقية،والبؤرة الأصلية التقديرية موضحاً ذلك بالرسم؟

١٣– مرآة مقعرة بعدها البؤري (٢٥)سم، أوجد بُعد الصورة المتكونة، وصفاتها إذا كان الجسم موضوع أمامها ومتعامداً مع محورها الرئيس، ويبعد عنها :

أ) ٧٥سم ، ب) ٥٠سم ، جـ) ٣٧,٥سم، د) ١٨,٧٥سم .

el-online.net

١٤- مرآة محدبة بعدها البؤري (٣٠)سم، يبعد الجسم عنها (٢٠)سم، أوجد بعد الصورة عنها، وحدد صفاتها.

١٥- سقط شعاع ضوئي من وسط إلى آخر، وكانت زاوية سقوطه (٦٠ْ)، وزاوية الانكسار (٣٠ْ) .احسب معامل الانكسار من الوسط الأول إلى الثاني.

١٦- سقط شعاع ضوئي على منشور ثلاثي مقطعه متساوي الأضلاع بزاوية سقوط (٣٠ْ) عيِّن زاوية انحراف هذا الشعاع في المنشور علماً بأن معامل انكسار مادة المنشور الزجاجي $\frac{٣}{٢}$.

١٧- عدسة لامة بعدها البؤري (١٠)سم. احسب بعد الصورة عنها، وصفاتها لجسم وضع أمامها متعامداً مع محورها الرئيس، ويبعد عنها كما يلي:

أ- ٣٠سم. ب- ٢٠سم. جـ- ١٥سم. د- ٧,٥سم.

١٨- عدسة محدبة الوجهين بعدها البؤري (١٠)سم، استخدمت للحصول على صورة معتدلة لجسم، وكان طول الصورة قدر طول الجسم مرتين، أوجد بعد الجسم من العدسة .

١٩- وضع جسم على بعد (٥٠)سم من عدسة، وتكونت له صورة حقيقية مكبرة ثلاث مرات، ما نوع العدسة؟ وما قوتها؟ وما بعد الصورة عنها؟

٢٠- مجهر مركب (ميكروسكوب)، البعد البؤري لشيئيته (١)سم، والبعد البؤري لعينيته (٥)سم، وضع جسم على بعد (١,١)سم من العدسة الشيئية، احسب قوة تكبيره. اعتبر أن الصورة المتكونة النهائية في اللانهاية.

(الصورة مكبرة ٥ مرات، ق للميكروسكوب ٥٠ مرة).

٢١- منظار فلكي البعد البؤري للعدسة الشيئية له (١٠٠)سم، والبعد البؤري لعدسته العينية (٥)سم، احسب قوة تكبيره، وطول ماسورته المتحركة علماً بأن الصورة النهائية تقع في اللانهاية.

el-online.net

الوحدة السادسة

الديناميكا الحرارية
Thermodynamics

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد دراسته لهذه الوحدة أن يكون قادراً على أن:

١- يُعرِّف كل من: الديناميكا الحرارية، والنظام الديناميكي الحراري، والعملية الديناميكية الحرارية، والعملية العكوسة، والعملية اللاعكوسة.

٢- يميز بين كل من العمليات الآتية:

- العملية ثابتة درجة الحرارة (الإيزوثرمية)، والعملية ثابتة الضغط (الإيزوبارية)، والعملية ثابتة الحجم (الإيزوكورية)، والعملية الكظمية (الأديباتيكية).
- العملية العكوسة، والعملية اللاعكوسة.

٣- يوجد الشغل الميكانيكي في العمليات الديناميكية الحرارية بيانياً، وجبرياً بدلالة حجم النظام، وضغطه.

٤- يتعرف على العلاقات الرياضية التي تربط بين الشغل، والحجم، والضغط، والطاقة الداخلية للنظام الديناميكي الحراري في العمليات الديناميكية الحرارية.

٥- يذكر نص القانون الأول للديناميكا الحرارية.

٦- يصف العلاقة الرياضية للقانون الأول في الديناميكا الحرارية، التي تربط بين كمية الحرارة، والطاقة الداخلية للنظام، والشغل.

٧- يطبق القانون الأول للديناميكا الحرارية على العمليات الديناميكية الحرارية.

el-online.net

٨ – يحل مسائل تطبيقية على الشغل في العمليات الديناميكية الحرارية، وعلى القانون الأول.

٩ – يقدر جهود العلماء في مجال استغلال الطاقة الحرارية للحصول على الشغل الميكانيكي.

١٠– يكتب بحثاً مبسطاً يتعلق بإمكانية تحويل الشغل الميكانيكي إلى طاقة حرارية.

الديناميكا الحرارية (Thermodynamics)

كان علم الديناميكا الحرارية، مَعْلَماً هاماً من معالم التطور التكنولوجي، كما كان سبباً بارزاً من أسباب الثورة الصناعية في القرن التاسع عشر.. فماذا يقصد بعلم الديناميكا الحرارية؟ وما المصطلحات، والمفاهيم، والمبادئ، والقوانين العلمية المتعلقة به؟

بعض المصطلحات، والمفاهيم وتعاريفها:

- **الديناميكا الحرارية** (Thermodynamics) :

هو علم فيزيائي تجريبي، يهتم بدراسة العلاقة بين الطاقة الحرارية (Heat Energy)، والشغل الميكانيكي (Mechanical Work)، ضمن أنظمة ديناميكية حرارية (Thermodynamics systems)، وجميع قوانينه مستنبطة من التجارب العملية، والمشاهدات، والظواهر الطبيعية.

- **النظام الديناميكي الحراري** (Thermodynamicssystem) :

هو عبارة عن كمية معينة من مادة قد تكون صلبة أو سائلة أو غازية محصورة، ومعزولة عن الوسط الخارجي المحيط بها، وذلك بوضعها في أسطوانة مزودة بمكبس (Piston)، وقد يطلق على النظام الديناميكي الحراري اسم (المجموعة الديناميكية الحرارية) ويمكن أن يمتلك النظام حدود واضحة مثل المائع داخل الإناء أو حدود وهمية مثل السائل الذي يجري داخل أنبوب. وقد يكون نظاماً مفتوحاً، ويسمى عندئذٍ بالنظام المفتوح، أو نظاماً مغلقاً ويسمى بالنظام المغلق، أو معزولاً ويسمى عند ذلك بالنظام المعزول.

- **النظام المفتوح** (Open system) :

وهو النظام الذي يسمح بتبادل المادة والطاقة مع الوسط الخارجي المحيط به، وغالباً ما تكون كتلة المادة داخل هذا النظام غير ثابتة، إلاّ في حالة السريان المستقر، مثل وجود كمية من الماء في قارورة غير مغطاة.

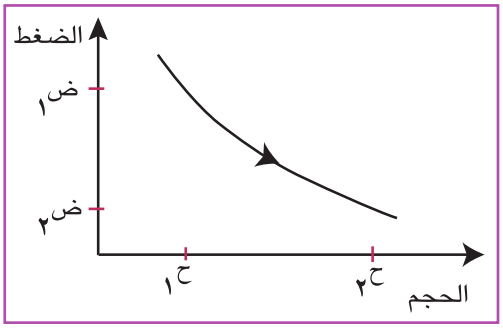
el-online.net

- **النظام المغلق** (Closed system) : هو النظام الذي لا يسمح بتبادل المادة مع الوسط الخارجي المحيط به، ولكنه يسمح بتبادل الشغل والحرارة، وتكون كتلة المادة في هذا النظام ثابتة، مثل وجود كمية من الماء في قارورة مغلقة (مغطاة) .
- **النظام المعزول** (Isolated system) : هو النظام الذي لا يسمح بتبادل كل من المادة والطاقة (الشغل والحرارة) مع الوسط الخارجي المحيط به، مثل حفظ الماء الساخن في إناء مغلق ومعزول حرارياً (الترموس) .

العمليات الديناميكية الحرارية Thermodynamics Processes

إن لكل نظام ديناميكي حراري كميات فيزيائية يتصف بها، وهي : الحجم، والضغط، ودرجة الحرارة، والطاقة الداخلية، وكمية الحرارة، والشغل . . وأن أي تغير يحدث في بعض هذه الكميات، أو جميعها، بسبب اكتسابه، أو فقده حرارة، أو شغل؛ يقال عنه : أن هناك عملية ديناميكية حرارية حدثت على النظام فغيرت حالته، ومن العمليات التي يمكن أن تحدث (أو تتم) على النظام ما يأتي :

العملية ثابتة درجة الحرارة : Isothermal Process



شكل (١)

أُنظر إلى الشكل (١) والذي يبين حدوث عملية ديناميكية حرارية تتغير فيها كميتان من كميات النظام عند ثبوت درجة حرارته .

– ما الكميتان اللتان حدث فيهما تغير؛ بحيث انتقل النظام من حالة إلى أخرى؟

وكمثال على ذلك عندما تُغلق منفذ الهواء في منفاخ الدراجة وتضغط على المكبس إلى أقصى حد ممكن وتنتظر حتى تتساوى درجة حرارة النظام (الهواء داخل الاسطوانة) مع درجة حرارة الهواء في الخارج ثم تترك مقبض المكبس تلاحظ عودة المكبس إلى وضعه الطبيعي، أي زاد الحجم وقل الضغط مع بقاء درجة الحرارة ثابتة .

اعتماداً على اتجاه السهم الموضح في الشكل (١)، حدّد الحالة الأولى، والحالة الثانية للنظام بدلالة الحجم، والضغط .

el-online.net

– ما نوع العلاقة التناسبية بين كلٍّ من الحجم، والضغط عند ثبوت درجة حرارة النظام؟ هل هي طردية، أم عكسية؟ أعط تعريفاً لهذه العملية.

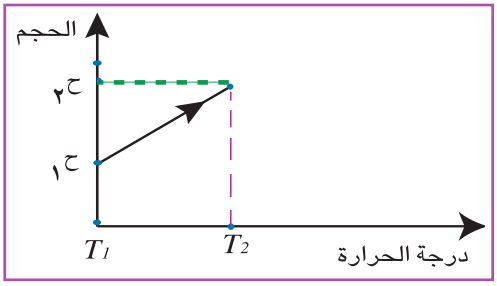
عند إمعانك النظر إلى الرسم البياني في الشكل (١)، ستجد أن الكميتين اللتين حدث فيهما تغير هما: الحجم (ح) والضغط (ض)، وأن النظام انتقل من الحالة الأولى (ح١ ، ض١)؛ حيث الضغط مرتفع (ض١)، والحجم يساوي (ح١)، إلى الحالة الثانية (ح٢ ،ض٢)؛ حيث الضغط قلّ، وأصبح (ض٢)، والحجم زاد، وأصبح يساوي ح٢، كما يتبين من الشكل(١) أن العلاقة بين الحجم، والضغط تناسبية عكسية، أي: أنه إذا قلّ الضغط زاد الحجم، وإذا زاد الضغط قلَّ الحجم عند ثبوت درجة حرارة النظام.

إن العملية الديناميكية الحرارية التي تحدث على النظام بحيث يتغير خلالها ضغطه بتغيرحجمه، عند ثبوت درجة حرارته، تسمى: (العملية ثابتة درجة الحرارة).

مثل: كلا من آلات الاحتراق الداخلي وآلات التبريد المزودة بنظام تبريد يجعل درجة حرارتها ثابتة ، وكذلك منفاخ (مكبس) الهواء .

العملية ثابتة الضغط : Isobaric Process

أُنظر الشكل(٢)، والذي يبين حدوث عملية ديناميكية حرارية تتغير خلالها كميتان من كميات النظام عند ثبوت ضغطه، ما الكميتان اللتان حدث فيهما التغير بحيث انتقل النظام من حالة إلى أخرى؟



الشكل (٢)

اعتماداً على اتجاه السهم الموضح في الشكل (٢). حدد الحالة التي انتقل منها النظام، وكذلك الحالة التي انتقل إليها بدلالة درجة الحرارة والحجم.

– ما نوع العلاقة التناسبية بين كل من درجة حرارة النظام، وحجمه عند ثبوت ضغطه؟ هل هي طردية أم عكسية؟

– أعط تعريفاً لهذه العملية.

إن الرسم البياني في الشكل(٢)، يبين أن الكميتين اللتين حدث فيهما التغير هما حجم النظام (ح)، ودرجة حرارته (T)؛ بحيث انتقل النظام من الحالة (T_1، ح١) حيث درجة الحرارة منخفضة، والحجم أقل إلى الحالة (T_2، ح٢)؛ حيث درجة الحرارة مرتفعة، والحجم أكبر. كما يبين الشكل(٢) أن العلاقة بين درجة حرارة النظام

el-online.net

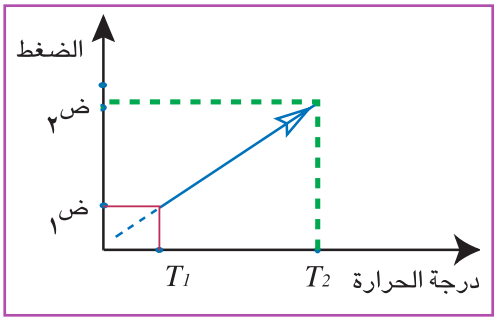
وحجمه علاقة تناسبية طردية، وأن العملية التي يحدث فيها تغير حجم النظام بتغير درجة حرارته عند ثبوت ضغطه تعرف بالعملية (ثابتة الضغط) .

مثال ذلك عندما نحصر كمية من الهواء داخل إناء ونضع مكبس خفيف الوزن فوق الهواء ثم نسخن الإناء نلاحظ عند ارتفاع درجة الحرارة يرتفع المكبس نحو الأعلى أي يزداد الحجم عند ارتفاع درجة الحرارة مع بقاء الضغط ثابت (وهو الضغط الجوي الخارجي المؤثر على ضغط المكبس) . مثل تمدد الأجسام الصلبة والسائلة والغازية .

العملية ثابتة الحجم : Iso choric Process

أُنظر إلى الشكل (٣) الذي يبين حدوث عملية ديناميكية حرارية، تتغير خلالها كميتان من كميات النظام عند ثبوت حجمه . ما هما هاتان الكميتان؟

اعتماداً على اتجاه السهم الموضح على الخط البياني في هذا الشكل حدّد الحالة الابتدائية، والحالة النهائية التي وصل إليها النظام بدلالة كل من درجة حرارة النظام، وضغطه .



الشكل (٣)

ما نوع العلاقة التناسبية بين كل من درجة الحرارة والضغط–هل هي طردية أم عكسية؟ أعط تعريفاً لهذه العملية .

من خلال الرسم البياني في الشكل (٣) يتبين لنا أن الكميتين اللتين حدث فيهما التغير هما درجة حرارة النظام (T)، وضغطه (ض)؛ بحيث انتقل النظام من الحالة الابتدائية له (T_1 ،ض١) التي فيها درجة الحرارة منخفضة، والضغط منخفض، إلى الحالة النهائية للنظام (T_2 ،ض٢) والتي فيها درجة الحرارة مرتفعة، وكذلك الضغط مرتفع . وهذا يوضح أنه كلما زادت درجة حرارة النظام زاد ضغطه، والعكس صحيح وذلك عند ثبوت حجم النظام، أي أن العلاقة بين درجة الحرارة، والضغط علاقة تناسبية طردية .

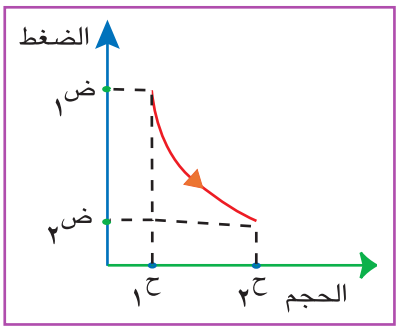
إن العملية الديناميكية الحرارية التي يحدث فيها تغير كل من درجة الحرارة، والضغط عند ثبوت حجم النظام تعرف بالعملية ثابتة الحجم .

el-online.net

مثل تسخين الطنجرة المغطاه ففيها يكون الحجم ثابت بينما الضغط ودرجة الحرارة يتغيران .

العملية الكظمية : Adiabatic Process

إن العملية الديناميكية الحرارية التي تحدث على نظام ديناميكي حراري معزول عزلاً حرارياً عن الوسط الخارجي المحيط به (أي عن الأجسام المحيطة به)؛ بحيث يتغير فيها كل من حجم النظام، وضغطه دون حدوث تبادل حراري بين النظام والوسط المحيط به- انظر إلى الشكل(٤) . . تسمى بالعملية الأديبايتكية (الكظمية)، وهي تتم بسرعة كبيرة جداً .



شكل (٤)

مثل ضغط مكبس هواء بسرعة وعودة المكبس إلى نفس الوضع السابق بعد زوال الضغط المؤثر فيه .

اعتماد على اتجاه السهم على الخط البياني في هذا الشكل حددّ الحالة الابتدائية، والحالة النهائية للنظام، وبين نوع العلاقة بين الحجم، والضغط لهذا النظام .

الشغل في العمليات الديناميكية الحرارية :

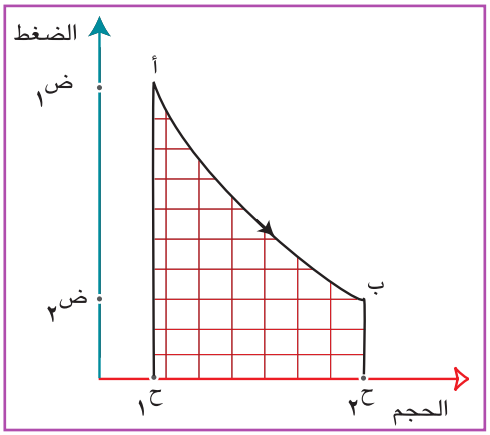
لكي تتمكن من إيجاد الشغل في العمليات الديناميكية الحرارية بيانياً، وجبرياً . اتبع ما يلي : افترض أن لديك نظام ديناميكي حراري غازي، (أي : كمية من غاز محبوس في اسطوانة مزودة بمكبس قابل للحركة)، وأن هذا النظام قد انتقل من حالة إلى حالة أخرى نتيجة حدوث عملية من العمليات الديناميكية الحرارية .

- عيّن قيم كل من حجم النظام، وضغطه خلال مسار النظام (Path system) (من الحالة الابتدائية حتى الحالة النهائية) .
- ارسم العلاقة البيانية بين حجم النظام (الغاز)، وضغطه؛ بحيث يكون المحور الأفقي (السيني) ممثلاً للحجم، والمحور الرأسي (الصادي) ممثلاً للضغط .
- ظلل المساحة المحصورة بين الخط البياني، والمحور الأفقي الذي يمثل الحجم، ستجد أن مقدار المساحة التي ستحصل عليها يساوي مقدار الشغل المبذول لإحداث هذا الانتقال، أو التغير، وسنستعرض فيما يأتي إيجاد الشغل في العمليات الديناميكية الحرارية بيانياً، وجبرياً كلّ على حدة :

el-online.net

أولاً – بيانياً (Graphically) :

تمعن النظر في الرسم البياني في الشكل (١)، الذي يبين تحول النظام (تغيره) في العملية ثابتة درجة الحرارة، فإذا ظلّلت المساحة المحصورة بين الخط البياني، والمحور الأفقي الذي يمثل حجم النظام بين (ح١ وح٢) فإنك ستحصل على المساحة المظللة، والموضحة في الشكل (٥).



شكل (٥).

إن مقدار هذه المساحة = مقدار الشغل المبذول لإحداث هذا الانتقال أو التغير في حالة النظام في هذه العملية. إن الشغل الذي يقوم به النظام يقدر بالسطح المحصور بين المنحنى (أ ب) الممثل للعملية ثابتة درجة الحرارة ومحور الحجوم.

ثانيا – جبريا : (By Algebraic Equation)

أما إذا أردت أن تحسب مقدار الشغل في هذا العملية جبرياً بدلالة حجم ، وضغط النظام؛ فإنه يمكنك استخدام إحدى العلاقتين الرياضيتين:

$$\text{شغ} = \text{ح}_1 \times \text{ض}_1 \left(\frac{\text{ح}_2}{\text{ح}_1} \text{ لو}_e \right) \quad \ldots\ldots\ldots (١)$$

أو :

$$\text{شغ} = \text{ح}_1 \times \text{ض}_1 \left(\frac{\text{ح}_2}{\text{ح}_1} \text{ لو } ٢,٣٠٣ \right) \quad \ldots\ldots\ldots (٢)$$

حيث (لو_e) هو اللوغارتم الطبيعي، ويمكن إيجاده باستخدام الآلة الحاسبة العلمية ورمزه عليها ln ، و (لو) هو اللوغارتم العشري، ويمكن إيجاده إما باستخدام الآلة الحاسبة، ورمزه عليها (Log)، أو باستخدام الجداول الرياضية.

el-online.net

اطلب من معلمك أن يوضح لك طريقة إيجاد (لو_e)، و (لو) باستخدام الجداول الرياضية، وكذلك باستخدام الآلة الحاسبة.

وحيث أن النسبة بين (لو_e) و (لو) للمقدار الواحد = $\frac{٢٣٠٣}{١٠٠٠}$ تقريباً

أي أن : $\frac{\text{لو}_e}{\text{لو}} = \frac{٢٣٠٣}{١٠٠٠}$ تقريباً ،

$\therefore \ \text{لو}_e = \frac{٢٣٠٣}{١٠٠٠}$ لو أو $\text{لو}_e = ٢٫٣٠٣$ لو .

ملاحظة : $\frac{\text{لو}_{١٠}\text{س}}{\text{لو س}} = \frac{٢٣٠٣}{١٠٠٠}$

س = عدد معين

وبما أن قانون بويل هو ($\text{ح}_١ \times \text{ض}_١ = \text{ح}_٢ \times \text{ض}_٢$) ، ومنه $\frac{\text{ح}_٢}{\text{ح}_١} = \frac{\text{ض}_١}{\text{ض}_٢}$.

وبالتعويض عن هذا المقدار في العلاقتين (١) ، (٢) نحصل على أن :

$$\text{شغ} = \text{ح}_١ \times \text{ض}_١ \left(\text{لو}_e \frac{\text{ض}_١}{\text{ض}_٢} \right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٣)$$

أو

$$\text{شغ} = \text{ح}_١ \times \text{ض}_١ \left(٢٫٣٠٣ \ \text{لو} \frac{\text{ض}_١}{\text{ض}_٢} \right) \quad \ldots\ldots\ldots (٤)$$

وهاتان المعادلتان تمثلان صيغة أخرى لحساب الشغل في العملية ثابتة درجة الحرارة.

مثال (١) : تحتوي أسطوانة بها مكبس على غاز حجمه (٠٫٢٥ م^٣)، عند ضغط يساوي (١٠^٦ نيوتن/م^٢)، تمدد ببطء، وأصبح حجمه (١ م^٣)، فإذا كانت درجة حرارته خلال هذا التغير أو (التحول) ثابتة، فاحسب الشغل المبذول.

الحل : بما أن هذا التحول حدث عند درجة حرارة ثابتة – فإن هذه العملية هي عملية ثابتة درجة الحرارة.

$\text{شغ} = \text{ح}_١ \times \text{ض}_١ \left(\text{لو}_e \frac{\text{ح}_٢}{\text{ح}_١} \right)$ ، $\therefore$ شغ $= ٠٫٢٥ \times ١٠^٦ \left(\text{لو}_e \frac{١}{٠٫٢٥} \right)$

ولإيجاد قيمة المقدار $\left(\text{لو}_e \frac{١}{٠٫٢٥} \right)$ باستخدام الآلة الحاسبة اتبع ما يأتي :

- توجد قيمة $\frac{١}{٠٫٢٥}$ والذي يساوي (٤) فتكون العلاقة السابقة

$\text{شغ} = ٠٫٢٥ \times ١٠^٦ \left(\text{لو}_e ٤ \right)$

- اضغط على الرقم [4] ثم اضغط على الزر (Ln) فينتج لديك الرقم ١٫٣٨٦

el-online.net

فيكون $_{e}$لو٤ = ١,٣٨٦ فتصبح العلاقة السابقة :

شغ = ٠,٢٥ × ١٠^{٦} × ١,٣٨٦ = ٠,٣٤٦٥ × ١٠^{٦} = ٣٤٦٥ × ١٠^{٢} جول،

أو باستخدام العلاقة الآتية :

شغ = ح$_{١}$ × ض$_{١}$ (٢,٣٠٣ لو $\frac{ح_{٢}}{ح_{١}}$) .

∴ شغ = ح$_{١}$ × ض$_{١}$ (٢,٣٠٣ لو $\frac{١}{٠,٢٥}$) .

ولإيجاد قيمة المقدار (٢,٣٠٣ لو $\frac{١}{٠,٢٥}$) باستخدام الآلة الحاسبة اتبع ما يأتي :

- توجد قيمة $\frac{١}{٠,٢٥}$ والذي يساوي ٤ فتكون العلاقة السابقة :

شغ = ح$_{١}$ × ض$_{١}$ (٢,٣٠٣ لو٤)

- أوجد قيمة لو٤ وذلك بضغط الرقم 4 ، ثم بضغط الزر (Log) فينتج لديك الرقم (٠,٦٠٢١) الذي هو قيمة (لو٤) .
- اضرب الرقمين (٢,٣٠٣ × ٠,٦٠٢١) ينتج لديك (١,٣٨٦) تقريباً فتصبح العلاقة السابقة : شغ = ح$_{١}$ × ض$_{١}$ × ١,٣٨٦ ،

وبالتعويض عن قيم (ح$_{١}$)، و(ض$_{١}$)؛ تحصل على

شغ = ٠,٢٥ × ١٠^{٦} × ١,٣٨٦ × ٣٤٦٥ × ١٠^{٢} جول، وهي النتيجة السابقة نفسها .

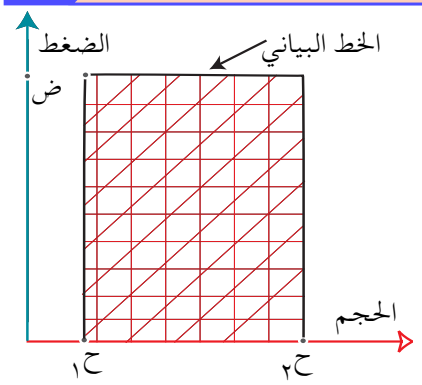
- حاول أن تحل هذا المثال باستخدام إحدى العلاقتين الآتيتين :

شغ = ح$_{١}$ × ض$_{١}$ ($_{e}$لو $\frac{ض_{١}}{ض_{٢}}$) ، أو شغ = ح$_{١}$ × ض$_{١}$ (٢,٣٠٣ لو $\frac{ض_{١}}{ض_{٢}}$)

الشغل في العملية ثابتة الضغط : Work in Isobaric process

أولاً- بيانياً :

بما أن التغير في حالة النظام، أو انتقاله من حالة إلى أخرى يتم في هذه العملية عند ضغط ثابت ولكن حجم النظام يتغير من ح$_{١}$ إلى ح$_{٢}$ ، فإذا رسمنا العلاقة البيانية بين الحجم والضغط في هذه العملية؛ سنحصل على الخط البياني الموضح في الشكل (٦) .



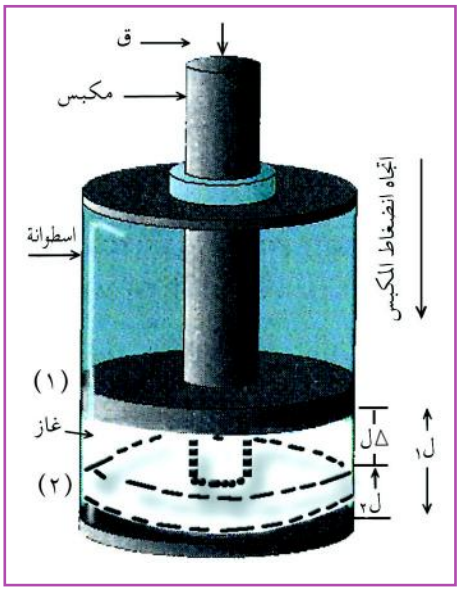
شكل (٦)

el-online.net

ولإيجاد الشغل في هذه العملية بيانياً ، ظلل المساحة المحصورة بين الخط البياني، والمحور الأفقي الذي يمثل مقدار التغير في الحجم ، فيكون الشغل (شغ) = مقدار المساحة المظللة الموضحة في الشكل (٦) .

ثانياً – جبرياً :

لكي تتمكن من استنتاج العلاقة الرياضية التي ستستخدمها لحساب الشغل جبرياً في هذه العملية (العملية ثابتة الضغط)؛ افترض أن لديك أسطوانة تحتوي على كمية من الغاز مسدودة بإحكام بواسطة مكبس قابل للحركة إلى الخارج، وإلى الداخل (إلى أعلى وإلى أسفل) أُنظر الشكل (٧) إن هذه الأسطوانة بما فيها المكبس والغاز تسمى « نظاماً »، وإن العوامل التي تتحكم في هذا النظام هي حجم الغاز (ح)، وضغطه (ض)، ودرجة حرارته (T) وتكون مقدّرة بالدرجة المطلقة (K°) .



شكل (٧)

فإذا دفعت المكبس إلى الداخل (إلى أسفل) من الوضع (١) إلى الوضع (٢) كما هو مبين في الشكل (٧)؛ فإن القوة (ق) التي يؤثر بها المكبس على الغاز تنجز شغلاً (شغ)، يساوي حاصل ضرب القوة (ق) في الإزاحة التي يتحركها المكبس، ولتكن (Δ ل) أي :

$$\text{شغ} = \text{ق} \cdot \Delta\text{ل} \qquad \ldots\ldots\ldots (٥)$$

حيث أن ق = ض×س ، و(ض) الضغط الواقع على الغاز، و(س) مساحة قاعدة المكبس.

$$\therefore \quad \text{شغ} = \text{ض} \times \text{س} \times \Delta\text{ل} \qquad \ldots\ldots\ldots (٦) .$$

ولكن (س) مساحة قاعدة المكبس × (Δل) إزاحة المكبس = (Δح)؛ حيث (Δح) يرمز إلى التغير في حجم الغاز نتيجة إزاحته، وهو يعبر عن الفرق بين الحجم النهائي للغاز ($ح_٢$)، والحجم الابتدائي له ($ح_١$)، أي أن : $\Delta ح = ح_٢ - ح_١$ ،

el-online.net

وبالتعويض عن (س× Δ ل) في المعادلة (٦)، نحصل على العلاقة الآتية :

شغ = ض ×Δح

، ..... (٧)

أو

شغ = ض× (ح٢ – ح١)

..... (٨) .

والعلاقة (٨) هي العلاقة الرياضية التي تستخدم في حساب الشغل في هذه العملية جبرياً، وبما أن الضغط كمية ثابتة في هذه العملية، وأن (ح٢ < ح١)؛ لأن الغاز انكبس، أي : أن حجمه قل (انكمش)؛ فإن الشغل في هذه العملية (في هذه الحالة) يكون كمية سالبة .. لماذا؟؛ لأن المقدار (ح٢ – ح١) سالب، فإذا عوضنا هذا المقدار في العلاقة : (٨)؛ نحصل على :

شغ = – ض . (Δح)

..... (٩) .

أما في حالة تحرك المكبس إلى الخارج؛ فإن (ح٢ > ح١)؛ حيث يزداد حجم الغاز (يتمدد) عن حجمه الابتدائي، فيكون الشغل في هذه الحالة كمية موجبة .

مثال (٢) :

احسب الشغل المبذول على غاز موضوع في أسطوانة ذات مكبس متحرك؛ إذا انكمش الغاز بعد الكبس من (٣٠٠٠سم٣)، إلى (٢٠٠٠سم٣) باستخدام ضغط مقداره (٥ نيوتن / سم٢) .

الحل : ض = ٥ نيوتن / سم٢ = ٥٠٠٠٠ نيوتن / م٢ ،

ح٢ – ح١ = ٢٠٠٠سم٣ – ٣٠٠٠سم٣ ، = – ١٠٠٠سم٣ .

ح٢ – ح١ = – ١٠٠٠سم٣ = – ١٠٠٠ × (١٠ $^{-٢}$ م)٣ = – ١٠ $^{-٣}$ م٣ .

وبما أنه حصل انكباس للغاز (أي قل حجمه)؛ فإن الشغل يكون كمية سالبة

∴ شغ = ض (ح٢ – ح١) = ٥٠٠٠٠ × – ١٠ $^{-٣}$ = – ٥٠ جول، وهذا مقدار الشغل المبذول .

el-online.net

مثال (٣) :

سحب شخص مكبس أسطوانة إلى الخارج، فزاد حجم الهواء المحبوس فيها بمقدار (١٠٠٠سم^{٣})، فإذا كان ضغط الهواء داخل الأسطوانة (٢×١٠^{٥}) نيوتن/م^{٢}، فكم يكون مقدار الشغل المبذول في هذه الحالة؟

الحل :

حيث ض= ٢×١٠^{٥} نيوتن/م^{٢} ، والزيادة في حجم الهواء (Δح) = ح$_{٢}$ − ح$_{١}$

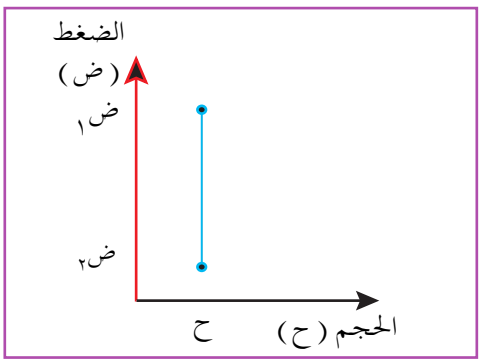
= ١٠٠٠سم^{٣} أي أن (Δح) = ١٠٠٠ × ١٠$^{-٦}$ م^{٣}،

وحيث إن الضغط ثابت في هذه العملية (الإيزوبارية)؛

فإن الشغل (شغ) = ض (ح$_{٢}$ − ح$_{١}$) = ض × Δح ،

شغ = ٢×١٠^{٥} × ١٠٠٠ × ١٠$^{-٦}$ = ٢ × ١٠^{٢} = ٢٠٠ جول .

الشغل في العملية ثابتة الحجم : Work in Isochoric process



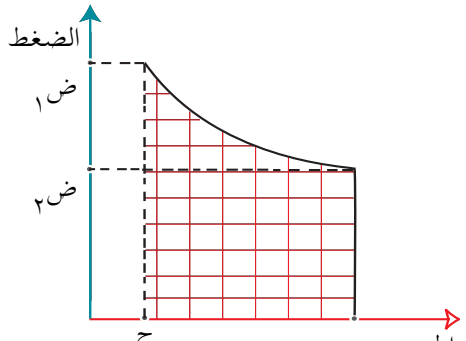
شكل (٨)

بما أن تغير النظام، أو انتقاله من حالة إلى أخرى يتم في هذه العملية عند ثبوت الحجم ، أي لا يحدث تغير في مقدار الحجم، وإنما الذي يتغير –فقط– هو الضغط وذلك ما يوضحه الرسم البياني في الشكل (٨) ، فالضغط يتغير من (ض$_{١}$) إلى (ض$_{٢}$)، أي من ضغط مرتفع إلى ضغط منخفض (ض$_{٢}$ < ض$_{١}$)، وكما يتضح من الشكل (٨) بأنه لا توجد مساحة بين خط المنحنى البياني، والمحور الأفقي الذي يمثل حجم النظام؛ لذلك فالشغل في هذه الحالة يساوي صفراً، وهذا يؤكد أن المكبس في هذه الحالة لم يتحرك .

ونكتفي في هذه العملية بالجانب البياني لإثبات أن الشغل في العملية ثابتة الحجم يساوي صفراً، ولا داعي لإثبات ذلك جبرياً .

el-online.net

الشغل في العملية الكظمية Work in Adiabatic process :

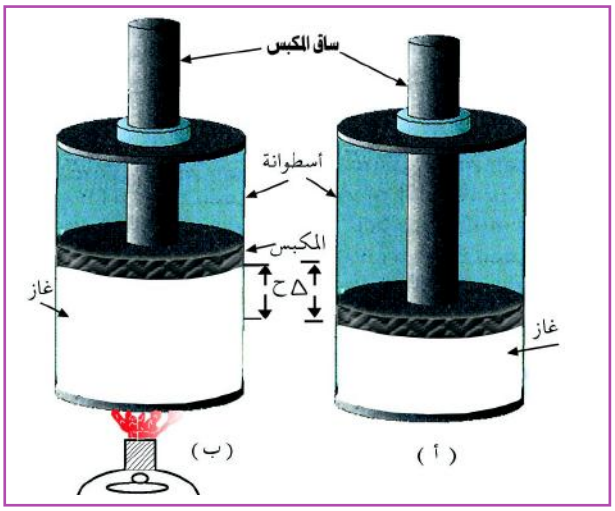


شكل (٩)

ارجع النظر إلى الرسم البياني في الشكل(٤) الذي يبين تغير كل من حجم النظام، وضغطه دون حدوث تبادل حراري بين النظام، والوسط الخارجي المحيط به.

ولكي توجد مقدار الشغل في هذه العملية؛ ظلّل المساحة المحصورة بين الخط البياني الذي يمثل التحول الكظمي، والمحور الأفقي الذي يمثل الحجم، فإنك ستحصل على الرسم الموضح في الشكل (٩) أن مقدار الشغل = مقدار المساحة المظللة.

قوانين الديناميكا الحرارية Thermodynamics's Laws



شكل (١٠)

للديناميكا الحرارية ثلاثة قوانين تعرف بالقانون الأول، والقانون الثاني، والقانون الثالث للديناميكا الحرارية. وسنتناول في هذه الوحدة القانون الأول، وفي الوحدة التالية القانون الثاني . أما بالنسبة للقانون الثالث فسوف تدرسه في دراستك الجامعية، إن شاء الله تعالى.

القانون الأول للديناميكا الحرارية: The first law of thermodynamics

كيف توصل العلماء إلى صياغة نص القانون الأول للديناميكا الحرارية؟ ما نصه؟ وفيمَ يختص هذا القانون؟

el-online.net

لكي تتعرف على ذلك.. افترض أن لديك نظام ديناميكي حراري مكون من أسطوانة بها كمية من الغاز مزودة بمكبس يمكن تحريكه – أُنظر الشكل(١٠–أ).

فإذا سخنت هذه الأسطوانة كما في الشكل (١٠– ب)، ففي أي اتجاه سيتحرك المكبس؟

– علام يدل تحرك المكبس إلى الخارج (إلى الأعلى)؟ هل يدل على زيادة حجم الغاز (تمدد حجمه)، أم يدل على نقص حجمه (انكماش حجم الغاز)؟

– من أين حصل المكبس على القوة التي أزاحته قليلاً إلى الخارج (إلى الأعلى)؟

– ما مقدار الشغل المبذول في هذه الحالة؟

– ما نوع التغير في الطاقة الداخلية للنظام (للغاز)؟

– هل زادت الطاقة الداخلية للغاز.. أم أنها قلت نتيجة التسخين؟

لقد وجدَ عملياً أنه إذا زودت أسطوانة تحتوي على كمية من الغاز مزودة بمكبس قابل للحركة بطاقة حرارية، فإن أثر هذه الطاقة الحرارية يظهر في :

- إزاحة المكبس إلى الخارج (إلى الأعلى).. وهذا يدل على أن الغاز داخل الأسطوانة زاد حجمه (تمدد) – وبالتالي فالنظام أنجز شغلاً .
- زيادة الطاقة الداخلية للغاز (النظام)، وذلك من خلال ارتفاع درجة حرارته.

– ما الكميات التي ارتبطت فيما بينها في هذه التجربة؟

إن المتأمل لهذه التجربة، سيجد أنها أوضحت العلاقة بين كلٍّ من مقدارالشغل المبذول على النظام، والطاقة الحرارية التي يتبادلها النظام مع الوسط المحيط به، والتغير الذي يحدث في الطاقة الداخلية للنظام نتيجة اكتسابه طاقة حرارية.

وقد صاغ العلماء العلاقة بين هذه الكميات في قانون أسموه القانون الأول للديناميكا الحرارية، والذي ينص على أن :

« كمية الحرارة التي يكتسبها ، أو يفقدها النظام تساوي مجموع الشغل الذي يبذله النظام، والتغير في الطاقة الداخلية للنظام».

إن القانون الأول يدرس العلاقة بين الطاقة الحرارية (حر) التي يكتسبها أو يفقدها النظام، والشغل (شغ) الذي يبذله النظام أو المبذول عليه، والتغير في الطاقة الداخلية للنظام (Δ ط$_د$).. والصورة الرياضية للقانون الأول للديناميكا الحرارية هي :

$$\text{حر} = \text{شغ} + \Delta \text{ط}_د \quad \ldots\ldots\ldots (١٠)،$$

أو

$$\Delta \text{ط}_د = \text{حر} - \text{شغ} \quad \ldots\ldots\ldots (١١).$$

el-online.net

ويجب عليك عند استخدام العلاقة السابقة مراعاة الآتي :

- يكون الشغل كمية موجبة، إذا بذله النظام (أي إذا حدث تمدد للغاز)
ويكون الشغل كمية سالبة، إذا بذل شغل على النظام (أي إذا حدث انكماش للغاز) .
- تكون كمية الحرارة كمية موجبة، إذا اكتسب النظام طاقة حرارية، وتكون كمية سالبة، إذا فقد النظام طاقة حرارية . .
- تعامل كمية الحرارة في الديناميكا الحرارية، كأنها شغل، فهي عبارة عن طاقة يمكن أن تنتقل بين النظام، والوسط الخارجي المحيط به، ولكنها تختلف عن الشغل في أن انتقالها مشروط بوجود فرق في درجات الحرارة بين النظام، والوسط الخارجي .
- تزويد النظام بالحرارة؛ يؤدي إلى تخزينها في النظام على شكل طاقة حركة، وطاقة وضع (طاقة كامنة) للجزيئات التي يتكون منها النظام، ولا تخزن على شكل حرارة .

تطبيقات القانون الأول للديناميكا الحرارية (First LawApplications):

وتتضمن هذه التطبيقات العمليات الديناميكية الحرارية الأربع الآتية :

- **في العملية ثابتة درجة الحرارة :**

تتم هذه العملية عند درجة حرارة ثابتة، (أي : لا يحدث تغير في درجة الحرارة)، وبالتالي فإن الطاقة الداخلية للغاز تظل ثابتة، وهذا يعني أنه لا يوجد تغير في الطاقة الداخلية للغاز، وبمعنى آخر يكون :

Δ ط$_د$ = صفراً ، وإذا عوضنا هذا في العلاقة الرياضية للقانون الأول؛ فإننا نحصل على الآتي :

Δ ط$_د$ = حر – شغ ، (القانون الأول) .

صفر = حر – شغ

$\therefore$ **شغ = حر** ..... (١٢)

أي أن الشغل المبذول = كمية الحرارة (الطاقة الحرارية) .

ولكن الشغل في هذه العملية –كما مر معك، شغ = ح$_١$ × ض$_١$ $\left(\text{لو}_e \frac{\text{ح}_٢}{\text{ح}_١} \right)$ ،

el-online.net

أو شغ = ح$_{١}$ × ض$_{١}$ $\left(\text{لو}_{e} \frac{\text{ض}_{١}}{\text{ض}_{٢}} \right)$.

وبالتعويض عن (شغ) في العلاقتين السابقتين بالكمية (حر) ينتج أن :

$$\text{حر} = \text{ح}_{١} \times \text{ض}_{١} \left(\text{لو}_{e} \frac{\text{ح}_{٢}}{\text{ح}_{١}} \right) = \text{ح}_{١} \times \text{ض}_{١} \left(\text{لو}_{e} \frac{\text{ض}_{١}}{\text{ض}_{٢}} \right) \quad \ldots\ldots\ldots (١٣)$$

■ **في العملية ثابتة الضغط** : بما أن تغير النظام، أو انتقاله يتم في هذه العملية تحت ضغط ثابت، فإن الشغل المبذول فيها يكون :

شغ = ض (ح$_{٢}$ − ح$_{١}$)؛ وحيث إن العلاقة الرياضية للقانون الأول هي :

Δ ط$_{د}$ = حر − شغ ، وبالتعويض عن (شغ) في هذه العملية نجد أن :

$$\Delta \text{ط}_{د} = \text{حر} - \text{ض} (\text{ح}_{٢} - \text{ح}_{١}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (١٤)$$

وتتم هذه العملية عادة في الآلات البخارية .

مثال (٤) : آلة بخارية تحتوي على كمية من الماء مقدارها (٥٠ جم)، سخنت إلى درجة حرارة (١٠٠ْم)، فتحولت نتيجة للتسخين إلى بخار حجمه (٨٣٥٥سم^{٣}) عند ضغط جوي ثابت مقداره (١٫٠١٣ × ١٠^{٥}) نيوتن/م^{٢}، فإذا اكتسب البخار في هذه العملية طاقة حرارية مقدارها (١٠٧٨٠ سعراً)، فاحسب :

أ − الشغل الذي تبذله هذه الآلة البخارية .

ب − الزيادة في الطاقة الداخلية لهذا النظام .

الحل : أ − شغ = ض (ح$_{٢}$ − ح$_{١}$) ؛ حيث الضغط ثابت .

وحيث أن حجم ٥٠ جم من الماء هو ٥٠سم^{٣} .

∴ ح$_{١}$ = ٥٠ × ١٠$^{-٦}$ م^{٣} .

∴ شغ = ١٫٠١٣ × ١٠^{٥} (٨٣٥٥ × ١٠$^{-٦}$ − ٥٠ × ١٠$^{-٦}$)

شغ = ١٫٠١٣ × ١٠^{٥} × ٨٣٠٥ × ١٠$^{-٦}$ = ٨٤١٫٣ جول .

وحيث إن الشغل كمية موجبة، فهذا يعني أنه حصلت زيادة في حجم النظام (الغاز) .

ب − ∵ Δ ط$_{د}$ = حر − شغ ؛

(حيث إن حر = ١٠٧٨٠ سعراً = ١٠٧٨٠ × ٤٫٢ = ٤٥٢٧٦ جول)

(علماً بأن : ١ سعراً = ٤٫٢ جول)

∴ Δ ط$_{د}$ = ٤٥٢٧٦ − ٨٤١٫٣ = ٤٤٤٣٤٫٧ جول .

el-online.net

■ **في العملية ثابتة الحجم :**

وحيث إن الغاز في هذه العملية ينتقل من حالة إلى أخرى، دون تغير في حجمه . .(أي أن الحجم يظل ثابتاً)؛ فإن الشغل (شغ)= صفراً . . فإذا عوضنا عن (شغ) في العلاقة الرياضية للقانون الأول العلاقة رقم (١١) نحصل على :

Δ ط$_د$ = حر – شغ ∴ Δ ط$_د$ = حر – صفر

∴ Δ ط$_د$ = حر

. . . . . (١٥)

ما الذي يتبين لك من هذه العلاقة؟

يتضح من هذه العلاقة أن الطاقة الحرارية التي يكتسبها الغاز لا تستخدم في بذل الشغل . . ولكن تستخدم في زيادة الطاقة الداخلية للغاز .

■ **في العملية الكظمية :**

في هذه العملية لا يحدث تبادل حراري بين النظام، والوسط الخارجي المحيط به؛ حيث تتم والنظام مغلق ومعزولٌ حرارياً، وبزمن قصير جداً، (أي : بسرعة كبيرة)؛ لذلك يكون التغير في كمية الحرارة (الطاقة الحرارية) حر = صفراً، وإذا عوضنا هذه القيمة في القانون الأول للديناميكا الحرارية Δ ط$_د$ = حر – شغ ينتج أن :

Δ ط$_د$ = – شغ

. . . . . (١٦)

وتوضح هذه العلاقة أن الطاقة الداخلية للنظام تزداد بمقدار الشغل المبذول على النظام .

مثال (٥) : نظام معزول حرارياً يحتوي على غاز، فإذا بُذل شغل على الغاز مقداره : (١٥٠ جولاً) . . فكم يكون مقدار التغير في الطاقة الداخلية للغاز؟

الحل :

∵ النظام معزول حرارياً ∴ حر = صفراً .

∵ Δ ط$_د$ = حر – شغ ∴ Δ ط$_د$ = صفر – شغ

أي أن : Δ ط$_د$ = –شغ وبما أن الشغل بذل على النظام شغ= – ١٥٠ جولاً .

∴ Δ ط$_د$ = –(– ١٥٠) = ١٥٠ جولاً .

أي أن الطاقة الداخلية للغاز، تزداد بمقدار (١٥٠) جولاً .

el-online.net

العمليات العكوسة، والعمليات اللاعكوسة:

Reversible and Irreversible Processes:

إذا حدثت عملية ديناميكية حرارية على نظام، بحيث يعود هذا النظام خلالها من الحالة النهائية التي وصل إليها إلى حالته الابتدائية التي كان عليها دون التسبب في إحداث أي تغير على النظام، أو على الوسط المحيط به؛ فإن هذه العملية تسمى: (عملية عكوسة)، فمثلا عملية تحول الحرارة إلى شغل، تعد عملية عكوسة؛ لأنه بالإمكان تحول الشغل إلى حرارة ، أي أن العملية التي يمكن عكسها هي عملية عكوسة، وكذلك يمكن عكس العملية ثابتة درجة الحرارة، والعملية ثابتة الضغط والعملية ثابتة الحجم إذا جرت هذه العملية بصورة بطيئة جداً.

غير أن عملية انتقال الحرارة من جسم ساخن إلى جسم أبرد منه، هي عملية لا عكوسة، إذ أنه من المستحيل أن يعيد الجسم الأبرد الحرارة نفسها التي اكتسبها من الجسم الأسخن عند اتصالهما مباشرة بدون بذل شغل، ومن هنا يمكن تعريف العملية اللاّعكوسة بأنها « تلك العملية التي يصاحبها خلل في عكوسيتها » .

(أي: أنها العملية التي لا يمكن عكسها إلا ببذل شغل).

مثل امتزاج غازين تلقائياً لا يمكن فصلهما تلقائياً إلا ببذل شغل.

موضوع للبحث

تبين لك من خلال هذه الوحدة أنه من الممكن تحويل الطاقة الحرارية إلى شغل ميكانيكي، فكيف يمكن الحصول على طاقة حرارية من شغل ميكانيكي؟ ابحث في هذا، واكتب موضوعاً علمياً .. معززاً ما تكتبه بالصور، أو الرسومات التوضيحية.

el-online.net

تقويم الوحدة

السؤال الأول : أكمل الفراغات الآتية بما يناسبها :

١- يهتم علم الديناميكا الحرارية بدراسة العلاقة بين الطاقة : ..... ، و ..... الميكانيكي .

٢- تحتاج لوصف النظام الديناميكي الحراري إلى استخدام كل من : ..... ، والضغط ، ..... ، والطاقة الداخلية للنظام، وكمية الحرارة، و .....

٣- العملية الديناميكية الحرارية هي عملية يحدث فيها تغير في حالة النظام، وذلك بسبب اكتسابه، أو فقده ..... ، أو ..... .

٤- من العمليات الديناميكية الحرارية، العملية ..... ، والعملية ثابتة الضغط، والعملية ..... والعملية الكظمية .

٥- ينص القانون الأول للديناميكا الحرارية على أن كمية الحرارة التي يكتسبها، أو يفقدها النظام تساوي مجموع ..... الذي يبذله النظام، والتغير في الطاقة ..... للنظام .

٦- تعامل الحرارة في الديناميكا الحرارية، وكأنها شغل، ولكنها تختلف عن الشغل في أن انتقالها مشروط بوجود ..... في درجات الحرارة بين النظام، والوسط المحيط به .

٧- الشغل الذي تنجزه القوة التي يؤثر بها مكبس على كمية من الغاز موضوع في أسطوانة يساوي حاصل ضرب ..... في .....

السؤال الثاني : ضع علامة (√) أمام العبارة الصحيحة، وعلامة (X) أمام العبارة الخطأ فيما يأتي :

١- النظام الديناميكي الحراري المغلق، هو النظام الذي يسمح بتبادل المادة، ولا يسمح بتبادل الطاقة مع الوسط المحيط به ( ) .

٢- العملية الديناميكية الحرارية هي عملية تغير حالة النظام الديناميكي الحراري، وذلك بسبب اكتسابه، أو فقده حرارة أو شغل ( ) .

٣- في العملية ثابتة درجة الحرارة يكون التناسب بين حجم كمية من الغاز، وضغطه تناسباً عكسياً ( ) .

el-online.net

٤- يكون التناسب بين درجة حرارة النظام، وحجمه عند ثبوت ضغطه تناسباً عكسياً ( ).

٥- إن التناسب بين درجة حرارة الغاز، وضغطه في العملية ثابتة الحجم تناسباً طردياً ( ).

٦- يكون الشغل في العملية الكظمية مساوياً لمجموع التغير في الطاقة الداخلية للنظام وكمية الحرارة ( ).

٧- يوضح القانون الأول في الديناميكا الحرارية العلاقة بين كمية الحرارة التي يكتسبها، أو يفقدها النظام، والشغل الذي يبذله النظام، والتغير في الطاقة الداخلية للنظام ( ).

٨- يتبين من خلال القانون الأول للديناميكا الحرارية أن التغير في الطاقة الداخلية للنظام يساوي مجموع كمية الحرارة، والشغل المبذول ( ).

٩- يكون الشغل كمية موجبة إذا بذله النظام، ويكون الشغل كمية سالبة إذا بُذل الشغل على النظام ( ).

١٠- تكون كمية الحرارة موجبة إذا فقد النظام طاقة حرارية، وتكون سالبة إذا اكتسب النظام طاقة حرارية ( ).

١١- تزويد النظام بالحرارة يؤدي إلى تخزينها في النظام على شكل حرارة ( ).

١٢- إن عملية انتقال الحرارة من جسم ساخن إلى جسم آخر أبرد منه هي عملية عكوسة ( ).

السؤال الثالث: ضع دائرة حول الحرف الذي يدل على الإجابة الصحيحة لكل عبارة من العبارات الآتية:

١- النظام الديناميكي الحراري الذي يسمح بتبادل المادة والطاقة مع الوسط المحيط به يسمى بالنظام:

أ – المفتوح. ب – المغلق. جـ – المعزول. د – الكظمي.

٢- تسمى العملية التي تتم على الغاز: بحيث يتغير حجمه بتغير درجة حرارته عند ثبوت ضغطه بالعملية:

أ – ثابتة درجة الحرارة. ب – ثابتة الضغط.

جـ – ثابتة الحجم. د – الكظمية.

el-online.net

٣- في العملية (ثابتة الضغط) تكون العلاقة بين درجة الحرارة و . .

أ – الضغط علاقة عكسية . ب – الحجم علاقة عكسية .

جـ – الضغط علاقة طردية . د – الحجم علاقة طردية .

٤) يكون الشغل الميكانيكي مساوياً الصفر، عندما يكون النظام :

أ – ثابت الضغط . ب – ثابت الحجم .

جـ – ثابت درجة الحرارة . د – معزولاً عزلاً حرارياً .

٥) يكون الشغل مساوياً التغير في الطاقة الداخلية للغاز، عندما تكون العملية الديناميكة الحرارية :

أ – ثابتة درجة الحرارة . ب – ثابتة الضغط . جـ – ثابتة الحجم . د – الكظمية .

٦- الصورة الرياضية للقانون الأول للديناميكا الحرارية هي :

أ – حر = شغ – Δ ط$_د$. ب – حر = شغ + Δ ط$_د$.

جـ – حر = شغ × Δ ط$_د$. د – حر = شغ ÷ Δ ط$_د$.

السؤال الرابع : عرِّف ما يأتي :

– الديناميكا الحرارية – النظام الديناميكي الحراري – النظام المفتوح – النظام المغلق – النظام المعزول – العملية الديناميكية الحرارية – العملية ثابتة درجة الحرارة – العملية ثابتة الضغط – العملية ثابتة الحجم – العملية الكظمية – العملية العكوسة – العملية اللاّعكوسة .

السؤال الخامس : علل لما يأتي :

١- غالباً ما تكون كتلة المادة في النظام المفتوح غير ثابتة، بينما تكون في النظام المغلق ثابتة .

٢- يكون الشغل في العملية ثابتة الحجم مساوياً الصفر .

٣- تعد عملية تحول الشغل إلى حرارة عملية عكوسة، بينما تعد عملية انتقال الحرارة من جسم ساخن إلى جسم بارد عملية لاعكوسة .

el-online.net

السؤال السادس : ما الذي يوضحه القانون الأول للديناميكا الحرارية؟

السؤال السابع : متى يكون الشغل كمية موجبة؟، ومتى يكون كمية سالبة؟

السؤال الثامن : متى تكون كمية الحرارة كمية موجبة؟، ومتى تكون كمية سالبة؟

السؤال التاسع : ما وجه الاختلاف بين الشغل، والحرارة؟

السؤال العاشر : أين تذهب الطاقة الحرارية التي يكتسبها النظام الديناميكي الحراري عندما لا يبذل شغلاً؟

السؤال الحادي عشر : نظام مكون من غاز موضوع في أسطوانة بها مكبس، وحجم الغاز فيها = (٠,٠٤ م^{٣}) ، أثّر على المكبس ضغط مقداره (٧٠٠ × ١٠^{٣}) نيوتن/م^{٢}، فتمدد الغاز، وأصبح حجمه = (٠,٠٤٤ م^{٣})، فإذا تم هذا التحول (الانتقال) في عملية ثابتة الضغط فكم يكون مقدار الآتي :

أ – الشغل الذي بذله النظام.

ب – الإزاحة التي يحركها المكبس، إذا علمت أن مساحة قاعدة المكبس = (٠,٠٨) م^{٢} ؟.

السؤال الثاني عشر : احسب مقدار الشغل الذي يبذله غاز مثالي تمدد وفقاً لقانون بويل من حجم = (٢٥٠٠٠ سم^{٣}) إلى حجم = (٥٠٠٠٠ سم^{٣})، وكان الضغط (١٠^{٥} نيوتن/م^{٢}) .

السؤال الثالث عشر : سُلطت قوة مقدارها (٢٠٠ نيوتن) على مكبس في أسطوانة تحتوي على غاز، فنقص حجم الغاز من (٥٠٠٠ سم^{٣}) إلى (٣٠٠٠ سم^{٣}) .

احسب الشغل الذي أنجزته هذه القوة، إذا كانت مساحة قاعدة المكبس = (١٠٠ سم^{٢}) .

el-online.net

الوحدة السابعة

المحركات (الآلات) الحرارية والتلوث البيئي
(Heat Engines And Environmental Pollution)

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من دراسة الوحدة أن يكون قادراً على أن :

١- يُعرّف الآتي : المحرك الحراري، المستودع الحراري، كفاءة المحرك الحراري .

٢- يصف – مستعيناً بالرسم – تركيب كل من : محرك البنزين، والثلاجة .

٣- يوضح –مستعيناً بالرسم التخطيطي– فكرة عمل الآلة الحرارية (المحرك الحراري) .

٤- يشرح مراحل كل من عمل محرك البنزين، وعمل الثلاجة في التبريد .

٥- يذكر أنواع المحركات (الآلات) الحرارية .

٦- يذكر نص صيغة كلاوزيوس للقانون الثاني في الديناميكا الحرارية .

٧- يبين الآثار السلبية للمحركات الحرارية على سلامة، وصحة البيئة .

٨- يقارن بين كل من المحرك البخاري، والمحرك الغازي،ومحرك الديزل، ومحرك البنزين؛ من حيث تكلفتها، ووزنها، وحجم التلوث الذي تسببه هذه المحركات .

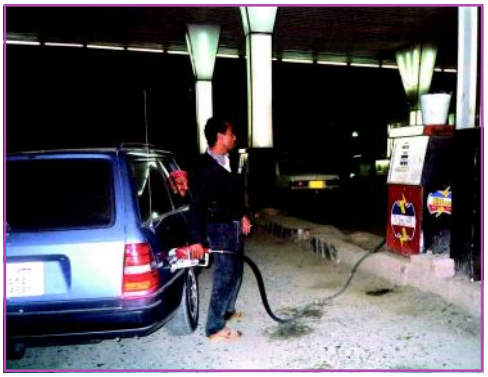
٩- يحل مسائل تطبيقية على كفاءة المحرك الحراري .

١٠- يكتب مقالاً علمياً مبسطاً يتضمن تلويث المحركات الحرارية للبيئة، ونتائجه السلبية على صحة الناس . والحلول المقترحة للحد منه .

el-online.net

المحركات (الآلات) الحرارية والتلوث البيئي
(Heat Engines' And Environmental Pollution)

المحركات (الآلات) الحرارية : (Heat Engines)



شكل (١)

أُنظر إلى الشكل (١) وصف ما تراه فيها.

- لماذا تحتاج السيارات، والقطارات والسفن، والطائرات، والصواريخ، والمصانع وغير ذلك للوقود؟
- كيف يمكن تحويل الطاقة الحرارية (Heat Energy) إلى شغل ميكانيكي (Mechanical Work)؟
- ما الأجهزة المستخدمة في ذلك؟

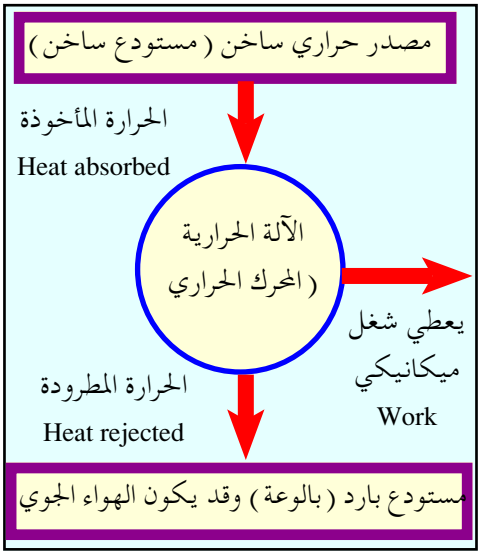
لقد تمكن العلماء من خلال البحوث العلمية، والتجارب العملية من تحويل الطاقة الحرارية إلى شغل ميكانيكي، وذلك بواسطة الآلات (المحركات) الحرارية.. فما الآلة الحرارية (المحرك الحراري). ومِمَ تتركب في أبسط صورها؟ وكيف تعمل؟

المحرك الحراري، Heat Engine

المحرك الحراري عبارة عن جهاز يقوم بتحويل الطاقة الحرارية إلى شغل ميكانيكي، وذلك نتيجة انتقال (دخول) الحرارة إليه من مصدر حراري (مستودع حراري) درجة حرارته عالية، وطرده لها (خروجها) إلى مستودع حراري درجة حرارته منخفضة.

ويقصد بالمستودع الحراري (Heat Store) بأنه عبارة عن مخزن حراري كبير يمكن للحرارة أن تنتقل منه، أو إليه دون أن يؤدي ذلك إلى تغير في درجة حرارته مثل البحار والهواء الجوي.

el-online.net



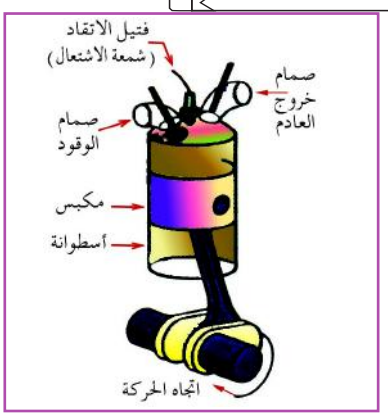
شكل (٢)

والشكل (٢) يوضح رسماً تخطيطياً لفكرة عمل الآلة الحرارية حيث تمتص الحرارة اللازمة لعملها من المصدر الحراري الساخن، ثم تنجز شغلاً ميكانيكاً، وما يتبقى من الحرارة يطرد إلى المستودع البارد (الهواء الجوي) Low temperature Sink وقد يكون هذا المستودع هو الهواء الجوي المحيط بالآلة .

ويتبين من ذلك أن الآلة الحرارية لا تستخدم كل الطاقة الحرارية التي تستمدها من المصدر الحراري في توليد الشغل الميكانيكي، ولكن جزءاً منها –فقط– وتطرد الباقي كطاقة حرارية غير مستفاد منها (Unavailable Heat)، وهناك أنواع من الآلات (المحركات) الحرارية، مثل: (محرك البنزين، ومحرك الديزل، التوربين الغازي، الآلة (المحرك) البخارية) . وتعد جميع الآلات الحرارية أنظمة ديناميكية حرارية تأخذ الطاقة الحرارية من مصدرها الساخن، وتستغل جزءاً منها في إنتاج شغل ميكانيكي، وتطرد ما يتبقى منها إلى المستودع البارد (الهواء) . وسنأخذ للدراسة المحرك الذي يعمل بالبنزين كمثال للآلات (المحركات) الحرارية .

محرك (البنزين) petroleum(Benzine) Engine

محرك البنزين هو أحد أنواع الآلات الحرارية التي تقوم بتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية (شغل ميكانيكي)، ويتركب في أبسط صورة له من أسطوانة مزودة بمكبس (Piston) قابل للحركة، والمكبس يتصل بأداة قابلة للدوران في أثناء حركة المكبس، وتوجد على الأسطوانة فتحتان، إحداهما لدخول الوقود، والأخرى لخروج العادم . أُنظر الشكل(٣) .



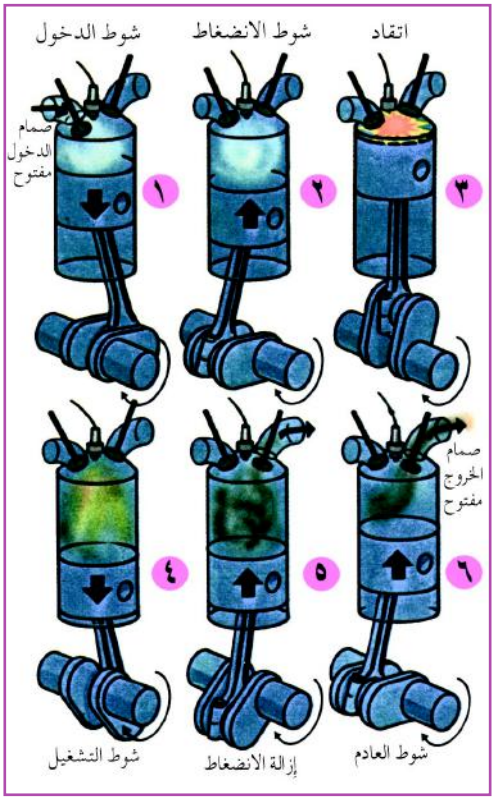
شكل (٣)

el-online.net

– كيف يقوم المحرك بعمله؟

لكي تتعرف على ذلك أُنظر إلى الشكل (٤)، ثم صف ما تراه.

يتميز المحرك الذي يعمل بالبنزين بأنه مبني على دورة (أوتو) otto cycle الديناميكية الحرارية المثالية (نسبة إلى العالم نيكولا أوتو ١٨٣٢ –١٨٩١) ويبين الشكل (٤) أشواط (مراحل) دورة عمل المحرك وهي على النحو الآتي :



شكل (٤) خطوات عمل محرك البنزين.

١– يهبط المكبس ساحباً معه الهواء وغاز (الوقود) عبر صمام دخول الوقود الذي يكون في هذه الحالة مفتوحاً بينما يكون صمام خروج العادم مغلقاً.

٢– بعدها يرتفع المكبس ضاغطاً الغاز بكيفية يفترض أنها مثالية، أي لا يصاحبها أي فقد واكتساب للحرارة (عملية كظمية).

٣– تقوم بعد ذلك شمعة الاشتعال (الاتقاد) بإحراق الغاز (الوقود) المضغوط فيتولد عند ذلك كمية من الحرارة، يرتفع من جرائها الضغط في الأسطوانة ارتفاعاً كبيراً،وذلك قبل أن يبدأ المكبس تحركه.

٤– بعد ذلك يبدأ شوط التشغيل؛ حيث يقوم الغاز المتمدد أثناء ذلك بدفع المكبس إلى أسفل، وعندما يبلغ آخر شوطه يفتح صمام العادم.

٥– تنقص قيمة الضغط حتى تصبح مساوية لقيمة الضغط الجوي.

٦– وأخيراً يطرد الغاز العادم إلى (خارج الأسطوانة).

يقصد بالدورة الديناميكية الحرارية بأنها تلك العملية الديناميكية الحرارية التي بانتهائها، يعود النظام الديناميكي الحراري إلى حالته الابتدائية.

el-online.net

كفاءة المحرك الحراري : Heat Engine Efficiency

إن الشرط الأساس الذي ينبغي توافره في المحرك الحراري هو أن يكون ذا كفاءة كبيرة وهي من أهم مميزاته من الناحية العملية، فالمحرك الذي كفاءته عالية يكون أفضل من المحرك الذي كفاءته منخفضة (أو أقل) فما كفاءة المحرك؟ وكيف تحسب؟

تعرف الكفاءة الحرارية للمحرك بأنها : **حاصل قسمة مقدار الشغل الناتج من المحرك على كمية الحرارة الداخلة إليه، أو بأنها النسبة بين ما يبذله المحرك من شغل إلى الطاقة الحرارية الكلية التي يستمدها من المصدر الحراري الساخن خلال دورة كاملة.**

أي أن : كفاءة المحرك = $\frac{\text{الشغل الناتج من المحرك .}}{\text{الطاقة الحرارية الداخلة إلى المحرك .}}$

فإذا افترضنا أن كمية الحرارة التي يستمدها المحرك من مصدر حراري درجة حرارته عالية (T_1) هي (حر$_1$)، وأن كمية الحرارة التي يطردها إلى مستودع حراري درجة حرارته (T_2) هي (حر$_2$)؛ فإن الشغل الناتج عن المحرك يكون مساوياً (حر$_1$ – حر$_2$) وبذلك تصبح :

$$\text{كفاءة المحرك} = \frac{\text{شغ}}{\text{حر}_1} = \frac{\text{حر}_1 - \text{حر}_2}{\text{حر}_1} = 1 - \frac{\text{حر}_2}{\text{حر}_1} \quad \ldots\ldots (1)$$

حيث (شغ) مقدار الشغل الناتج من المحرك. ومن أجل الحصول على كفاءة عالية (قصوى) ينبغي تصغير (حر$_2$)، وتكبير (حر$_1$) إلى أكبر حد ممكن.

وبما أن (T_1) تتناسب طردياً مع (حر$_1$)، (و (T_2) تتناسب طردياً– أيضاً– مع (حر$_2$)؛ فإنه يمكن كتابة العلاقة (١) على الصورة الآتية :

$$\text{كفاءة المحرك} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \text{حيث} \quad \frac{T_2}{T_1} = \frac{\text{حر}_2}{\text{حر}_1} \quad \ldots\ldots (2) .$$

مما تقدم يمكن ملاحظة الآتي :

- أن كفاءة المحرك الحراري تزداد؛ كلما زاد الفرق بين درجة حرارة المصدر الحراري (T_1)، ودرجة حرارة المستودع البارد (T_2)، أي ($T_2 - T_1$) .
- وتكون كفاءة المحرك تساوي صفراً عندما تكون (T_1) = (T_2) .

حاول أن تثبت ذلك.

ملاحظة : تقدر (T_1)، (T_2) بالدرجة المطلقة، وليس بالدرجة المئوية.

el-online.net

مثال (١) : محرك حراري يأخذ كمية من الحرارة قدرها ٥٠٠ جول من مصدر حراري درجة حرارته ١١٧°م، ويطرد إلى المستودع البارد (الهواء الجوي الخارجي) كمية من الحرارة مقدارها (٣٥٠ جول) فأوجد الآتي :

أ – كفاءة المحرك . ب – درجة حرارة المستودع البارد .

الحل :

أ– ∵ كفاءة المحرك = ١ – $\frac{\text{حر}_2}{\text{حر}_1}$ ؛

∴ كفاءة المحرك = ١ – $\frac{٣٥٠}{٥٠٠}$ = ١ – $\frac{٧}{١٠}$ = ٠٫٣ أو تساوي ٣٠٪ .

ب– كفاءة المحرك = ١ – $\frac{T_2}{T_1}$ ∴ كفاءة المحرك = ١ – $\frac{T_2}{٢٧٣+١١٧}$.

∴ كفاءة المحرك = ١ – $\frac{T_2}{٣٩٠}$.

∵ ٠٫٣ = ١ – $\frac{T_2}{٣٩٠}$ ، ∴ ١١٧ = ٣٩٠ – T_2 ، ومنها :

T_2 = ٢٧٣ K° .

∴ درجة حرارة المستودع البارد مقدرة بالدرجة المطلقة = ٢٧٣ K° .

درجة الحرارة بالدرجة المطلقة = درجة الحرارة بالدرجة المئوية + ٢٧٣ .

أي ٢٧٣ = درجة الحرارة بالدرجة المئوية + ٢٧٣ ،

∴ درجة حرارة المستودع البارد بالدرجة المئوية = ٢٧٣ – ٢٧٣ = صفر مْ .

مثال (٢) : محرك حراري يأخذ كمية من الحرارة مقدارها (٣٠٠٠ كيلوجول) من مصدر حراري عند درجة حرارة مقدارها ٥٢٧°م، ويطرد كمية من الحرارة إلى الهواء الجوي، فإذا كانت درجة حرارة الهواء الجوي ٧°م، فاحسب :

أ– كمية الحرارة المطرودة . ب– الشغل الناتج من المحرك .

جـ– كفاءة المحرك .

الحـــــل : T_1 = ٥٢٧ + ٢٧٣ = ٨٠٠ K° .

T_2 = ٧ + ٢٧٣ = ٢٨٠ K° .

∵ $\frac{\text{حر}_2}{\text{حر}_1}$ = $\frac{T_2}{T_1}$ ∴ $\frac{\text{حر}_2}{٣٠٠٠}$ = $\frac{٢٨٠}{٨٠٠}$ ، ومنها :

حر$_2$ = ١٠٥٠ كيلو جول .

el-online.net

أ – ∴ كمية الحرارة المطرودة = ١٠٥٠ كيلوجول .

ب – ∵ الشغل الناتج = حر١ – حر٢ .

∴ الشغل الناتج = ٣٠٠٠ – ١٠٥٠ = ١٩٥٠ كيلوجول .

جـ – كفاءة المحرك = ١ – $\frac{\text{حر}_2}{\text{حر}_1}$.

∴ كفاءة المحرك = ١ – $\frac{١٠٥٠}{٣٠٠٠}$ = ١ – ٠,٣٥ = ٠,٦٥ أو ٦٥٪ ،

أو كفاءة المحرك = ١ – $\frac{T_2}{T_1}$ ∴ كفاءة المحرك = ١ – $\frac{٢٨٠}{٨٠٠}$ = ٠,٦٥ .

أو نحسبها من :

كفاءة المحرك = $\frac{\text{الشغل}}{\text{حر}}$ = $\frac{١٩٥٠}{٣٠٠٠}$ = ٠,٦٥

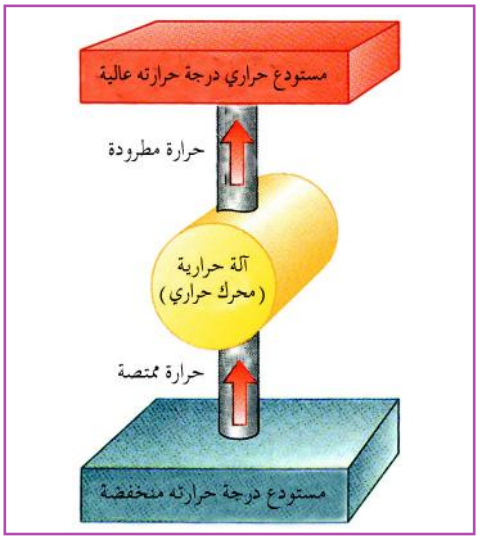
وللعلم أن جميع المحركات(الآلات)الحرارية سواء أكانت ذات الاحتراق الخارجي، مثل : المحرك البخاري أم ذات الاحتراق الداخلي، مثل : محركات الديزل، والبنزين، والفحم، لا تصل كفاءتها إلى ١٠٠٪ فمثلاً تبلغ الكفاءة القصوى لمحرك البنزين– (وهذا من الناحية النظرية، وليس العملية) حوالي ٦٧٪ والكفاءة القصوى لمحرك الديزل لا تتعدى ٦٤٪ (وهذا نظرياً)، ولكن عملياً فهي أقل من ذلك .

القانون الثاني للديناميكا الحرارية:
The Second Law of Thermodynamics

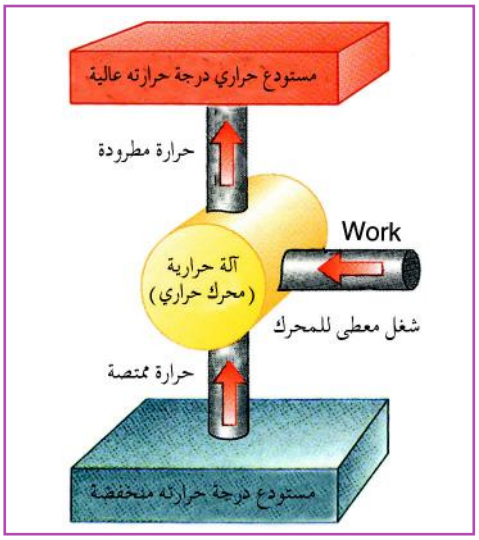
تعرفت من خلال هذه الوحدة أن المحركات (الآلات) الحرارية لكي تبذل شغلاً؛ تأخذ الحرارة من المصدر الحراري (المستودع الساخن)، وتطردها إلى المستودع البارد . فهل من الممكن للمحرك الحراري أن يأخذ الحرارة من المستودع البارد (أي من مكان بارد)، ويطردها إلى المستودع الساخن . أم أنه من غير الممكن فعل ذلك؟

لقد وضح ذلك العالم كلاوزيوس (Clausius)؛ حيث قال : « من المستحيل صناعة آلة حرارية تعمل بحيث تمتص الحرارة من مستودع حراري درجة حرارته منخفضة، وتطردها إلى مستودع درجة حرارته عالية دون بذل شغل ميكانيكي » . وهذا أحد نصوص القانون الثاني أُنظر إلى الشكلين (٥)،(٦) .

el-online.net



شكل (٥) آلة حرارية مستحيلة (حسب نص كلاوزيوس) .



شكل (٦) آلة حرارية ممكنة (حسب نص كلاوزيوس) .

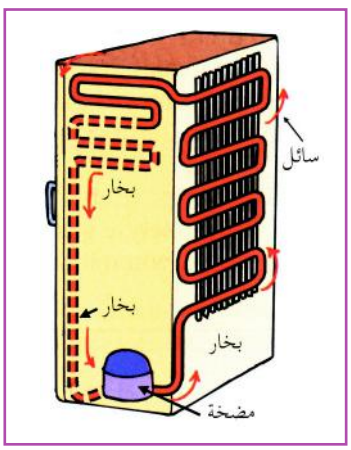
– ما الذي يوضحهما الشكلان (٥)،(٦)؟ .

إن الشكل (٥) يبين أنه لا يمكن لآلة حرارية، أو محرك حراري أن يعمل بحيث يمتص حرارة من مكان بارد ويطردها إلى مكان ساخن ، بينما الشكل (٦) يبين أنه يمكن للآلة الحرارية، والمحرك الحراري أن يعمل بحيث يمتص الحرارة من مكان بارد ويطردها إلى مكان ساخن إذا زود بشغل ميكانيكي، وهذا ما يتم في الثلاجة، أو المكيف، وفي المضخة الحرارية (Heat Pump) . وهناك صيغة أخرى للقانون الثاني، تسمى : صيغة (كلفن–بلانك) نسبة للعالمين كلفن وبلانك وهي تكافئ صيغة كلاوزيوس .

الثلاجة (Refrigerator) :

– مِمَ تتركب الثلاجة في أبسط صورها؟، وكيف تجري فيها عملية نقل الحرارة من الوسط (المستودع) الأقل في درجة الحرارة إلى الوسط (المستودع) الأعلى في درجة الحرارة؟ .

ومن أين تستمد الشغل اللازم لذلك ؟ والشكل (٧) رسم توضيحي يبين تركيب الثلاجة .



شكل (٧)

el-online.net

تتركب الثلاجة من ثلاثة أجزاء أساسية هي :

أ – المكبس (Piston) .

ب – المكثف (Condenser) .

جـ – المبخر (Evaporator) .

انظر إلى الشكل (٧) .

ويستخدم عادة في الثلاجة غاز الفريون أو الأمونيا؛ حيث يسهل تحويلهما إلى الحالة السائلة بواسطة الضغط عند درجة الحرارة الاعتيادية .

وفي الثلاجة تتم عملية نقل الحرارة من الوسط (المستودع) الأخفض في درجة الحرارة إلى الوسط الأعلى في درجة الحرارة بواسطة الغاز المستخدم فيها . فكيف يتم ذلك ؟

يتم على النحو الآتي :

عند ضغط الغاز بالمكبس يمر الغاز في المكثف؛ فيتحول فيه من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة، وفي الوقت نفسه يحدث تخلخل في ضغط الأنبوبة الحلزونية للمبخر، ومن خلال الصمام (م) يتجه (الغاز السائل) إلى المبخر؛ حيث يتبخر الغاز السائل بسرعة، ويصاحب هذا التبخر امتصاصاً للحرارة بسرعة من الهواء الملامس لسطوح الأنبوبة الحلزونية للمبخر، مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الهواء، لذلك يمتص الهواء البارد داخل الثلاجة حرارة المواد الموجودة في الثلاجة فتبرد، وتجري عملية التبريد على أشدها في مجمِّد الثلاجة (الفريزر Freezer) وبعدما يتبخر الغاز السائل، ويتحول إلى غاز (أي : يتحول إلى الحالة الغازية) يعود إلى المكبس، ويُضغط ومن خلال المكثف فيتكثف، ويتحول مرة أخرى إلى غاز سائل ويمر بعد ذلك إلى المبخر من خلال الصمام (م) ومن المبخر إلى المكبس، ومن المكبس إلى المكثف، ومن المكثف إلى المبخر. وهكذا يمر الغاز في دورةٍ كاملة، وتستمر الثلاجة في عملها .

ملاحظة : تمر أنبوبة المبخر على مجمّد الثلاجة، بينما يكون المكثف خارج مخزن الثلاجة، وتقوم المضخة الحرارية (Heat Pump) بعمل مشابه لعمل الثلاجة (المكيّف) فهي تنقل الحرارة من مكان بارد إلى مكان ساخن . والشغل اللازم لأداء عمل كل من الثلاجة والمضخة الحرارية، يستمد من الطاقة الكهربائية التي تزود بها كلاً من الثلاجة، والمضخة الحرارية من المصدر الكهربائي .

el-online.net

المحركات الحرارية والتلوث البيئي:
(Heat Engines and Environmental Pollution)

شكل (٨)مصادر التلوث البيئي الناتج عن المحركات الحرارية.

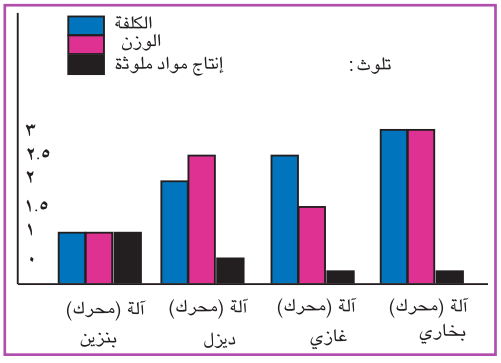
أُنظر إلى الصورة في الشكل (٨)، إنّ هذا المنظر الذي يبدو في الصورة منظرٌ ليس مرغوباً فيه. .لماذا؟

– في تصورك، كيف سيكون حال الهواء الجوي لمنطقتك، أو لمدينتك، أو لقريتك، أو لحارتك (حيك)؛ إذا ما زاد عدد مصادر الدّخان (العادم)؟

– ما الآثار السلبية الناتجة عن الدّخان على صحة، وحياة الناس، وعلى سلامة البيئة بشكل عام؟

بما أن معظم المحركات (الآلات) الحرارية سواء أكانت محركات ذات الاحتراق الداخلي أو ذات الاحتراق الخارجي لا تصل كفاءتها إلى ١٠٠٪ إنما أقل من ذلك بكثير لذلك فمعظم المحركات، وبالذات محركات الديزل، والبنزين، والفحم، تعاني من عدم قدرتها على حرق الوقود حرقاً كاملاً. بل يكون احتراق الوقود فيها احتراقاً متقطعاً، وهذا الاحتراق المتقطع للوقود هو الذي يسبب التلوث، ولكن عندما يكون الاحتراق للوقود في المحرك الحراري احتراقاً متواصلاً، وكاملاً، يقل التلوث الذي تسببه هذه المحركات.

مقارنة بين التلوث الناتج عن المحركات الحرارية المختلفة وكلفتها ووزنها :



شكل (٩)

أُنظر إلى الرسم البياني في الشكل(٩) الذي يبين مقارنة بين كل من المحرك البخاري، والمحرك الغازي (التربين الغازي)، ومحرك الديزل، ومحرك بنزين، من حيث مقدار التلوث الذي يسببه المحرك، وكلفة المحرك، ووزن المحرك.

el-online.net

– اقرأ الرسم البياني الموضح في هذا الشكل. ثم حدّد الآتي:

– أي من هذه المحركات الحرارية تكون أقل تلويثاً للبيئة؟ وأيها أكثر تلويثاً؟

– أي منها أقل تكلفة؟ وأي منها أكثر تكلفة؟

– أي منها أقل وزناً؟ وأي منها أكثر وزناً؟

– إذا طلب منك اختيار إحدى هذه المحركات، فأي محرك ستختار من حيث الأفضلية. معللاً اختيارك؟

من قراءتنا للرسم البياني في الشكل (٩) يتبين الآتي:

- إن أقل المحركات تلويثاً للبيئة، هو المحرك البخاري، والمحرك الغازي (التوربين الغازي). وأن أكثرها تلويث للبيئة، هو محرك البنزين.
- إن أقل المحركات تكلفة، هو محرك البنزين.. وأن أكثرها تكلفة، هو المحرك البخاري.
- إن أقل المحركات وزناً هو محرك البنزين وأن أكثرها وزناً هو المحرك البخاري.

ولكي يتضح ذلك أكثر نفذ الآتي:

– ارسم في كراستك جدولاً كالذي تراه أمامك.

– من واقع الرسم البياني في الشكل (٩)؛ اكمل تملئة الجدول بنفس الطريقة التي أُتبعت في الجدول الذي أمامك.

المحرك (الآلة)	التلوث	الكلفة	الوزن
المحرك البخاري	٠,٢٥	٣	٣
المحرك(التربين) الغازي	٠,٢٥		
محرك الديزل	٠,٥		
محرك البنزين			

موضوع للبحث

اكتب مقالاً علمياً مبسطاً عن أثر المحركات الحرارية على سلامة البيئة (التلوث البيئي .. عواقبه السلبية والطرق العملية المقترحة للحد منه).

el-online.net

س١ : أكمل الفراغات الآتية بما يناسبها :

أ – من الممكن تحويل الطاقة الحرارية إلى شغل ميكانيكي وذلك باستخدام .....الحرارية.

ب – تعد جميع المحركات (الآلات) الحرارية أنظمة .....حرارية، تأخذ الطاقة الحرارية اللازمة لعملها من مصدرها الساخن، وتستغل جزءاً منها في توليد .... وتطرد ما يتبقى منها.

جـ – يتركب محرك البنزين في أبسط صورة من أسطوانة مزودة بـ ..... قابل للحركة، ويتصل بأداة قابلة للدوران في أثناء حركته ، وتوجد على الأسطوانة فتحتان إحداهما لدخول ..... والأخرى لخروج ..... .

د – يتميز المحرك الذي يعمل بالبنزين بأنه مبني على دورة ..... الديناميكية الحرارية المثالية.

هـ – من المستحيل صناعة محرك حراري (آلة حرارية) تعمل بحيث تمتص الحرارة من مستودع درجة حرارته ...، وتطردها إلى مستودع آخر درجة حرارته ... دون بذل شغل.

و – تتركب الثلاجة من: .....و.....و.....

س٢ : ضع علامة (✓) أمام العبارة الصحيحة، وعلامة (X) أمام العبارة الخطأ فيما يأتي :

أ – يمكن للحرارة أن تنتقل من المستودع الحراري، أو إليه دون أن يؤدي ذلك إلى تغيير درجة حرارته ( ).

ب – تبين من خلال هذه الوحدة أنه من غير الممكن استغلال الطاقة الحرارية في الحصول على طاقة حركية (ميكانيكية) ( ).

جـ – لقد وجد أن الآلة الحرارية، أو المحرك الحراري يستخدم كل الطاقة الحرارية التي يستمدها من المصدر الحراري في توليد الشغل الميكانيكي ( ).

د – إن الصفة المشتركة لجميع المحركات الحرارية هي أنها تأخذ الطاقة الحرارية من المكان البارد، وتطردها إلى المكان الساخن دون احتياجها إلى شغل ( ).

هـ – محرك البنزين هو أحد الآلات الحرارية التي تقوم بتحويل الشغل الميكانيكي إلى حرارة ( ).

el-online.net

و – إن الشرط الأساسي الذي ينبغي توافره في المحرك الحراري هو أن يكون ذا كفاءة كبيرة ( ).

ز – تعرف كفاءة المحرك الحراري بأنها حاصل قسمة كمية الحرارة الداخلة إليه على مقدار الشغل الناتج من المحرك ( ).

ح – من أجل رفع كفاءة المحرك الحراري ينبغي زيادة مقدار كمية الحرارة المطرودة من المحرك، وتقليل كمية الحرارة الداخلة إلى المحرك ( ).

ط – لقد وجد أن كفاءة المحرك الحراري تزداد كلما زاد الفرق بين درجات حرارة المصدر الحراري والمستودع البارد التي تُطرد الحرارة إليه ( ).

ي – تقوم المضخة الحرارية بعمل مشابه لعمل الثلاجة فهي تنقل الحرارة من الوسط البارد إلى الوسط الساخن، والشغل اللازم لذلك يستمد من الطاقة الكهربائية ( ).

ك – يقل التلوث الذي تسببه المحركات الحرارية عندما يكون احتراق الوقود فيها متقطعاً ( ).

ل – أكثر المحركات الحرارية تكلفة ووزناً، وأقلها تلويثاً للبيئة هو المحرك البخاري ( ).

س٣ : ضع دائرة حول الحرف أو (الرمز) الذي يدل على الإجابة الصحيحة لكل عبارة من العبارات الآتية :

١– أحد الأجهزة التالية تستخدم لتحويل الحرارة إلى شغل ميكانيكي مباشرة.

أ – الدينامو. ب – الموتور. جـ – المحرك الكهربائي. د – المحرك الحراري.

٢– كفاءة المحرك الحراري تساوي حاصل :

أ – ضرب الشغل الناتج من المحرك في الطاقة الحرارية الداخلة إلى المحرك.

ب – قسمة الشغل الناتج من المحرك على الطاقة الحرارية الداخلة إلى المحرك.

جـ – مجموع الشغل الناتج من المحرك و الطاقة الحرارية الداخلة إلى المحرك.

د – الفرق بين الشغل الناتج من المحرك والطاقة الحرارية الداخلة إلى المحرك.

el-online.net

٣- تكون كفاءة المحرك مساوية الصفر، عندما تكون :

أ – ($T_1 < T_2$) . ب – (T_1 = صفراً) . جـ – ($T_2 = T_1$) . د – ($T_2 > T_1$) .

٤- أي من الآلتين الحراريتين التاليتين تتشابهان في عملهما :

أ – الثلاجة، ومحرك البنزين. ب – الثلاجة، والمحرك البخاري.

جـ – الثلاجة، والمضخة الحرارية. د – المضخة الحرارية، ومحرك الديزل.

٥- أكثر المحركات الحرارية إنتاجاً للمواد الملوثة للبيئة هو :

أ – المحرك البخاري. ب – المحرك الغازي.

جـ – محرك الديزل. د – محرك البنزين.

س٤ :أعط تعريفاً لما يأتي :

المحرك الحراري، المستودع الحراري، كفاءة المحرك الحراري، التلوث البيئي.

س٥ : علل لما يأتي :

أ – تزداد كفاءة المحرك الحراري كلما زاد الفرق بين درجة حرارة المصدر الحراري، (المستودع الساخن) والمستودع البارد.

ب – تصبح كفاءة المحرك الحراري صفراً إذا تساوت درجة حرارة المصدر الحراري ودرجة حرارة المستودع البارد.

جـ – لا تصل كفاءات المحركات (الآلات)الحرارية إلى ١٠٠٪.

د – يستخدم عادة في الثلاجات غاز الفريون، أو غاز الأمونيا.

هـ – في الثلاجة يتم التبريد على أشده في الفريزر (مجمد الثلاجة).

و – معظم المحركات الحرارية وبالذات محركات الفحم، والديزل تسبب تلويث البيئة.

س٦ : صف تركيب كل من :

١- محرك البنزين. ٢ – الثلاجة موضحاً ذلك بالرسم التخطيطي التوضيحي.

س٧ : كيف يقوم كل من الآتي بعمله : ١- محرك البنزين . ٢- الثلاجة .

el-online.net

س٨ : اذكر صيغة كلاوزيوس للقانون الثاني للديناميكا الحرارية ، ثم بين بالرسم التخطيطي الآلة الحرارية المستحيلة، والآلة الحرارية الممكنة حسب صيغة كلاوزيوس.

س٩ : محرك حراري يأخذ كمية من الحرارة من مصدر حراري درجة حرارته (٦٠٧ْم)، ويطرد كمية من الحرارة إلى مستودع درجة حرارته (٥٧ْم)، وفي أثناء ذلك ينتج شغلاً مقداره (٢٠٠ كيلو جول) . . احسب :

أ – كفاءته الحرارية.

ب – مقدار الحرارة المأخوذة.

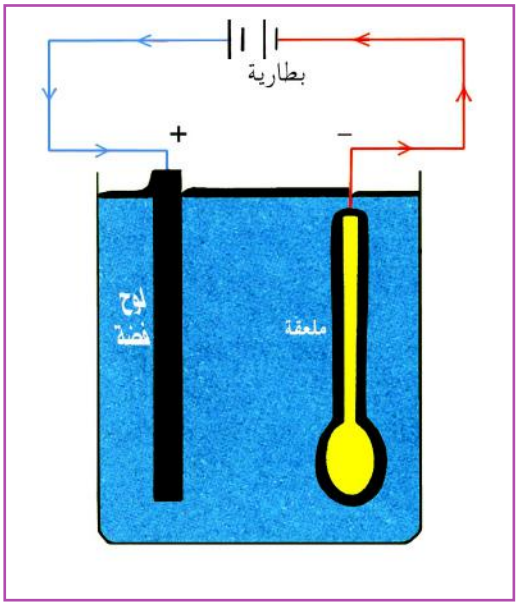
جـ – مقدار الحرارة المطرودة.

س١٠ : يعمل محرك حراري بحيث يسحب كمية من الحرارة مقدارها (٣٠ كيلو جول) فإذا كانت درجة حرارة المصدر الحراري (١٤٧ْم)، ويطرد كمية من الحرارة إلى مستودع درجة حرارته (٧ْم) فاحسب مقدار الشغل الذي يبذله المحرك؟

el-online.net

الوحدة الثامنة

التيار المستمر Direct Current



أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد دراسته لهذه الوحدة أن يكون قادراً على أن :

١- يعرّف كلاً من : القوة الدافعة الكهربية – الطاقة الكهربية – القدرة – عملية التحليل الكهربي – الجول – الكيلووات . ساعة .

٢- يذكر كلاً من القوانين الآتية :

قانون كيرشوف لدوائر التيار المستمر .

قانون جول (للطاقة المستهلكة) .

قانون فاراداي (للتحليل الكهربي) .

٣- يحل مسائل تطبيقية على القوانين المذكورة أعلاه .

٤- يحسب مقدار الطاقة الكهربية المستهلكة في دائرة بوحدات الجول والكيلووات . ساعة .

٥- يستخدم عملية التحليل الكهربي في طلاء المعادن .

٦- يتبع إجراءات السلامة عند استخدام الطاقة الكهربية .

el-online.net

سبق لك دراسة الطاقة الكهربية والتيار الكهربي عموماً، وعرفت أن هناك نوعان من التيار الكهربي الناقل للطاقة الكهربية، وهما: **التيار الكهربي المستمر**، وهو الذي تكون شدته ثابتة مقداراً واتجاهاً مع الزمن، ونحصل عليه من الأعمدة الكهربية، أو من تقويم تيار الدينامو، ويستخدم في الأجهزة الإلكترونية عموماً، وفي عملية التحليل الكهربي للسوائل.

أما **التيار الكهربي المتردد**، فهو ذلك التيار الذي تكون شدته متغيرة في المقدار والاتجاه بشكل دوري مع الزمن، ونحصل عليه من الدينامو البسيط، والمولدات عموماً ونستخدمه في المنازل والمعامل وغيرها.

وسنتابع في هذه الوحدة دراسة بعض القوانين والتطبيقات الخاصة بالتيار المستمر على أن يتم تناول التيار المتردد في المستقبل.

القوة الدافعة الكهربية Electromotive force

كيف تتحرك الجسيمات المشحونة داخل الموصل الكهربي؟.

لكي تعلم ذلك تذكر الملاحظات التالية:

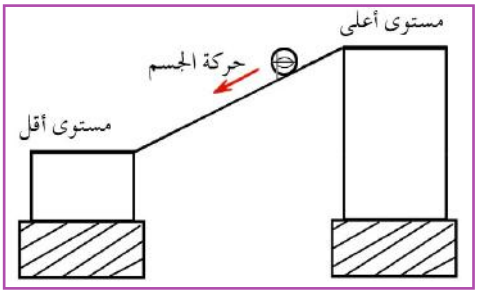
١- الجهد الكهربي على جسم مشحون: هو عبارة عن طاقة وضع كهربية كامنة في الجسم يمكن للجسم أن يحولها إلى طاقة حركية عند وجود انحدار جهد وموصل كهربي.

٢- يمكن مقارنة الجهد الكهربي على جسم بمقدار ارتفاع الجسم عن سطح البحر، وما يكتسبه من طاقة وضع عند رفعه إلى هذا المستوى انظر شكل (١)، وهذه الطاقة تتحول إلى طاقة حركية عند وجود اختلاف، في الجهد أو في الارتفاع.

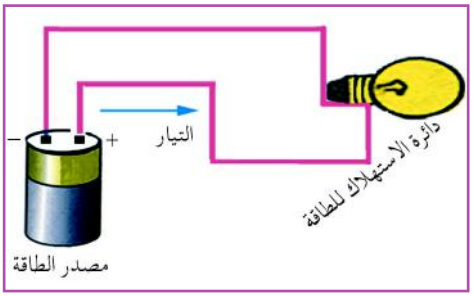
٣- إنّ مقدار الاختلاف في الجهد الكهربي بين نقطتين والذي يسمى فرق الجهد الكهربي (Potential difference): هو القوة المحركة أو الدافعة للجسيمات الكهربية الناقلة للتيار الكهربي بين النقطتين عند وجود موصل كهربي يربط النقطتين.

el-online.net

٤- يتطلب توليد هذا الفرق في الجهد الكهربي بين نقطتين تحول نوع من أنواع الطاقة إلى طاقة كهربية، من أحد مصادر الطاقة الكهربية كما هو موضح في الشكل (٢)، والذي يتم فيه هذا التحول، وتنشأ فيه نقطتان مختلفتان في الجهد، وتمد الدائرة الكهربية بالقوة الدافعة الكهربية (ق . د . ك .) اللازمة لتحريك التيار الكهربي .



شكل (١)



شكل (٢)

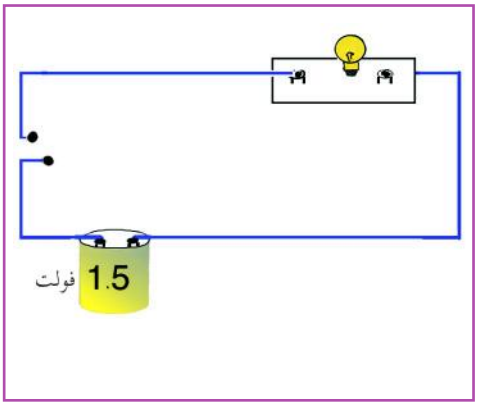
٥- مقدار طاقة الوضع التي يمتلكها الجسم يعتمد على مقدار فرق الجهد الكهربي بين طرفي المصدر، ونستطيع أن نحصل على طاقة كهربية نتيجة مرور التيار في الدائرة . أما مقدار القوة الدافعة الكهربية للمصدر فتساوي مقدار الشغل الذي يبذل لنقل الشحنات الكهربائية خلال دائرة كاملة مغلقة .

٦- يكون مقدار القوة الدافعة الكهربية للمصدر يساوي عددياً مقدار فرق الجهد بين طرفيه عندما تكون الدائرة الخارجية مفتوحة، ويقاس بوحدة الفولت .

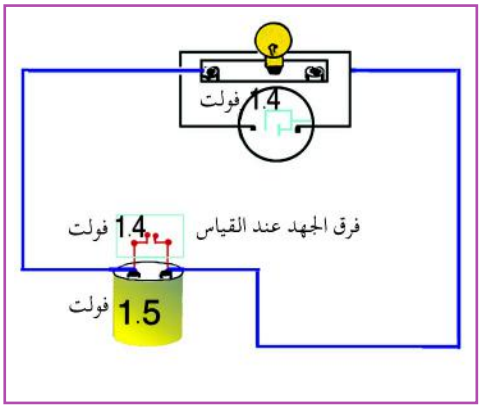
٧- عند استخدام أجهزة القياس الكهربية لقياس مقدار فرق الجهد الكهربي بين طرفي المصدر فإن تياراً كهربياً يمر في الدائرة، وهذا يعني أن جزءاً من الطاقة الكهربية والقوة الدافعة قد استهلكت على شكل حرارة،وغيرها، وهذا يعني أن القراءة الظاهرة لجهاز القياس لا تعبر بدقة عن مقدار القوة الدافعة الكهربية للمصدر، انظر الشكلين (٣ ، ٤) ، ولذلك يُعبر عن مقدار القوة الدافعة الكهربية للمصدر بأنها مقدار فرق الجهد الكهربي (جـ) بين طرفيه في دائرة مفتوحة، وهو يساوي عددياً مقدار الشغل المبذول في تحريك وحدة الشحنة بين نقطتين في مجال كهربائي :

$$\text{جـ} = \frac{\text{الشغل}}{\text{مقدار الشحنة}}$$

el-online.net



شكل (٣)



شكل (٤)

ملاحظة :

يكون اتجاه التيار من القطب الموجب إلى القطب السالب في الدائرة الخارجية ومن القطب السالب إلى الموجب داخل المصدر .

قانونا كيرشوف لدوائر التيار المستمر

Kirchhoffs laws for DC Circuits:

– ما الذي ينظم حركة الشحنات الكهربية في الدوائر؟

– وما شكل توزيع طاقة الوضع (فرق الجهد) على الأحمال المختلفة في الدوائر الكهربية؟

للإجابة عن تلك التساؤلات سنحاول التعرف على قانوني كيرشوف :

فقد كان للعالم الألماني جوزيف كيرشوف (١٨٢٤–١٨٨٧) جهوداً كبيرة في علم الفيزياء وقد حصل منها على نتائج تجريبية لها أهمية بالغة في دراسة وتفسير العديد من الظواهر، والقياسات الكهربية في دوائر التيار المستمر، ومن تلك النتائج : قانوني كيرشوف الخاصين بدوائر التيار المستمر، وهما كما يلي :

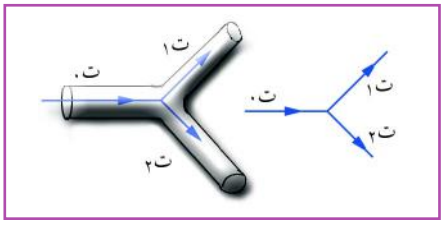
el-online.net

القانون الأول لكيرشوف (Kirchhoff's 1st law)

ويسمى قانون حفظ الشحنة، (Charge Concervation law) :

وأحياناً قانون كيرشوف لشدة التيار (Kirchhoff's Current law) :

وفيه عالج العالم كيرشوف خاصية تفرع التيار الكهربي في الدوائر الكهربية إلى عدة فروع كما يظهر في الشكل (٥)، وكيفية التعامل مع تلك العملية، وينص القانون الأول لكيرشوف على ما يأتي :



شكل (٥)

«عند تفرع التيار الكهربي عند نقطة في دائرة كهربية مغلقة للتيار المستمر؛ فإن المجموع الجبري لشدة التيارات عند تلك النقطة = صفر

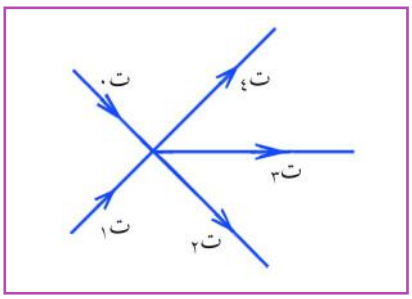
ونعبر عنه رياضياً بالعلاقة التالية :

$$\text{مجـ}_{ن=١}^{ن}\ ت_ن = \text{صفراً} \qquad \ldots\ldots\ldots (١)$$

(حيث ن = ١ ، ٢ ، ٣ ، ... عدد صحيح موجب)

ويعتبر التيار الداخل للنقطة موجباً والتيار الخارج منها سالباً . أي أن: لا تراكم للشحنة الكهربية عند نقاط التفرع في الدوائر الكهربية للتيار المستمر .

فإذا مر تيار كهربي شدته = ت. (أمبير) في جزء من دائرة شكل (٥) ، ثم تفرع عند نقطة ما إلى الفرعين: ت١ أمبير و ت٢ أمبير فإن:



شكل (٦)

$$ت. - ت_١ - ت_٢ = \text{صفر}$$

$$\therefore\ ت. = ت_١ + ت_٢ \quad .$$

مجموع التيارات الداخلة إلى نقطة

= مجموع التيارات الخارجة منه.

وفي الشكل (٦) يكون :

$$ت. + ت_١ - ت_٢ - ت_٣ - ت_٤ = \text{صفراً} \Longleftarrow ت. + ت_١ = ت_٢ + ت_٣ + ت_٤$$

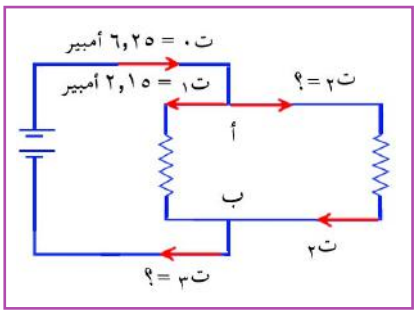
ويسمى هذا المبدأ بمبدأ حفظ الشحنة Charge Concervation

el-online.net

مثال (١) : احسب شدة التيارات المجهولة في الدائرة المبينة في الشكل (٧) .

الحـل :

نلاحظ في الدائرة المذكورة أن التيار (ت$_{.}$) قد تفرع عند النقطة أ إلى الفرعين ت$_{١}$ ، ت$_{٢}$ ، ثم يجمع التياران في نقطة ب إلى تيار موحد ت$_{٣}$ ، ومن قانون كيرشوف الأول لتفرع التيارات نجد أن :



شكل (٧)

$\overset{٢}{\underset{ن=١}{مـجـ}}$ ت$_{ن}$ = صفراً (عند النقطة أ) .

أي أن ت$_{.}$ – ت$_{١}$ – ت$_{٢}$ = صفراً .

٦٫٢٥ – ٢٫١٥ – ت$_{٢}$ = صفراً .

٤٫١٠ – ت$_{٢}$ = صفراً .

∴ ت$_{٢}$ = ٤٫١ أمبير .

وكذلك عند النقطة (ب) نجد أن :

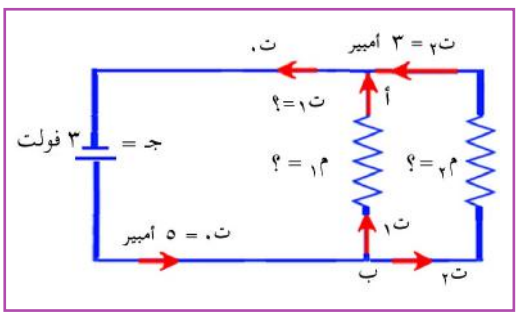
ت$_{١}$ + ت$_{٢}$ – ت$_{٣}$ = صفراً .

٢٫١٥ + ٤٫١٠ – ت$_{٣}$ = صفراً .

∴ ٦٫٢٥ – ت$_{٣}$ = صفراً .

ت$_{٣}$ = ٦٫٢٥ أمبير .

نلاحظ أن : ت$_{.}$ = ت$_{٣}$



شكل (٨)

مثال (٢) : احسب مقدار المقاومتين المجهولتين (م$_{١}$ ، م$_{٢}$) في الشكل (٨) .

الحـل :

من الشكل (٨) نلاحظ أن شدة التيار الرئيس ت$_{.}$ = ٥ أمبير قد تفرع عند النقطة (ب) إلى فرعين هما (ت$_{١}$) يمر في المقاومة المجهولة (م$_{١}$)، والفرع الآخر (ت$_{٢}$) يمر في المقاومة الأخرى (م$_{٢}$) .

ويكون ت$_{.}$ – ت$_{١}$ – ت$_{٢}$ = صفراً . (قانون كيرشوف الأول) .

el-online.net

∴ ٥ – ٣ – ت١ = صفراً. ومنه

ت١ = ٢ أمبير.

ومن قانون أوم يكون مقدار المقاومة المجهولة م١ = $\frac{\text{جـ}}{\text{ت}_1}$ = $\frac{٣}{٢}$ = ١٫٥ أوم.

ومقدار المقاومة م٢ = $\frac{\text{جـ}}{\text{ت}_2}$ = $\frac{٣}{٣}$ = ١ أوم.

نشاط (١)

بمشاركة مجموعة من زملائك قم برسم عدة دوائر كهربية متفرعة، وأوجد قيم شدة التيار المجهولة في أحد الفروع، أو مقاومة مجهولة في أحد الفروع.

القانون الثاني لكيرشوف (Kirchhoff's 2st law)

ويسمى أحياناً قانون كيرشوف للجهد (Kirchhoff Voltage Law):

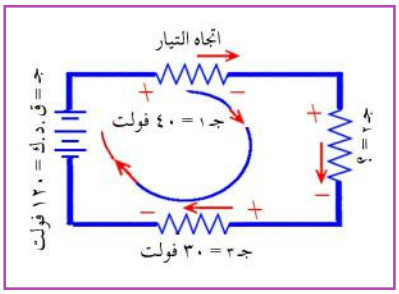
ويعالج فروق الجهد (جـ)، والقوى الدافعة الكهربية (ﻫ) في الدوائر المغلقة، وينص القانون على أن:

«في أي دائرة مغلقة للتيار المستمر يكون المجموع الجبري لفروق الجهد والقوى الدافعة الكهربية يساوي صفراً.

ويطلق عليه – أحياناً – قانون حفظ الطاقة» ، ونعبر عنه رياضياً بالعلاقة الآتية:

$$\sum_{د_1=1}^{د_1} \text{مجـ}_{د_1} \text{ﻫ}_{د_1} + \sum_{د_2=1}^{د_2} \text{مجـ}_{د_2} = \text{صفر} \quad \ldots\ldots\ldots (٢)$$

وكمثال على ذلك نعتبر الدائرة الكهربية المغلقة المبينة في الشكل (٩)؛ ومع أخذ الاتجاه بعين الاعتبار وهو أن تكون إشارة الجهد أو القوة الدافعة الكهربية موجبة عند الانتقال من القطب الموجب إلى السالب أو الانتقال في نفس جهة التيار والعكس صحيح:



شكل (٩)

el-online.net

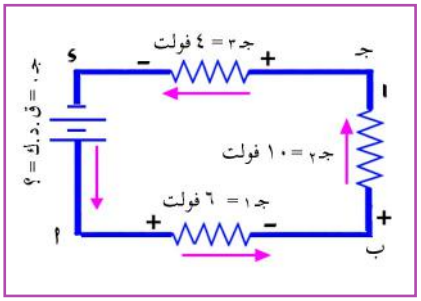
∴ هـ – حـ١ – حـ٢ – حـ٣ = صفراً .

١٢٠ – ٣٠ – حـ٢ – ٤٠ = صفراً .

حـ٢ = ١٢٠ – ٧٠

حـ٢ = ٥٠ فولت .

مثال (٣) : احسب مقدار القوة الدافعة الكهربية للبطارية (هـ) في الدائرة الموضحة في الشكل (١٠) .



شكل (١٠)

الحل :

بتطبيق قانون كيرشوف الثاني على شكل (١٠) ونبدأ من نقطة (أ) باتجاه النقطة (ب) نجد أن :

هـ – حـ١ – حـ٢ – حـ٣ = صفراً .

هـ = حـ١ + حـ٢ + حـ٣

هـ = ٦ + ١٠ + ٤ = ٢٠ فولتاً .

الطاقة الكهربية المستهلكة

ذكرنا سابقاً أن مرور تيار كهربي في موصل ينتج عن وجود فرق جهد كهربي بين طرفي الموصل، وهذا الفرق في الجهد يشكل بالنسبة للجسيمات المشحونة طاقة الوضع الكامنة في الجسيمات قبل حركتها ، فإذا تحركت هذه الجسيمات في الموصل مشكلّة تيار كهربي؛ فإن طاقة الوضع تتحول إلى طاقة حركية تتغلب بواسطتها الجسيمات على قوة المجال الكهربي في الموصل ، ويكون مقدار الطاقة الكهربية المارة في موصل تساوي عددياً مقدار الشغل المبذول في التغلب على المجال الكهربي في الموصل .

أي أن : الطاقة الكهربية المستنفدة = مقدار الشغل المبذول لتحريك الشحنات داخل الموصل .

الطاقة الكهربية = فرق الجهد بين طرفي الموصل X الشحنة الكهربية

(ارجع إلى موضوع القوة الدافعية الكهربية ملاحظة (٧)) .

el-online.net

$$\text{طا} = \text{جـ} \times \text{س}_c$$ ..... (٣) . (حيث س_c مقدار الشحنة)

ولكن ت = $\frac{\text{الشحنة}}{\text{الزمن}}$.

∴ س_c = ت × ز ، بالتعويض في (٣) نجد أن :

$$\text{طا} = \text{جـ} \times \text{ت} \times \text{ز}$$ ..... (٤)

وحيث أن : جـ = م × ت .

∴ $\text{طا} = \text{م} \times \text{ت}^2 \times \text{ز}$ ..... (٥)

وتقاس الطاقة بوحدة الجول .

القدرة الكهربية Electric Power :

تعرف القدرة الكهربية (قد) للمولد بأنها المعدل الزمني لإنتاج الطاقة .

أي أن : قد = $\frac{\text{الطاقة}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{طا}}{\text{ز}}$.

ومن العلاقتين (٤) و (٥) نجد أن :

$$\text{قد} = \text{م} \times \text{ت}^2 = \text{جـ} \times \text{ت} = \frac{\text{جـ}^2}{\text{م}}$$ ..... (٦)

وتقاس (قد) بوحدة الوات . ويعرف الوات بأنه قدرة آلة تولد طاقة مقدارها واحد جول في كل ثانية .

أي أن الوات = $\frac{\text{جول}}{\text{ثانية}}$ ∴ جول = وات × ثانية

تعريف الكيلووات . ساعة :

هي الوحدة العملية التجارية لقياس الطاقة الكهربية المستهلكة بدلاً من الجول وهي تساوي عددياً : مقدار الطاقة الكهربية المستهلكة من مصدر قدرته واحد كيلووات لمدة زمنية مقدارها ساعة واحدة .

∴ كيلووات × ساعة = ٣٦٠٠٠٠٠ جول .

حيث أن : جول . ساعة = (وات . ثانية) . ساعة ⇐ ٣٦٠٠ جول . ثانية = (وات ثانية) . ساعة .

∴ وات . ساعة = ٣٦٠٠ جول .

el-online.net

مثال (٤) : احسب بالجول وبالكيلووات . ساعة مقدار الطاقة الكهربية المستهلكة لإضاءة مصباح قدرته (١٠٠) وات لمدة أربع ساعات .

الحل :

الطاقة الكهربية المستهلكة في إضاءة المصباح = قدرة المصباح X الزمن

طـا = **قد** X ز

= ١٠٠ وات X ٤ ساعات

= ١٠٠ $\frac{\text{جول}}{\text{ثانية}}$ X ٤X٦٠X٦٠ ثانية

∴ الطاقة المستهلكة طا = ١٤٤٠٠٠٠ جول .

∵ كيلو وات ساعة = ٣٦٠٠٠٠٠ جول

∴ الطاقة المستهلكة طا = $\frac{١٤٤٠٠٠٠}{٣٦٠٠٠٠٠}$ = ٠,٤ كيلو وات . ساعة

مثال (٥) : احسب مقدار الطاقة الكهربية بالجول والكيلووات .ساعة، التي تستهلكها مجموعة من المصابيح وعددها عشرون مصباحاً، مكتوب على كلٍّ منها (١١٠ فولت،٦٠وات) إذا أضيئت المجموعة لمدة خمس ساعات . ثم احسب مقاومة المصباح الواحد .

الحـل :

طا كلية = عدد المصابيح X طاقة المصباح الواحد

طا كلية = عدد المصابيح X قدرة المصباح X الزمن

= ٢٠ X ٦٠ X ٥ X ٣٦٠٠

= ٢١٦٠٠٠٠٠ جول

= $\frac{٢١٦٠٠٠٠٠}{٣٦٠٠٠٠٠}$ = ٦ كيلو وات . ساعة

ولحساب مقدار مقاومة المصباح الواحد فإن :

قدرة المصبـاح (قد) = $\frac{\text{جـ}^٢}{\text{م}}$

∴ مقاومة المصباح (م) = $\frac{\text{جـ}^٢}{\text{قد}}$ = $\frac{١١٠X١١٠}{٦٠}$ ($\frac{\text{فولت X فولت}}{\text{وات}}$)

مقاومة المصباح = ٢٠١,٧ أوم .

el-online.net

التأثيرات الحرارية للتيار المستمر، Heat effects of DC

من دراستك للتأثيرات المختلفة للتيار الكهربي علمت أن التيار الكهربي المار في موصل يخسر جزءاً من الطاقة الكهربية التي تتحول إلى طاقة حرارية بسبب مقاومة السلك لحاملات الشحنة المكونة للتيار.

إن عدد الأجهزة الكهربية التي تقوم فكرة عملها على أساس تحول جزء من الطاقة الكهربية إلى طاقة حرارية – والتي تستعملها في حياتك اليومية – كثيرةٌ جداً (مثل السخانة أو المكواة) الأمر الذي يؤكد أهمية تلك التأثيرات الحرارية للتيار الكهربي في حياتنا اليومية.

ولكن ما هي العوامل التي يتوقف عليها مقدار كمية الحرارة المتولدة في موصل عند مرور تيار كهربي فيه؟

للإجابة عن هذا السؤال قم بإجراء التجربة العملية بهذا الخصوص في كراس الأنشطة.

من تلك التجربة ستلاحظ أن مقدار كمية الحرارة المتولدة في موصل عند مرور تيار كهربي فيه، يتوقف على العوامل الآتية:

١ – شدة التيار الكهربي المار في الموصل ت حيث: طا α ت^{٢}

أي أن (كمية الحرارة المتولدة في موصل تتناسب طردياً مع مربع شدة التيار المار فيه).

٢ – مقاومة الموصل م : طا α م

أي أن (كمية الطاقة الحرارية المستهلكة في موصل تتناسب طردياً مع مقاومة الموصل).

٣– الزمن الذي يمر خلاله التيار (ز) . حيث: طا αز

أي أن (كمية الطاقة المتحولة تتناسب طردياً مع زمن مرور التيار).

قانون جول، (Joul's law)

قام العالم جول بدراسة النتائج التجريبية لحساب مقدار كمية الطاقة المستهلكة في موصل عند مرور تيار كهربي فيه، وتوصل من ذلك إلى قانونه الهام الذي سُمِّي باسمه (قانون جول).

el-online.net

وينـص عـلـى أن :

« كمية الحرارة المتولدة في سلك عند مرور تيار كهربي فيه تتناسب طردياً مع كل من مقاومة السلك و مربع شدة التيار المار فيه، وزمن مرور التيار » .

مـلاحـظة : بالنظر إلى العـلاقـتين (٤)و(٥) يمكن أن تـلاحظ أن الطاقـة الكهـربـائيـة تتناسب مع مربع التيار والزمن والمقاومة، أي أن :

حر α ت^{٢}

حر α م

حر α ز

∴ حر α ت^{٢} × م × ز

حر = مقدار ثابت × ت^{٢} × م × ز

شكل (١١) .

هذا المقدار الثابت يساوي ($\frac{١}{ي}$) ويسمى ي (مكافئ جول)، أو المكافئ الكهروحراري، ويعتمد على وحدات القياس .

∴ $\boxed{\text{حر} = \frac{١}{ي} \times \text{ت}^{٢} \times \text{م} \times \text{ز}}$ سُعر ..... (٧)

وبمقارنة المعادلة (٧) مع المعادلة (٥) نجد أن :

$\boxed{\text{طا} = \text{ي حر}}$ ..... (٨)

أما القدرة لهذه الطاقة فهي المعدل الزمني للطاقة المستهلكة أي :

$\boxed{\text{القدرة} = \text{ت}^{٢} \times \text{م}}$ وات ، أو القدرة = $\frac{\text{ي حر}}{\text{ز}}$ ..... (٨)

وإذا استخدمت وحدات القياس العملية : (أمبير لشدة التيار، والفولت للجهد، والأوم للمقاومة، والثانية للزمن)؛ فإن قيمة مكافئ جول تكون (٤٫١٨ جول / سعر) .

أو ي = ٤٫١٨ × ١٠^{٧} ارج / سُعر . أما وحدة قياس كمية الحرارة (حر) فتكون بالسعر .

تعريف الجول : يمكن تعريفه عن طريق المعادلة (٤) ويعرف بأنه : مقدار الطاقة الكهربية المستهلكة في موصل فرق الجهد بين طرفيه (واحد) فولت، ويمر به تيار كهربي شدته (واحد) أمبير لمدة ثانية واحدة .

مثال (٦) : احسب مقدار الطاقة الكهربائية (طا) المستنفذة من المصدر الكهربائي، والطاقة الحرارية (حر) المتولدة في سلك مقاومته = ١٠ أوم عند مرور تيار كهربي شدته (٢) أمبير لمدة (٧) دقائق .

el-online.net

الحل: ز = ٦٠X٧ = ٤٢٠ ثانية ، م = ١٠ أوم ، ت = ٢ أمبير.

الطاقة الكهربائية المستهلكة طا = ت^{٢} X م X ز

طا = ٢X٢ X ١٠ X ٤٢٠

طا = ١٦٨٠٠ جول

الطاقة الحرارية المتولدة حر = $\frac{\text{ت}^{٢} \times \text{م} \times \text{ز}}{\text{ي}} = \frac{\text{طا}}{\text{ي}} = \frac{\text{١٦٨٠٠ جول}}{\text{٤,١٨ جول/سعر}}$

حر = ٤٠١٩ سعر

مثال (٧): احسب كمية الحرارة بالسعر المتولدة في موصل فرق الجهد بين طرفيه ٦٠ فولتاً، ويمر به تيار شدته (٢) أمبير لمدة ساعة واحدة.

الحل: طا = ت X جـ X ز

= ٢ X ٦٠X ٦٠X ٦٠

= ٤٣٢٠٠٠ جول

حر = $\frac{\text{طا}}{\text{ي}} = \frac{\text{ت X جـ X ز}}{\text{ي}} = \frac{٢X٦٠X٦٠X٦٠}{٤,١٨}$ = ١٠٣٣٤٩ سعر

التأثيرات الكيميائية للتيار المستمر،

من معلوماتك السابقة ومشاهداتك العامة. يمكنك ملاحظة أن الماء المقطر رديء التوصيل كهربياً، بينما إذا أضفت إلى الماء المقطر قليلاً من ملح الطعام فإنه يصبح جيد التوصيل كهربياً. ويمكن القيام بالنشاط البسيط التالي للتأكد من ذلك.

نشاط (٢)

- خذ إناءً زجاجياً به كمية من الماء المقطر، واغمس داخله قطبين من الكربون متصلين بقطبي بطارية، ومفتاح، وجلفانومتر.
- أغلق الدائرة، ولاحظ مؤشر الجلفانومتر.

ماذ تشاهد؟

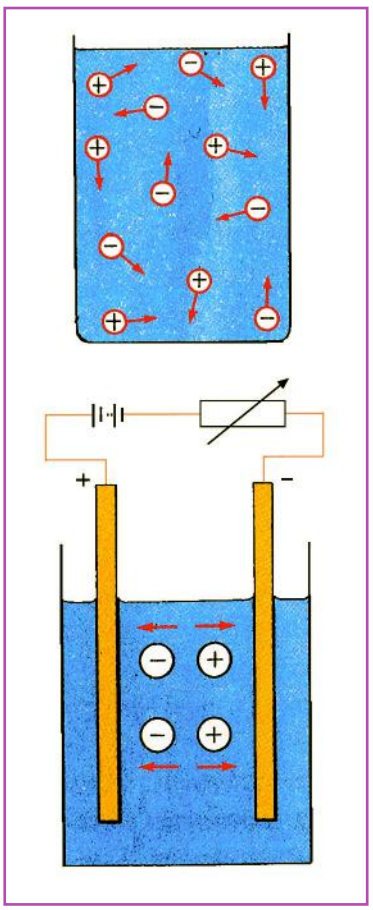
- أضف كمية من ملح الطعام إلى الماء المقطر، ولاحظ مؤشر الجلفانومتر.

استنتج من مشاهدتك تصنيف كل من الماء المقطر، والماء المالح كهربياً.

el-online.net

ولكي نفسر ما حدث علينا أن نتعرف على تركيب كل من الماء المقطر، والملح كيميائياً، ومعرفة تأثير ذوبان الملح في الماء على هذا التركيب، ثم معرفة نتائج ذلك على التوصيل الكهربي، واستنتاج آلية التوصيل الكهربي لمحلول ملح الطعام في الماء.

تمثل ذرات الماء المقطر والملح –كلٌّ على حدة – ثنائي قطب كهربي، يجمع أيونين مختلفين كهربياً، ويربط بينهما كيميائياً قوة ربط أيونية كما هو موضح في الشكل(١٢)، وهذا الترابط يجعلهما رديئي التوصيل كهربياً، ولكن عند ذوبان الملح في الماء المقطر؛ فإن ثنائيات قطب الملح تخضع لعملية شد وتوتر كهربي من ثنائيات قطب الماء التي تلتف حول أقطاب الملح، وهذا يؤدي إلى تفكك الروابط لكل منهما وتكسرها، وتحرر الأيونات الموجبة، والسالبة ومشاركتها في التوصيل الكهربي للمحلول الذي يصبح بذلك جيدَ التوصيل كهربياً.



شكل (١٢).

ويمكنك من خلال ما تقدم استنتاج آلية التوصيل الكهربي للسوائل، أو المحاليل التي تسمى محاليل إلكتروليتية (Electrolytes).

فعملية التوصيل تتم بواسطة الأيونات الموجبة، والأيونات السالبة المتكونة في المحلول، فعند توصيل قطبين مغموسين في محلول إلكتروليتي بواسطة مصدر فرق جهد كهربي، فإن الأيونات الموجبة تنجذب نحو القطب السالب، والأيونات السالبة تنجذب نحو القطب الموجب، ويمر تيار كهربي في المحلول، وتترسب كمية من المادة على القطب السالب، وتسمى هذه العملية التحليل الكهربي للمحلول (Electic analysis).

ويسمى الجهاز المستخدم في العملية بعمود التحليل الكهربي.

el-online.net

وهما القانونان اللذان يدرسان نتائج التحليل الكهربي، والعلاقات الرياضية التي تنظمهما؛ حيث درسها العالم فاراداي وقد كتبت باسمه: قانونا فاراداي للتحليل الكهربي.

قانون فاراداي الأول، (Faraday: l'st Law)

توصل العالم فاراداي من خلال نتائج التجارب التي أجراها لهذا الغرض إلى أن كتلة المادة المترسبة، أو المتحللة في عمود تحليل كهربي تتناسب طردياً مع كمية الشحنة الكهربية المارة في عمود التحليل .

أي أن :

ك $\propto$ س$_c$ ؛ حيث (ك) كتلة المادة المترسبة ، (س$_c$) كمية الشحنة المارة .

∴ ك = مقدار ثابت × س$_c$.

ويطلق على هذا المقدار الثابت المكافئ الكيميائي الكهربي للمادة، ويرمز له بالرمز كـ .

∴ ك = كـ × س$_c$. ولكن س$_c$ = ت × ز .

∴ **ك = كـ × ت × ز** ..... (٩)

حيث (ز) هو زمن مرور التيار .

تعريف : المكافئ الكيميائي الكهربي للمادة **هو كتلة المادة المترسبة، على مهبط عمود تحليل كهربي عند مرور شحنة كهربية مقدارها (واحد) كولوم خلاله.**

ووحدة قياسه = كجم / كولوم.

مثال (٨) : احسب كتلة الفضة المترسبة على كاثود عمود تحليل كهربي لنترات الفضة إذا مرّ فيه تيار كهربي شدته (٢) أمبير لمدة خمس دقائق علماً بأن المكافئ الكيميائي الكهربي للفضة هو :

كـ فضة = ٠,٠٠١١١٨ جم / كولوم.

الحل : ز = ٥ × ٦٠ = ٣٠٠ ثانية.

∴ من العلاقة (٩) نجد أن :

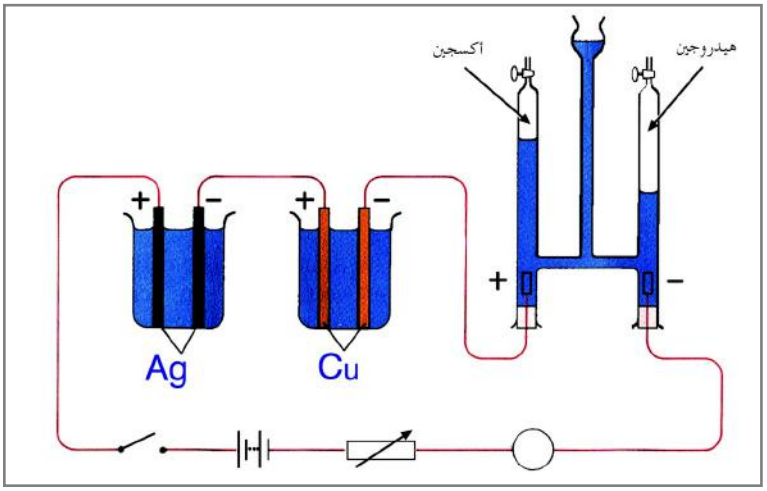
ك = كـ × ت × ز = ٠,٠٠١١١٨ × ٢ × ٣٠٠ = ٠,٦٧٠٨ جم .

el-online.net

قانون فاراداي الثاني، (Faraday 2'nd Law) :

وهو القانون الذي يناقش اختلاف نتائج التحليل الكهربي باختلاف نوع المادة المترسبة لنفس كمية الشحنة الكهربية وينص على أن :

« كتل المواد المترسبة، أو المتحللة في أعمدة تحليل كهربي لمحاليل تلك المواد تتناسب طردياً مع تكافؤاتها الكيميائية » .



شكل (١٣)

أي أنه إذا مرت شحنة كهربية مقدارها س كولوم في كل من محاليل نترات الفضة، وكبريتات النحاس، وكلوريد الصوديوم؛ فإن كتل المواد المترسبة في تلك الأعمدة تكون متناسبة مع التكافؤات الكيميائية لكل منها .

أي عند مرور تيار كهربي واحد في أعمدة تحليل كهربي لكل من الفضة والنحاس والصويوم فإن :

ك$_{Ag}$: ك$_{Cu}$: ك$_{Na}$ = تكافؤ الفضة : تكافؤ النحاس : تكافؤ الصوديوم .

تطبيقات على التحليل الكهربي للسوائل

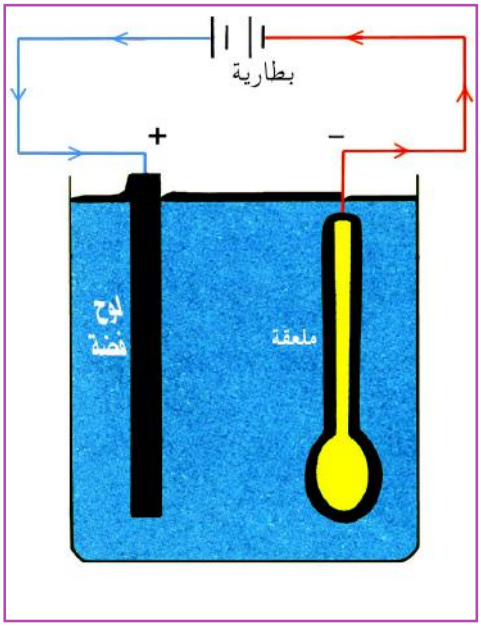
أولاً – طلاء المعادن :

لعلك سمعت ببعض الأواني التي تطلى ببعض الفلزات من أجل رفع قيمتها الجمالية، أو للحفاظ عليها .

el-online.net

وتستخدم عملية التحليل الكهربي في طلاء المعادن بأحد الفلزات الثمينة، مثل طلاء الأدوات المنزلية، والتحف بالفضة.

ويستخدم الجهاز المبين في الشكل (١٤) في سبيل ذلك حيث يوضع الجسم المراد طلاءه كاثوداً (مهبط) في عمود تحليل كهربي لأحد المحاليل الإلكتروليتة للفلز المراد استخدامه كمادة طلاء ويستخدم آنوداً (مصعد) من نفس مادة الفلز. ويمرر تيار كهربي لفترة زمنية كافية حتى تترسب طبقة كافية من الفلز على الإناء المراد طلاؤه.

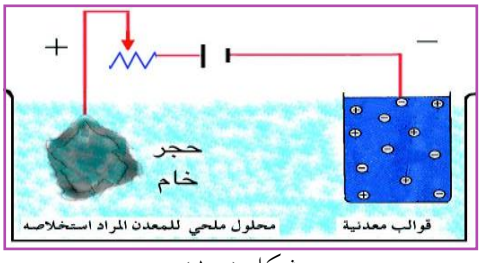


شكل (١٤) طلاء المعادن بواسطة التحليل الكهربي

وتتناسب كمية المادة المترسبة على الجسم الموضوع في المهبط والمراد طلاؤه تناسباً طردياً مع شدة التيار المارة في العمود وزمن مروره طبقاً لقانون فاراداي الأول.

ثانياً : تنقية المعادن :

كثيراً ما تستخلص المعادن من خامات طبيعية تحتوي على مجموعة من الشوائب، والمواد الإضافية مع المعدن الأصلي المراد استخلاصه.



شكل (١٥)

ولتنقية المعدن الأصلي من مجموعة الشوائب، والمواد الإضافية؛ تستخدم عملية التحليل الكهربي، وذلك باستخدام الجهاز المبين في الشكل رقم (١٥).

وفيه يعلق الحجر الخام الذي يحتوي على العنصر المراد تنقيته ليمثل آنوداً في عمود تحليل كهربي للعنصر، ويوضع الكاثود الذي على شكل قوالب معدنية تستقبل المعدن المستخلص. فعند مرور التيار الكهربي في عمود التحليل لفترة زمنية كافية فإن ذرات المعدن النقي تترسب داخل القوالب وتختفي من الحجر الخام فنحصل من القوالب على مادة المعدن النقي.

el-online.net

س١ : أُذكر قانوني كيرشوف للتيار المستمر.

س٢ : أكمل الفراغات التالية :

- يستخدم التحليل الكهربي في .....و.....
- مقدار الطاقة الكهربية المتحولة إلى حرارة في موصل تتوقف علي.....،.....،.....
- المكافئ الكيميائي الكهربي للمادة هو:.....
- الجول = ... كيلووات.ساعة.

س٣ : اشرح تجربة عملية لحساب المكافئ الكهرو حراري (ي)، (مكافئ جول).

س٤ : احسب مقدار الطاقة الكهربية المتحولة إلى حرارة في سلك مقاومته (٥٠) أوم إذا مر فيه تيار شدته (٢) أمبير لمدة عشرة دقائق.

س٥ : عرف مكافئ جول، وأُذكر وحدة قياسه.

س٦ : اذكر نص قانون فاراداي الثاني.

س٧ : احسب كتلة الفضة المترسبة على كاثود عمود تحليل كهربي لنترات الفضة يمر به تيار شدته (١٠) أمبير لفترة زمنية مقدارها (٢٤) ساعة إذا علمت أن المكافئ الكيميائي للفضة = ٠,٠٠١١١٨ جم/كولوم.

el-online.net

الوحدة التاسعة

المغناطيسية والتأثيرات المغناطيسية للتيار الكهربائي
Magnetism and magnetic effect of an electrical current

أهداف الوحدة

يتوقع منك بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة أن تكون قادراً على أن تعرف الفهوم العلمية الآتية:

- القوة المغناطيسية – المجال المغناطيسي– الفيض المغناطيسي – المغناطيس الطبيعي– المغناطيس الصناعي.
- تفسّر الطبيعة المغناطيسية، وتفرق بين المغناطيس المؤقت والدائم.
- تفرق بين مفهوم القوة المغناطيسية، وشدة المجال المغناطيسي.
- تذكر العوامل التي تتوقف عليها القوة المغناطيسية بين قطبين.
- تستنتج القانون العام للقوة المغناطيسية، وتحل المسائل المتعلقة به.
- تذكر بعض طرق التمغنط.
- تعّين مقدار القوة المغناطيسية التي يؤثر بها مجالاً مغناطيسياً على شحنة كهربائية متحركة فيه.
- تسمي خواص خطوط المجال المغناطيسي.
- تخطط عملياً المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي، وتعين موضع الأقطاب المغناطيسية.

el-online.net

– تصف حركة شحنة في مجال مغناطيسي .
– تجري عملياً التجارب الخاصة بالمجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي مستمر في :
أ – سلك مستقيم .
ب – ملف دائري .
جـ – ملف حلزوني .
– توجد مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل يحمل تياراً كهربائياً .
– تستنتج رياضياً مقدار القوة المغناطيسية المتبادلة بين سلكين مستقيمين متوازيين يمر فيهما تيار كهربائي .
– تحل المسائل ذات العلاقة في هذه الوحدة .

المغناطيسية والتأثيرات المغناطيسية للتيار الكهربائي
(Magnetism and magnetic effect of an elctrical current)

يعتقد أن الصينيين هم أول من اكتشف الخاصية المغناطيسية وهي خاصية الجذب التي تمتلكها المغناطيسيات لبعض المواد وخاصية الجذب والتنافر بين الأقطاب حيث أنه في منطقة مغنيسيا والتي تعتبر جزء من آسيا لوحظ أن بعض الحجارة تجذب قطع الحديد فسميت بالحجارة الساحبة (Leading stones) أو الحجارة الحاملة (Loadstone)، وأن هذه الحجارة عبارة عن نوع من خامات الحديد تسمى الماجنيتيت أو أكسيد الحديد المغناطيسي(Fe_3O_4) .

وإذا عُلقت هذه الحجارة بخيوط وتُركت حرة الحركة فإنها تتجه نحو خط الشمال والجنوب الجغرافيين، هذه الحجارة المغناطيسية أو الحجارة الحاملة كانت أول المغناطيسات ، وقد استخدم الصينيون هذه الحجارة لإرشاد السفن في البحار حينما صنعوا من هذه الحجارة نموذجاً للبوصلة .

أما في الوقت الحاضر فإن الخاصية المغناطيسية ليست في البوصلات فقط ولكن أيضاً في الأجراس الكهربائية وفي الهواتف، وفي المراوح الكهربائية وفي مكبرات الصوت وأشرطة الفيديو والأشرطة السمعية المستخدمة في المسجلات وغير ذلك ، وجميعها تعتمد في عملها على التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي .

el-online.net

المغناطيس، والأقطاب المغناطيسية

(Mangetic poles, and magnetism)

لقد تعرفت في دراستك السابقة على مفهوم المغناطيس، فما تعريفك له؟ وما المواد التي تسمى بالمواد المغناطيسية، والمواد غير المغناطيسية؟

– اذكر أمثلة لكل من المواد المغناطيسية، وغير المغناطيسية.

النشاط (١)

– علق قضيباً من وسطه بخيط بحيث يكون حر الحركة، أي ليس هناك مؤثر آخر يؤثر عليه.

– في أي اتجاه يستقر طرفاه؟

ستجد أن المغناطيس يستقر في اتجاه الشمال ، والجنوب الجغرافيين، ويسمى القطب الذي يتجه نحو الشمال الجغرافي بالقطب الشمالي أو القطب الباحث عن الشمال، ويمكن أن نرمز له بالرمز: ش (N)، وأما القطب الذي يتجه نحو الجنوب الجغرافي يسمى بالقطب الجنوبي، أو القطب الباحث عن الجنوب، ويرمز له بالرمز: ج (S).

وبالتالي؛ فإن لكل مغناطيس قطبين مختلفين في النوع، ولكنهما متساويان في الشدة ، ولا يوجد مغناطيس ذو قطب واحد منفرد. أي له قطب واحد فقط.

وإذا قُسم المغناطيس إلى قسمين؛ فإن كل قسم يصبح مغناطيساً مستقلاً، له قطبان. وإذا قربت مجموعة من المسامير إلى قضيب مغناطيسي سوف تلاحظ أن المسامير تنجذب إليه.

– أين تتجمع معظم المسامير؟

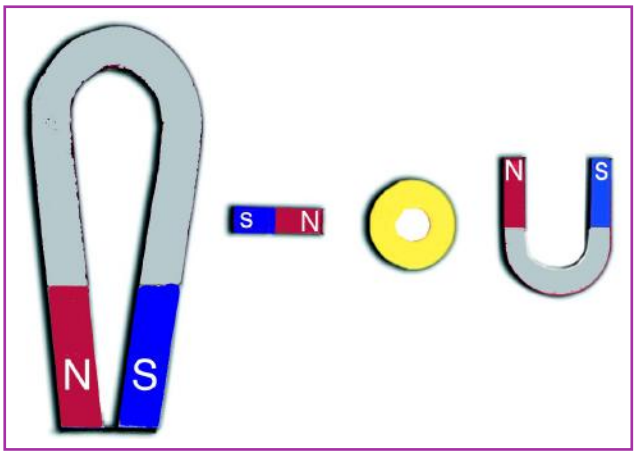
تعيين موضع الأقطاب المغناطيسية :
(Determination of magnetic poles)

يمكن أن نعين موضع الأقطاب المغناطيسية بطريقتين الأولى باستخدام برادة الحديد، والأخرى باستخدام إبرة مغناطيسية (بوصلة) (انظر كتاب الأنشطة).

el-online.net

أنواع المغناطيسات (Kinds of magnets) :

يوجد نوعان من المغناطيسات أحدهما يوجد في مكونات القشرة الأرضية كما عرفت . وهو عبارة عن حجارة سوداء تسمى الماجنيتيت، وهو مركب كيميائي يعرف باسم أكسيد الحديد المغناطيسي (Fe_3O_4) . أما النوع الآخر فيصنع من قبل الإنسان، وقد يصنع من الحديد المطاوع (Iron)، أو الحديد الصلب أو الفولاذ Steel، وبأشكال مختلفة منها ما يكون على شكل حرف : (U)، ومنها ما يكون على شكل دائري وغير ذلك شكل (١) .



شكل (١)

ويفضل المغناطيس المصنوع من الفولاذ عند صناعة مغناطيس دائم المغنطة، بينما يفضل استخدام الحديد المطاوع عند صناعة مغناطيس مؤقت .

– ما السبب في ذلك ؟

– اذكر فيم يستخدم كل من المغناطيس الدائم، والمغناطيس المؤقت ؟ .

النشاط (٢)

الأدوات : قطعتان متساويتان في الطول إحداهما من الحديد المطاوع والأخرى من الحديد الصلب، بُرادة حديد، مغناطيس، حامل خشبي .

١– ثَبِتْ قطعتي الحديد على الحامل الخشبي كما هو موضح بالشكل (٢) .

٢– ضع عليهما (ومن أعلا) مغناطيس دائم المغنطة

٣– قرب برادة الحديد من الطرفين الآخرين للقطعتين .

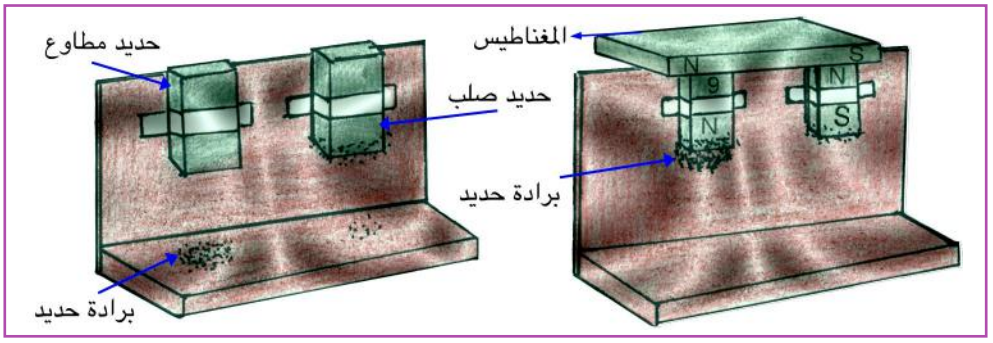
– ماذا يحدث لبرادة الحديد ؟

٤– أبعد القضيب المغناطيسي عن القطعتين .

– ماذا يحدث لبرادة الحديد ؟

– ماذا تستدل من النشاط ؟

el-online.net



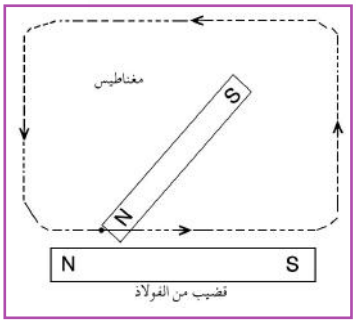
(ب) بعد وضع المغناطيس شكل (٢) (أ) قبل وضع المغناطيس

كيف تصنع مغناطيسا ؟

يمكن عمل مغناطيس بطرق مختلفة منها :

١ – الدلك Stroking :

النشاط (٣)



شكل (٣)

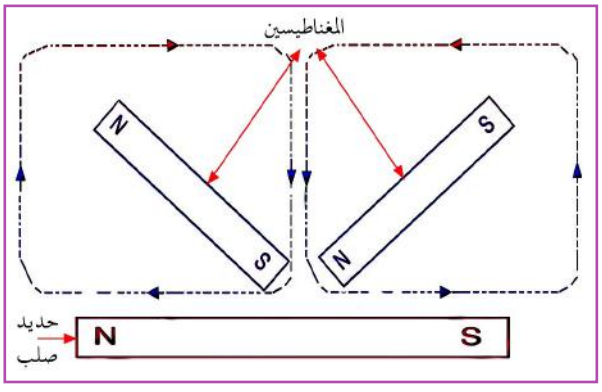
أ – باستخدام مغناطيس دائم المغنطة :

١– ادلك قضيب من الفولاذ عدة مرات بأحد أقطاب المغناطيس، وفي اتجاه واحد مع ملاحظة أن القطب المستخدم بالدلك لابد أن يُرفع بعد كل دلكة كما هو موضح بالشكل (٣) .

٢– قرب برادة حديد إلى القضيب الذي دلكته .

– ماذا يحدث لبرادة الحديد ؟

ب– باستخدام مغناطيسين دائمي المغنطة Stroking by Using Two permenant Magnets



شكل (٤)

١– ادلك قضيباً من الفولاذ عدة مرات من وسطه بقضيبين مغناطيسيين مختلفين، وفي اتجاهين متضادين مع مراعاة رفع نهاية القطب المستخدم في الدلك عالياً، كما هو موضح بالشكل (٤) .

el-online.net

٢- قرّب برادة الحديد إلى القضيب الذي دلكته.

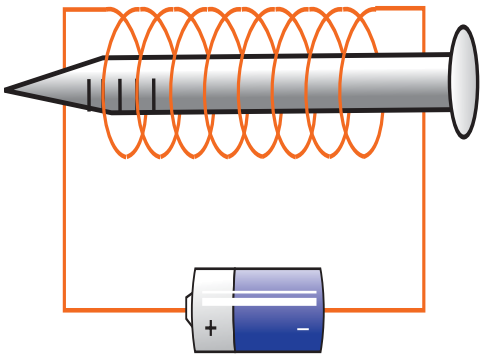
- ماذا يحدث لبرادة الحديد؟

٢- باستخدام تيار كهربائي مستمر By using direct current :

نشاط (٤)

تحتاج لتنفيذ هذا النشاط الأدوات الآتية:

- سلك طويل من النحاس المعزول، قضيب من الحديد المطاوع، بطارية جافة، مفتاح كهربائي، إبرة مغناطيسية.
- لف سلك النحاس حول قضيب الحديد المطاوع لفاً حلزونياً لأكثر من مائة لفة، ثم انزع القضيب.
- صل طرفي السلك بقطبي البطارية الجافة، والمفتاح غير مغلق كما هو موضح بالشكل (٥).



شكل (٥)

- قرب من الملف من الخارج إبرة مغناطيسية، وذلك قبل غلق الدائرة، ولاحظ ماذا يحدث لها.
- أغلق الدائرة بالمفتاح الكهربائي، ولاحظ ماذا يحدث للإبرة.
- افتح الدائرة الكهربائية، وضع الإبرة المغناطيسية داخل الملف.
- هل تنحرف الإبرة المغناطيسية؟
- أغلق الدائرة باستخدام المفتاح الكهربائي، ولاحظ انحراف الإبرة .
- قارن بين انحراف الإبرة في الوضع الأول (خارج الملف)، وانحرافها في الوضع الثاني(داخل الملف).

ويمكن تفسير ما حدث للإبرة المغناطيسية أنه عندما مرَّ التيار الكهربائي في السلك، وذلك عند غلق الدائرة؛ فإن مجالاً مغناطيسياً يتولد، ويكون مغناطيساً له قطبا شمالياً، وقطباً جنوبياً، وإذا أردنا مجالاً مغناطيسياً شديداً؛ فإننا نعيد وضع القضيب من الفولاذ داخل الملف كقلب. ويعتبر هذا النوع من أفضل المغناطيسات.

ويمكن تحديد نوع قطبي المغناطيس من خلال اتجاه التيار؛ فإذا كان اتجاه التيار عند

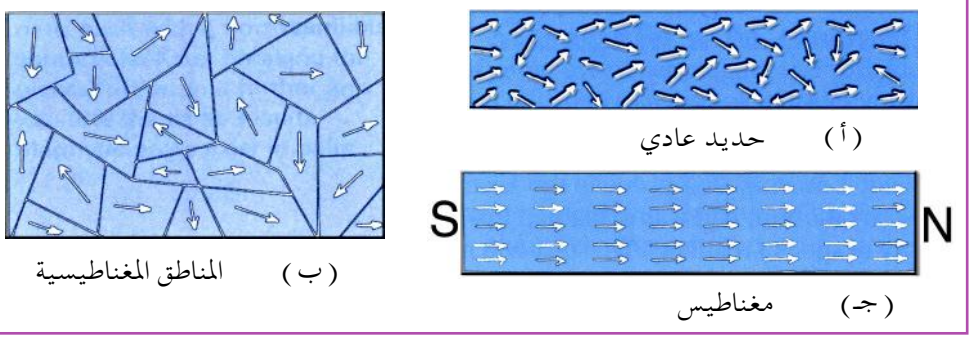
el-online.net

نهاية أحد الأقطاب في اتجاه حركة عقارب الساعة كان القطب جنوبياً. أما إذا كان اتجاه التيار عند نهاية هذا القطب عكس اتجاه حركة عقارب الساعة كان القطب شمالياً.

النظرية المغناطيسية: The theory of magnetism

إن الآلية التي يتم بها تكون المغناطيسية ليست مفهومة إلى حد ما، ولكن النظرية السائدة هي أن الحديد، وغيره من المواد لدى ذراتها إلكترونات تدور حولها. ويعتقد أن حركة الإلكترونات هذه في المواد تجعل من كل ذرة مغناطيساً بمفرده، وبالتالي تتكون العديد من المغناطيسات الصغيرة التي تتوزع داخل المادة بشكل عشوائي في حالة عدم وجود المادة في مجال مغناطيسي خارجي شكل (٦ أ) بحيث يكون محصلتهم معدومة وبالتالي يكون تمغنط هذه المادة معدوم . وإذا وضعت هذه المادة في مجال مغناطيسي خارجي تنتظم هذه المغناطيسيات الصغيرة بحيث أن أقطابها الشمالية تكون في اتجاه واحد، وأقطابها الجنوبية في الاتجاه الآخر مُشَكِّلَةً (مكونة) مغناطيساً كبيراً شكل (٦ جـ).

ولقد أظهرت الدراسات للمواد الحديدية العادية أنها تتكون من مجموعة من المناطق (Magnetic domains)، وكل منطقة منها عبارة عن مغناطيس قوي. انظر الشكل (٦ ب) تتوزع هذه المناطق بشكل عشوائي في غياب المجال المغناطيسي الخارجي بحيث يكون محصلة هذه المغانط يساوي الصفر. أي أن قطعة الحديد تكون معدومة التمغنط ولكن إذا وجدت قطعة الحديد في مجال مغناطيسي خارجي تتوجه هذه المناطق المغناطيسية داخل القطعة باتجاه المجال الخارجي أي تكون أقطابها الشمالية في اتجاه المجال والجنوبية خلفه بحيث تكون المحصلة لا تساوي الصفر وبالتالي تصبح قطعة الحديد ممغنطة أي تمثل مغناطيس كبير وقوي شكل (٦ جـ) .



شكل (٦)

el-online.net

ويمكن تحقيق ذلك بدلك قطعة حديد بمغناطيس في اتجاه واحد بحيث تتجه كل هذه المغانط الصغيرة في اتجاه واحد فتصبح محصلتها لاتساوي الصفر كما مر معنا سابقاً .

- ابحث كيف أن قضيباً من الحديد الممغنط يجذب قضيباً غير ممغنط؟

المجال المغناطيسي Magnefic field

نشاط (٥)

١- ضع مشبك ورق من الحديد على طاولة، ثم قرب إليه مغناطيساً من مسافة بعيدة نسبياً.
- هل ينجذب المشبك إلى المغناطيس؟

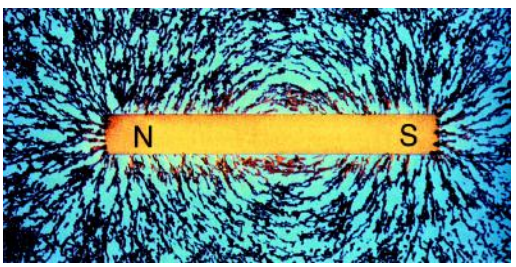
٢- قرب المغناطيس إلى المشبك أكثر فأكثر حتى ينجذب.

٣- كرر الخطوتين (١، ٢) من جميع الاتجاهات في الحيز الذي يحيط بالمغناطيس.

لاحظ أن المغناطيس لا يجذب المشبك إلا عند مسافة معينة، وكلما قرب أكثر انجذب المشبك بقوة أكبر. هذه المسافة أو غيرها التي تحيط بالمغناطيس، والتي يمكنه أن يجذب المعادن قابلة التمغنط فيها، تسمى المجال المغناطيسي. أي أن المجال المغناطيسي لمغناطيس: هي المنطقة التي تحيط بالمغناطيس والتي تظهر فيها آثاره المغناطيسية. ويختلف شكل المجال باختلاف شكل المغناطيس، ووضعه مع مغناطيسات أخرى.

ويمكن لنا أن نلاحظ ذلك باستخدام مغناطيسات متعددة وبرادة حديد، أو بوصلة (انظر كتاب الأنشطة).

وشكل المجال المغناطيسي يتكون من مجموعة من خطوط وهمية تعرف بخطوط المجال المغناطيسي وهي خطوط مزدحمة لا ترى بالعين المجردة بل تظهر من خلال استخدام برادة حديد، أو إبرة مغناطيسية. وخطوط المجال المغناطيسي تخرج من القطب الشمالي في شكل منحني متجهة إلى القطب الجنوبي، وكل خط من خطوط المجال يسمى خط المجال المغناطيسي. هذه الخطوط تظهر شدة المجال . فكلما كانت متقاربة دل ذلك على أن القوة المغناطيسية كبيرة في تلك المنطقة.



شكل (٧)

ويمكن ملاحظة أن شدة المجال تكون كبيرة عند القطبين، وتقل شدة المجال كلما ابتعدنا عن الأقطاب المغناطيسية. ولا يمكن لخطوط المجال أن تتقاطع مع بعضها (للمغناطيس الواحد) بل أنها تكون متوازية مع بعضها.

el-online.net

خواص خطوط المجال المغناطيسي : Chracterstics of magnetic lines

بعد أن أجْريتَ الأنشطة والتجارب العملية التي تحدد المجال المغناطيسي للمغناطيسات، وشكله. ما الذي تستنتجه من خواص خطوط المجال المغناطيسي؟

تستطيع أن تستنتج أن :

١- خطوط المجال عبارة عن خطوط وهمية تخرج من القطب الشمالي للمغناطيس متجهة نحو القطب الجنوبي خارج المغناطيس، بينما في داخل المغناطيس فإنها تتجه من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي؛ لأن خطوط المجال عبارة عن حلقة أو عروة مغلقة (Closed loop) .

٢- خطوط المجال لا تتقاطع مع بعضها.

٣- خطوط المجال تظهر وكأنها تتنافر مع بعضها.

٤- خطوط المجال تظهر وكأنها واقعة تحت تأثير قوة شد المجال ، لذلك تحاول أن تقصر من طولها.

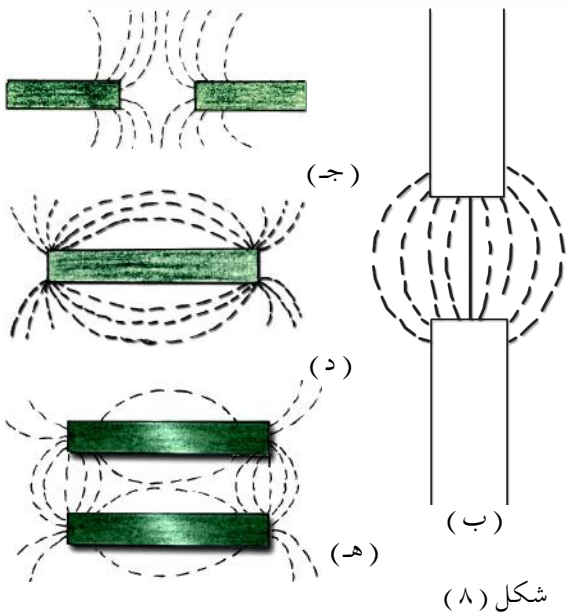
٥- خطوط المجال تتقارب مع بعضها، وتزدحم عندما تكون قريبة من المغناطيس.

٦- تزيد كثافة الخطوط عند القطبين، وتقل كلما ابتعدنا عنها.

٧- خطوط المجال لا تمر خلال المواد قابلة التمغنط؛ لأنها تُمتص، وتمر خلال المواد غير المغناطيسية.

النشاط (٦)

أجر تجارب عملية باستخدام مغناطيسات مختلفة؛ لتحصل على المجالات المغناطيسية الموضحة بالأشكال أدناه، ثم قم بكتابة أسماء الأقطاب المغناطيسية على كل شكل.



شكل (٨)

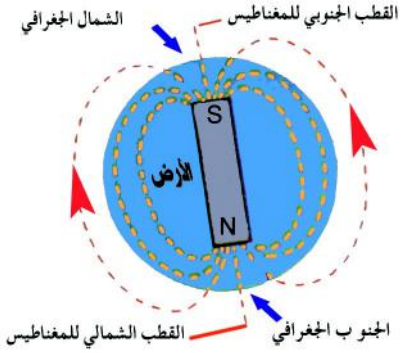
el-online.net

المجال المغناطيسي للأرض : The earth magnetic field :

عند تعليق قضيب مغناطيسي من منتصفه فإن قطبه الشمالي يتجه نحو الشمال الجغرافي للأرض وقطبه الجنوبي يتجه نحو الجنوب الجغرافي للأرض – ... لماذا؟

إن ذلك يدل على أن الأرض عبارة عن مغناطيس .

ويعتبر الشمال الجغرافي للأرض عبارة عن قطب جنوبي مغناطيسي والجنوب الجغرافي لها عبارة عن قطب شمالي مغناطيسي ولذلك فإن خطوط المجال المغناطيسي للأرض تتجه من جنوبها الجغرافي (شمالي مغناطيسي) نحو شمالها الجغرافي (جنوب مغناطيسي) وهذا خارج سطح الأرض، وداخل الأرض تتجه من القطب الجنوبي المغناطيسي (شمال جغرافي) نحو القطب الشمالي المغناطيسي (جنوب جغرافي)ويكون هذا المجال منتظماً تقريباً عند خط الإستواء .



شكل (٩)

ولذلك عند تعليق قضيب مغناطيسي فإن قطبه الشمالي، يتنافر مع القطب الشمالي المغناطيسي للأرض (جنوب جغرافي) وينجذب نحو القطب الجنوبي المغناطيسي للأرض (شمال جغرافي)

– ابحث ما الذي يسبب مجال الأرض المغناطيسي؟

القوة المغناطيسية وشدة المجال المغناطيسي :
Magnetic forces and magnetic field intensity

المجال المغناطيسي للمغناطيس هو المنطقة المحيطة بالمغناطيس والتي تظهر فيها آثاره المغناطيسية، وأن هذا المجال يتكون من مجموعة من الخطوط تعرف بخطوط القوة المغناطيسية، وهي تتجه من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي خارج المغناطيس وتكون قوية جداً عند القطبين، وتقل كلما ابتعدنا عن الأقطاب وكلما كانت هذه الخطوط كثيرة دل ذلك على قوة المجال المغناطيسي، أي أن شدة المجال المغناطيسي تزداد بزيادة خطوط القوة المغناطيسية .

el-online.net

العوامل التي تتوقف عليها القوة المغناطيسية بين قطبين:

لقد وجد عملياً أن الأقطاب المختلفة تتجاذب، والأقطاب المتشابهة تتنافر، وهذا يعرف بقانون التجاذب، والتنافر الذي ينص على أن: الأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب، و الأقطاب المتشابهة تتنافر. ووجد أيضاً أن القوة بين القطبين سواءً كانت تجاذب أم تنافر تتوقف على عدة عوامل منها:

١- شدة كل من القطبين:

حيث وجد أن القوة بين القطبين المغناطيسيين تتناسب طردياً مع شدة كل من القطبين.

أي أن: $\boxed{\text{ق} \propto \text{س}_1 \text{ (شدة القطب الأول)}، \text{ق} \propto \text{س}_2 \text{ (شدة القطب الثاني)}}$ ...(١).

٢-المسافة بين القطبين:

حيث وجد أن القوة بين القطبين تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بينهما.

وهذا يشبه قانون التربيع العكسي في الكهرباء الساكنة التي درستها سابقاً.

أي أن: $\boxed{\text{ق} \propto \frac{١}{\text{ف}^2}}$ ..... (٢).

٣- نوع الوسط الفاصل:

وجد أن القوة تختلف باختلاف نوع الوسط الفاصل بين القطبين؛ حيث تختلف القوى عندما يكون الوسط الفاصل زجاجاً، أو هواءً، أو حديد.

القانون العام للقوة المغناطيسية :

بالرجوع إلى المعادلتين: (١) ، (٢) ،نجد أن:

$\text{ق} \propto \text{س}_1$ ، $\text{ق} \propto \text{س}_2$ ،

$\text{ق} \propto \frac{١}{\text{ف}^2}$ ، $\therefore \text{ق} \propto \frac{\text{س}_1 \times \text{س}_2}{\text{ف}^2}$ ،

$\therefore \text{ق} = \text{ثابت} \times \frac{\text{س}_1 \times \text{س}_2}{\text{ف}^2}$ ،

$\boxed{\text{ق} = \text{هـ} \times \frac{\text{س}_1 \times \text{س}_2}{\text{ف}^2}}$ ..... (٣)

حيث (هـ) مقدار ثابت تتوقف قيمته على نوع الوسط الفاصل بين القطبين.

ويمكن أن نستنتج وحدة الثابت كالآتي:

el-online.net

إذا كانت (ق) تقدر(بالنيوتن)، والمسافة بالمتر، وشدة القطب المغناطيسي (س‌)

(أمبير . متر) فإن وحدة قياس الثابت هـ = $\frac{\text{نيوتن . متر}^{٢}}{\text{أمبير}^{٢} \text{ . متر}^{٢}}$ = نيوتن / أمبير٢ ،

وتكون إشارة القوة موجبة إذا كان طرفا المغناطيسين في حالة تنافر، وتكون إشارة القوة سالبة إذا كان طرفا المغناطيسين في حالة تجاذب .

مثال(١) : قطبان مغناطيسيان أحدهما شدته (٣٠) أمبير. متر، والآخر شدته(٤٠) أمبير.متر، والمسافة بينهما ٥سم، والوسط الفاصل هو الهواء. احسب مقدار القوة بين القطبين.

الحل :

س‌١ = ٣٠ أمبير. متر ، س‌٢ = ٤٠ أمبير.متر

هـ للهواء = ١٠ $^{-٧}$ نيوتن / أمبير٢، ف = ٥سم

∵ ق = هـ × $\frac{\text{س‌١} \times \text{س‌٢}}{\text{ف}^{٢}}$ ،

∴ ق = ١٠ $^{-٧}$ نيوتن / أمبير٢ × $\frac{\text{٣٠ أمبير.متر} \times \text{٤٠ أمبير.متر}}{(\text{٥} \times ١٠^{-٢} \text{ متر})^{٢}}$

= $\frac{١٢٠٠ \times ١٠^{-٧}}{٢٥ \times ١٠^{-٤}}$ = ٠٫٠٤٨ نيوتن

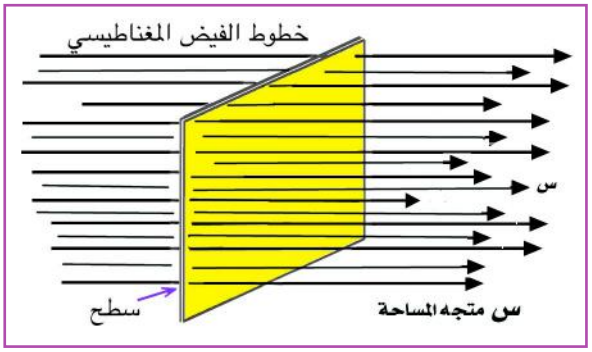
ملاحظة : يُمثل المجال المغناطيسي بسهم ← في مستوى الورقة فإذا كان يخترقها عمودياً نحو الداخل رُمز له بالرمز (×) وإذا كان يخترقها عمودياً نحو الخارج رُمز له بالرمز (٠) .

الفيض المغناطيسي : Magnetic flux

عرفنا سابقاً أن المجال المغناطيسي يتكون من مجموعة من خطوط القوة التي تخرج من القطب الشمالي متجهة إلى القطب الجنوبي خارج المغناطيس ، وكلما كانت هذه الخطوط كثيرة ومتزاحمة؛ دل ذلك على زيادة شدة المجال المغناطيسي .

el-online.net

يُقدر تأثير المجال المغناطيسي من نقطة إلى أخرى بعدد خطوط القوة التي تمر خلال سطح معين موضوع بشكل عمودي على خطوط المجال.



شكل (١٠)

ويعرف الفيض المغناطيسي خلال سطح ما ، بإنه المجموع الكلي لخطوط المجال المغناطيسي التي تخترق ذلك السطح عمودياً ، ونرمز له بالرمز ϕ (فاي) . وإذا كانت مساحة السطح هي وحدة المساحات، فإن عدد خطوط المجال التي تمر بشكل عمودي خلال وحدة المساحات، تعرف بكثافة الفيض المغناطيسي، ويرمز لها بالرمز $(\overleftarrow{B})$، وكلما زادت قيمة $(\overleftarrow{B})$ عند نقطة دل ذلك على زيادة تأثير المجال عند هذه النقطة.

وتعرف كثافة الفيض عند نقطة بأنها **عدد خطوط القوة المارة عمودياً على وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة. وتقاس كثافة الفيض بوحدة تسمى «تسلا»**.

ملاحظة : كثافة الفيض في نقطة ما تعني قيمة المجال في تلك النقطة.

وكثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة ما لها مقدار، واتجاه، ومقدارها عبارة عن عدد خطوط القوة المارة خلال وحدة المساحات بشكل عمودي. أما الاتجاه فهو اتجاه المجال المغناطيسي عند تلك النقطة.

وكلما كانت كثافة الفيض ثابتة مقداراً واتجاهاً؛ دل ذلك على أن المجال المغناطيسي منتظم. وتكون خطوطه متوازية، أما إذا كان غير ذلك دل على أن المجال غير منتظم.

سؤال :

– عرّف المجال المنتظم، والمجال غير المنتظم. ثم اذكر أمثلة لكل منهما .

نستنتج أن الفيض المغناطيسي ϕ عبارة عن:

كثافة الفيض (B) × مساحة السطح (س) ، كما في الشكل (١١) أي أن

$$\overleftarrow{B} \cdot \overleftarrow{س} = \phi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٤)$$

ولحساب الفيض المغناطيسي نستخدم العلاقة :

el-online.net

$\phi = B$ س جتا θ ..... (٥) .

θ : هي الزاوية المحصورة بين اتجاه كثافة المجال (B) والمتجه العمودي على السطح (س) كما في الشكل (١١–ب)

حيث أن لكل سطح متجه ($\overleftarrow{س}$) مقداره = مساحة السطح (س) واتجاهه دائماً خارجاً من السطح وعمودياً عليه .

حالات خاصة :

١ – إذا كانت خطوط المجال مواز ية للسطح كما في الشكل (١١– جـ) فإن :

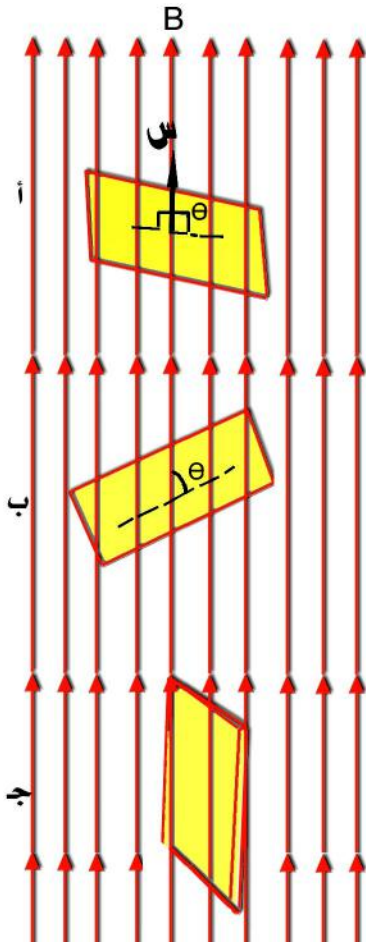
$\theta = ٩٠^{\circ} \Leftarrow$ جتا ٩٠ = ٠

$\therefore \phi = ٠$

٢ – إذا كانت خطوط المجال عمودية على السطح كما في الشكل (١١–أ)

فإن : $\theta = ٠ \Leftarrow$ جتا ٠ = ١

$\therefore \phi = B$ س ويكون الفيض المغناطيسي المخترق للسطح أكبر ما يمكن .



شكل (١١)

مثال (٢) :

سطح مساحته ١٠٠ م٢ ،موضوع في مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ٠,٠٢ تسلا . احسب الفيض المغناطيسي عبر السطح في الحالات التالية :

أ – خطوط المجال موازية للسطح .

ب – خطوط المجال تميل بزاوية ٣٠° مع العمود على السطح .

جـ – خطوط المجال تميل بزاوية ٣٠° مع مستوى السطح .

د – خطوط المجال عمودية على السطح .

el-online.net

الحـل:

س = ١٠٠ م^{٢} ، B = ٠٫٠٢ تسلا

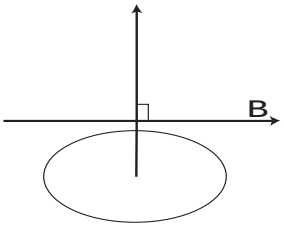
ϕ = ؟

أ) $\phi = ب س جتا \theta$ ..... (١)

$\because \theta = ٩٠^{\circ}$

$\therefore \phi = ١٠٠ \times ٠٫٠٢ \times$ جتا ٩٠$^{\circ}$

$\phi = ٠$



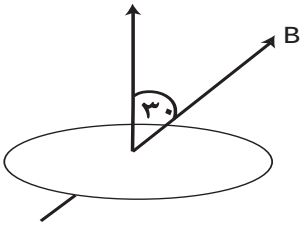
الحالة (أ)

ب) $\theta = ٣٠^{\circ}$ نعوض في المعادلة (١)

$\therefore \phi = ١٠٠ \times ٠٫٠٢ \times$ جتا ٣٠$^{\circ}$

$\phi = ٢ \times \frac{\sqrt{٣}}{٢} = \sqrt{٣}$

ϕ = ١٫٧٣ وبر

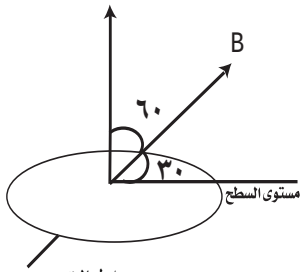


الحالة (ب)

جـ) $\theta = ٦٠^{\circ}$

$\phi = ١٠٠ \times ٠٫٠٢ \times$ جتا ٦٠

$= ٢ \times \frac{١}{٢} = ١$ وبر

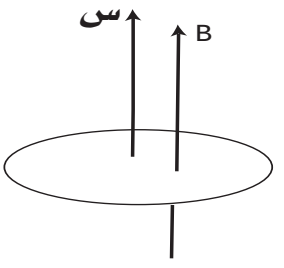


الحالة (جـ)

د) θ = صفر

$\phi = ١٠٠ \times ٠٫٠٢ \times$ جتا ٠

= ٢ وبر .



الحالة (د)

el-online.net

حركة الأجسام المشحونة في مجال مغناطيسي منتظم :

Motion of charged particles in a magnetic field

القوة المغناطيسية التي يؤثر بها مجال مغناطيسي على شحنة كهربائية متحركة فيه ؛

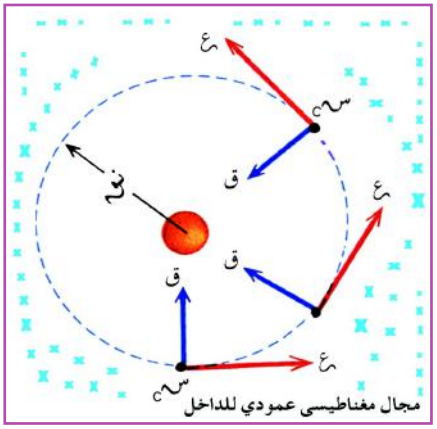
لا تتأثر الشحنات الكهربية الساكنة بالمجال المغناطيسي المنتظم إلا إذا تحركت فيه . أي أن المجال المغناطيسي لا يؤثر إلا على الشحنات الكهربية المتحركة فيه .

لو فرضنا أن شحنة كهربية (س) تتحرك بسرعة منتظمة (ع) في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (B) . كأن تكون حزمة من الأيونات الموجبة أو حزمة من الأشعة المهبطية (إلكترونات) تتحرك داخل أنبوب مهبطي مفرغ من الهواء واقع في مجال مغناطيس .

١- تتأثر الشحنة المتحركة بالمجال المغناطيسي فينحرف مسارها دون أن تتغير قيمة سرعتها وهذا دليل على أن المجال المغناطيسي يؤثر على الشحنة الكهربية بقوة عمودية على سرعة الشحنة واقعة في مستوى السرعة، ولو لم يكن كذلك لتغيرت قيمة السرعة .

٢- إذا كان اتجاه سرعة الشحنة موازياً لاتجاه المجال المغناطيسي فلا تتأثر الشحنة بالمجال المغناطيسي .

٣- إذا كانت الشحنة (موجبة) تتحرك في مستوى الورقة عمودي على اتجاه المجال المغناطيسي المتجه نحو الداخل ، فإن الشحنة تنحرف في مسار دائري مما يدل إن اتجاه القوة التي يسلطها المجال على الشحنة عمودية على كل من السرعة والمجال المغناطيسي انظر الشكل (١٢) .



شكل (١٢)

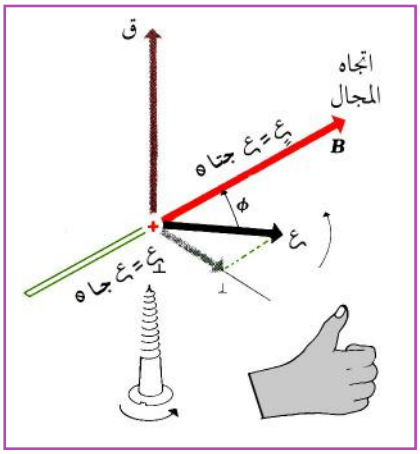
el-online.net

٤- لقد وجد بالتجربة أن هذه القوة المغناطيسية (ق) متناسبة طردياً مع مقدار الشحنة (أي ق ∝ سc) ومع سرعتها (ق ∝ ع) ومع كثافة الفيض (ق ∝ B) ويحسب مقدارها من العلاقة :

$$\overleftarrow{ق} = س_c \overleftarrow{ع} \times \overleftarrow{B} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٦)$$

وعامل التناسب يساوي الواحد إذا قيست (ق) بالنيوتن و (B) بالتسلا و(سc) بالكولوم و(ع) بالمتر/ث .

٥- أما إذا كانت السرعة(ع) ليس عمودية على اتجاه المجال وإنما تصنع زاوية مقدارها θ كما هو مبين في الشكل (١٣) .



شكل (١٣)

فإنه يمكن تحليل السرعة إلى مركبتين هما ع// = ع جتاθ موازية للمجال (لا تتأثر بالمجال) وأخرى ع⊥ = ع جاθ عمودية عليه وتتأثر بالمجال وتكون القوة (ق) التي يسلطها المجال على هذه المركبة هي :

$$ق = س_c ع B \text{ جاθ} \quad \ldots\ldots\ldots (٧)$$

فإذا كانت θ = ٩٠°، تعود العلاقة (٧) إلى العلاقة ق = سc ع B

أما إذا كانت θ = صفر فإن السرعة تكون موازية للمجال، فلا تتأثر الشحنة بالمجال وتكون قوة المجال المسلطة عليها منعدمة .

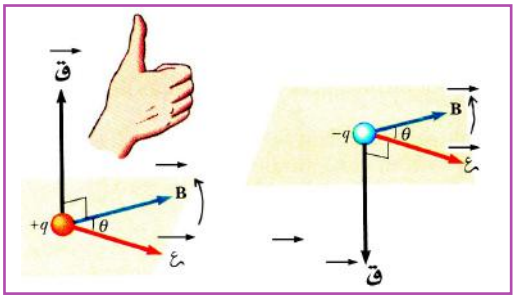
تعيين اتجاه القوة :

من أجل تعيين اتجاه القوة نطبق قاعدة تسمى بقاعدة اليد اليمنى ، من أجل ذلك تكتب العلاقة (٦) على النحو التالي :

$$\overleftarrow{ق} = س_c \overleftarrow{ع} \times \overleftarrow{B}$$

(باعتبار كثافة الفيض B كمية متجهة) وفي هذه القاعدة نطبق أصابع اليد اليمنى على جهة الدوران من $\overleftarrow{ع}$ إلى $\overleftarrow{B}$ (وهي جهة تقدم برغي أثناء دورانه نحو اليمين) فتكون جهة القوة منطبقة على الإبهام نحو الأعلى ،

el-online.net



شكل (١٤)　　شكل (١٥)

انظر الشكل المقابل وسجل استنتاجك .

عرفنا أن الجسيم الموجب المتحرك في مجال مغناطيسي ينحرف في اتجاه معين، وأن الجسيم السالب المتحرك في هذا المجال ينحرف في اتجاه معاكس لانحراف اتجاه الجسيم الموجب .

وإذا كانت حركة الشحنة عمودية على اتجاه المجال فإن مسارها يكون دائرياً .

دعنا الآن نحسب نصف قطر هذا المسار، من أجل ذلك نفرض أن لدينا شحنة موجبة ($+_{c}^{\rightarrow}$) تتحرك في مستوى الورقة بسرعة (ع) عمودية على مجال مغناطيسي منتظم (B) متجه نحو داخل الورقة شكل (١٢) .

بما أن حركة الشحنة هي حركة دائرية منتظمة ، فإن القوة المؤثرة على الشحنة هي قوة طرد مركزي (ق$_{م}$) عمودية على سرعة الشحنة وتحسب من العلاقة التالية :

$$ق_{م} = ك \frac{ع^{٢}}{نـ_{هـ}} \quad .$$

ولكن هذه القوة هي القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي على الشحنة ومقدارها يعطى بالعلاقة الآتية :

$$ق = \overrightarrow{س_{c}} \times \overrightarrow{ع} \quad B \quad .$$

من هاتين العلاقتين نجد أن :

$$\overrightarrow{س_{c}} \times \overrightarrow{ع} \quad B = ك \frac{ع^{٢}}{نـ_{هـ}} \quad \text{ومنه نجد أن :}$$

$$نـ_{هـ} = \frac{ك \, ع}{B \, س_{c}} \quad \ldots\ldots\ldots (٨)$$

من هذه العلاقة يمكن حساب النسبة بين شحنة الجسيم وكتلته .

$$\frac{B \, نـ_{هـ}}{ع} = \frac{ك}{س_{c}} \quad \ldots\ldots\ldots (٩)$$

el-online.net

مثـال (٣) :

يتحرك إلكترون بسرعة(١٠ ^{٥})متر/ ثانية داخل مجال مغناطيسي منتظم وفي اتجاه متعامد معه في مسار دائري نصف قطره (٢ر٥)سم . أوجد كثافة الفيض (B) إذا علمت قيمة كلٍ من كتلة الإلكترون(ك$_{e}$) وشحنته (س$_{e}$) هما على التوالي :

(ك$_{e}$) = ١ر٩ × ١٠ $^{-٣١}$ كجم ، (س$_{e}$) = ١ر٦ × ١٠ $^{-١٩}$ كولوم.

الحـل :

ع $_{e}$ (سرعة الإلكترون) = ١٠ ^{٥} متر/ث ، نـ = ٢ر٥ سم ،

ك$_{e}$ = ١ر٩ × ١٠ $^{-٣١}$ كجم ، س$_{e}$ = ١ر٦ × ١٠ $^{-١٩}$ كولوم ، B = ؟ ،

$$\because B = \frac{ك_{e} ع}{س_{e} نـ}$$

$$\therefore B = \frac{٩ر١ \times ١٠^{-٣١} \times ١٠^{٥}}{١ر٦ \times ١٠^{-١٩} \times ٢ر٥ \times ١٠^{-٢}} = ١ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا .}$$

مثال (٤) : أشعة إلكترونية تتحرك بسرعة ١٠ ^{٦} م/ث دخلت مجالاً مغناطيسياً منتظماً كثافة فيضه ٠ر٠٢ تسلا في اتجاه متعامد مع المجال. احسب القوة المؤثر على هذه الأشعة إذا علمت أن شحنة الإلكترون ١ر٦ × ١٠ $^{-١٩}$ كولوم .

الحـل : ع = ١٠ ^{٦} م/ث ، B = ٠ر٠٢ تسلا، س$_{e}$ = ١ر٦ × ١٠ $^{-١٩}$ كولوم، θ = ٩٠ $^{\circ}$.

$\because$ ق = B س$_{e}$ ع حاθ

$\therefore$ ق = ٠ر٠٢ × ١ر٦ × ١٠ $^{-١٩}$ × ١٠ ^{٦} × جا٩٠ $^{\circ}$ = ٣ر٢ × ١٠ $^{-١٥}$ نيوتن.

مثـال (٥) : احسب القوة المؤثرة إذا دخل الإلكترون المجال بزاوية قدرها ٣٠ $^{\circ}$.

الحـل :

$\because$ ق = B س$_{e}$ ع حاθ

$\therefore$ ق = ٠ر٠٢ × ١ر٦ × ١٠ $^{-١٩}$ × ١٠ ^{٦} × جا٣٠ $^{\circ}$ = ١ر٦ × ١٠ $^{-١٥}$ نيوتن.

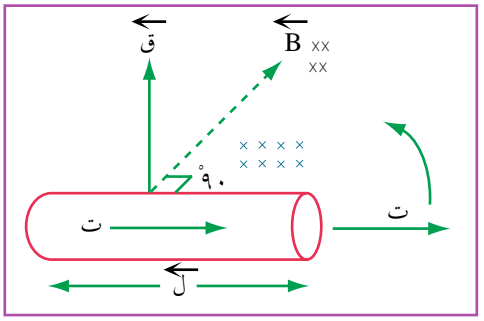
el-online.net

النشاط (٧)

حاول أن توجد نصف قطر المسار لبروتون سار بنفس سرعة الإلكترون إذا كانت كثافة الفيض B = ٠,٥٠ وبر/ متر٢ .

القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل يحمل تيار :

ليكن لدينا موصلاً طويلاً مستقيماً طوله (ل) واقع في مستوى الورقة ويمر فيه تيار شدته (ت) ولنفرض أنه واقع في مجال مناطيسي منتظم عمودي عليه أي عمودي على مستوى الورقة نحو الداخل كما هو مبين في الشكل (١٦) .



شكل (١٦)

لقد وجدنا علاقة القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة كهربية متحركة وهي :

$$\overleftarrow{ق} = س_{ج} \times \overleftarrow{ع} \times \overleftarrow{B}$$

نحن نعلم أن التيار الكهربائي الذي يسري داخل الموصل عبارة عن مجموعة من الشحنات المتحركة .

ولنفرض أنها تتحرك بسرعة (ع) التي تساوي : $ع = \frac{\text{الإزاحة}}{\text{الزمن}} = \frac{ل}{ز}$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نجد أن : $ق = س_{ج} \frac{ل}{ز} B$ أو :

$$\overleftarrow{ق} = \frac{س_{ج}}{ز} \overleftarrow{ل} \times \overleftarrow{B}$$

ولكن $\frac{س_{ج}}{ز} = ت$ ما هو إلاَّ شدة التيار المار في الموصل (السلك)

$$\therefore \boxed{\overleftarrow{ق} = ت \overleftarrow{ل} \times \overleftarrow{B}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (١٠)$$

وإذا كان السلك يصنع زاوية $\theta \neq ٩٠$ مع اتجاه المجال B تصبح العلاقة (١٠) كالآتي :

$$\boxed{ق = ت\ ل\ B\ جا\theta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (١١)$$

وهذه العلاقة تعبر عن مقدار القوة المغناطسية ق المؤثرة على سلك يمر فيه تيار كهربائى .

el-online.net

عندما تكون θ = صفر . أي عندما يكون السلك موازياً للمجال ، فإن : ق = صفر . وإذا كانت $\theta = ٩٠^{\circ}$. أي عندما يكون السلك عمودياً على خطوط المجال تكون : ق = ت ل B، وتكون قيمة القوة (ق) أقصى قيمة .

ولتعيين اتجاه القوة نطبق قاعدة اليد اليمنى (التي سبق ذكرها) . من أجل ذلك نكتب العلاقة (١٠) أو (١١) على النحو الآتي :

$\overleftarrow{ق} = ت \overleftarrow{ل} \times \overleftarrow{B}$ (باعتبار $\overleftarrow{ل}$ متجه اتجاهه هو اتجاه التيار) .

ونجعل أصابع اليد اليمنى تنطبق على جهة الدوران من $\overleftarrow{ل}$ إلى $\overleftarrow{B}$ فتكون جهة الإبهام نحو الأعلى هي جهة القوة شكل (١٦) وإذا عُكس اتجاه التيار أو المجال ينعكس اتجاه القوة .

وقد عرفت في الصف التاسع أنه إذا وضع سلك (موصل) يمر به تيار كهربائي في اتجاه معين بين قطبين مغناطيسيين على شكل حدوة الفرس، فإنه يتأثر بقوة مغناطيسية تجعله يتحرك بشكل عمودي على اتجاه المجال المغناطيسي ويمكن أن يعكس السلك اتجاه حركته عندما ينعكس اتجاه التيار، أو اتجاه المجال المغناطيسي . وباستخدام قاعدة فلمنج لليد اليسرى وهي مشابهة لقاعدة اليد اليمنى السابقة، يمكن معرفة اتجاه حركة السلك (اتجاه القوة) المؤثرة على السلك الموضوع في مجال مغناطيسي .

وتنص قاعدة فلمنج لليد اليسرى كالآتي :

« إذا تعامدت أصابع يدك اليسرى الإبهام، والسبابة، والوسطى؛ بحيث تشير الوسطى إلى اتجاه التيار الكهربائي، وتشير السبابة في اتجاه الفيض المغناطيسي؛ فإن الإبهام يشير إلى اتجاه القوه المغناطيسية المؤثرة على السلك . شكل (١٧) .

شكل (١٧)

التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي (A magnetic effect of a current)

كان الاعتقاد السائد في السابق أنه ليس هناك علاقة بين المغناطيسية والكهرباء . ولكن هذا المفهوم تغير في بداية القرن التاسع عشر (١٨٢٠) عندما

el-online.net

اكتشف العالم الدنماركي هانز كريستان أورستد، بأن مرور تيار كهربائي في سلك ينتج عنه انحراف الإبرة المغناطيسية الموضوعة بجانبه .وقد بَيَّنَ أن التيار المار في سلك له القدرة على توليد مجال مغناطيسي، وأن هذا المجال سببه حركات الشحنات داخل السلك.

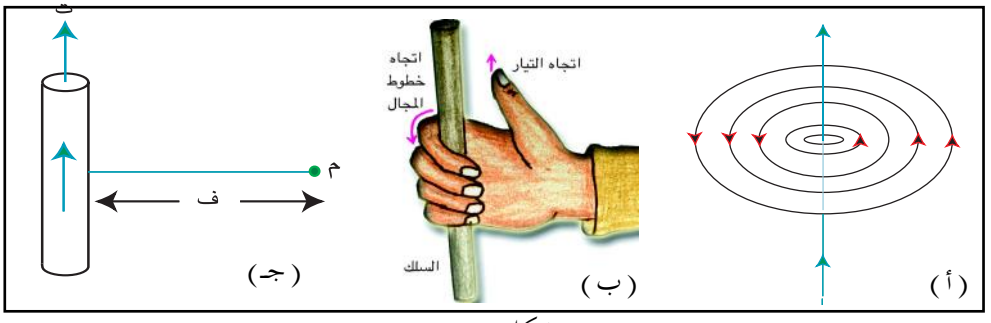
المجال المغناطيسي لتيار كهربائي يمر في سلك مستقيم طويل
(A magnetic field of a current in a straight line) :

عندما لاحظ أورستد انحراف الإبرة المغناطيسية قام بدراسة المجال المغناطيسي لسلك مستقيم طويل يحمل تياراً فوجد أن المجال المتولد يكون على شكل دوائر حول السلك (انظر كتاب الأنشطة العملية) . انظر الشكل (١٨ أ)

ويمكن معرفة اتجاه خطوط القوة المغناطيسية للمجال المغناطيسي بقاعدة اليد اليمنى لأمبير، وهي لو قبضت على سلك مستقيم يمر فيه تيار، وكانت الإبهام تشير إلى اتجاه التيار؛ فإن بقية الأصابع تشير إلى اتجاه خطوط المجال المغناطيسي انظر الشكل (١٨ب) .

كثافة الفيض المغناطيسي (B) عند نقطة على بعد (ف) من سلك مستقيم يمر فيه تيار كهربائي.

لقد وجد أن كثافة الفيض المغناطيسي (B) عند نقطة (م) الناشئ عن مرور تيار كهربائي . تتوقف على شدة التيار المار في السلك (ت) وبعد النقطة (ف) عنه . انظر الشكل (١٨جـ) .



شكل (١٨)

أي : $B \propto ت$ ، $B \propto \frac{١}{ف}$ ، $B \propto \frac{ت}{ف}$ ،

$B = ثابت \times \frac{ت}{ف}$

el-online.net

ويتوقف الثابت على الوحدات المستخدمة، ونوع الوسط الفاصل بين النقطة والسلك، وقد وجد أنه يساوي $\frac{\mu_{\circ}}{\pi ٢}$ ؛ حيث يسمى $\mu_{\circ}$ بثابت النفاذية المغناطيسية للهواء، وهو يساوي $\pi ٤ \times ١٠^{-٧}$ تسلا . متر /أمبير .

$$\therefore \quad B = \frac{\mu_{\circ}}{\pi ٢} \times \frac{ت}{ف} \quad .....(١٠)$$

مثال (٦) :

احسب كثافة الفيض المغناطيسي في الهواء عند نقطة تبعد (٥) سم عن سلك طويل يحمل تياراً شدته (١٠) أمبير.

الحل :

ف = $\frac{٥}{١٠٠}$ متر ، ت = ١٠ أمبير ،

$\mu_{\circ}$ (للهواء) = $\pi ٤ \times ١٠^{-٧}$ تسلا . متر /أمبير ، B = ؟

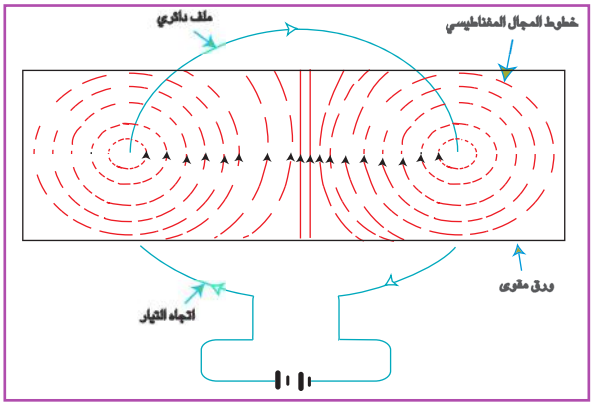
$\therefore$ B = $\frac{\mu_{\circ}}{\pi ٢} \times \frac{ت}{ف}$ ،

$$= \frac{\pi ٤ \times ١٠^{-٧}}{\pi ٢} \times \frac{١٠}{\frac{٥}{١٠٠}} = ٤ \times ١٠^{-٥} \text{ تسلا .}$$

المجال المغناطيسي لتيار كهربائي يمر في ملف دائري
Magnetic filed of a current in a flat coil :

يمكن أن تتعرف على شكل المجال المغناطيسي الناتج من مرور تيار كهربائي بملف دائري من خلال تكوين ملف دائري يمر فيه تيار كهربائي. كما هو موضح بالشكل (١٩) ومن ثم نسمح بتمرير التيار الكهربائي ثم ننثر برادة حديد على الورق المقوى، أو نستخدم إبرة بوصلة كما استخدمناها سابقاً.

(انظر كتاب الأنشطة العملية).



شكل (١٩)

el-online.net

كثافة الفيض المغناطيسي (B) عند مركز ملف دائري يمر فيه تيار :

(Magnetic flux of a current passing through a flat coil)

لقد وجد عملياً أن كثافة الفيض المغناطيسي تتوقف على عدة عوامل هي :

١- شدة التيار المار في الملف(ت) ، ٢ - عدد لفات الملف (ن) .

٣ - نصف قطر الملف (نـو) ، ٤ - نوع الوسط .

وتحسب من العلاقة الآتية :

$$B = \mu_{\circ} \times \frac{ت\ ن}{٢ نـو} \quad .....(١١)$$

مثال (٧) : ملف دائري نصف قطره (١٠) سم، وعدد لفاته (٥٠) لفة، مرّ فيه تيار كهربائي شدته ١ أمبير. احسب كثافة الفيض المغناطيسي عند مركز الملف إذا كان الوسط هو الهواء.

الحـل :

نـو = ١٠ سم = ٠,١ متر ن = ٥٠ لفة ، ت = ١ أمبير،

$B = ؟\ \mu_{\circ}$ للهواء $= ٤\pi \times ١٠^{-٧}$ تسلا . متر / أمبير

$$\because \quad B = \mu_{\circ} \times \frac{ت\ ن}{٢ نـو}$$

$$\therefore \quad B = ٤\pi \times ١٠^{-٧} \times \frac{١ \times ٥٠}{٢ \times ٠,١} = ٣,١٤ \times ١٠^{-٤} \text{ تسلا .}$$

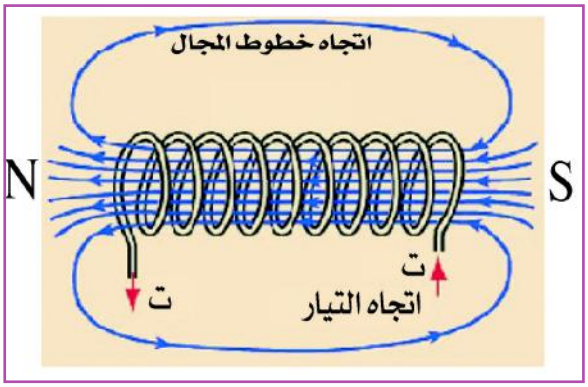
المجال المغناطيسي لتيار يمر في ملف حلزوني طويل:

Magnetic filed of a current in a solenoid coil

الملف اللولبي هوسلك نحاسي معزول وملفوف حلزونياً حول قضيب أسطواني من مادة ما . وعندما يمر التيار في السلك الملفوف؛ فإن خطوطاً من المجال المغناطيسي يمكن أن تُرسم وذلك باستخدام برادة من الحديد؛ حيث يلاحظ أن المجال داخل الملف يكون قوياً ومنتظماً وخطوط القوة فيه تكون متوازية، ولكن المجال المغناطيسي خارج الملف يشبه المجال الناشئ عن قضيب ممغنط؛ حيث تكون الخطوط متباعدة بعضها عن بعض. وهذا يعني أن المجال ضعيف خارج الملف انظر شكل (٢٠). ويلاحظ أن الملف له أقطاب تماماً كالمغناطيسي. ويمكن تحديد نوع هذه الأقطاب باستخدام قاعدة

el-online.net

اتجاه حركة عقارب الساعة؛ حيث ننظر إلى أحد طرفي الملف من الخارج فإذا كان اتجاه التيار ضد اتجاه حركة عقارب الساعة دل ذلك على أن قطب المغناطيس شمالياً، وإذا كان العكس أي أن التيار يسري مع اتجاه حركة عقارب الساعة فإن قطب المغناطيس يكون جنوبياً، (انظر كتاب الأنشطة العملية) .



شكل (٢٠)

لقد وجد أن كثافة الفيض المغناطيسي في نقطة داخل ملف حلزوني طويل واقعه على محوره تتوقف على طول الملف (ل) وعدد لفاته (ن) وشدة التيار المار فيه (ت) ونوع الوسط الفاصل الذي يفصل بين لفات الملف، ومحوره. ويسمى الوسط الفاصل بالنواة أو القلب، وكلما كان القلب من مادة قابلة للتمغنط مثل الحديد وليس من الهواء كان المجال المغناطيسي قوياً . ويحسب من العلاقة الآتية :

$$B = \mu_{\circ} \frac{\text{ت ن}}{\text{ل}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (١٢)$$

ومن الملاحظ أن قيمة (B) لا تتوقف على نصف قطر الملف الحلزوني.

مثال (٨) :

ملف حلزوني طوله (٢) متر، وعدد لفاته (١٠) لفات يمر به تيار شدته (٥) أمبير. احسب كثافة الفيض في وسطه. علماً أن قلبه من الهواء.

الحل :

ل = ٢ متر ، ن = ١٠ لفات ، ت = ٥ أمبير ،

$\mu_{\circ} = ٤\pi \times ١٠^{-٧}$ تسلا . متر / أمبير ، B = ؟

$\because B = \mu_{\circ} \times \frac{\text{ت ن}}{\text{ل}}$ ،

$\therefore B = ٤\pi \times ١٠^{-٧} \times \frac{٥ \times ١٠}{٢}$

$= ٣,١٤ \times ١٠^{-٥}$ تسلا

el-online.net

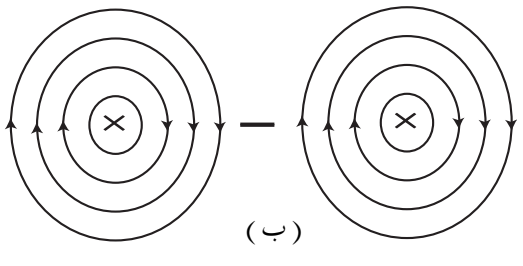
النشاط (٨)

احسب كثافة الفيض في المثال السابق إذا كان قلب الملف من الحديد إذا علمت أن $\mu_{\text{م}}$ للحديد هي ٢ × ١٠$^{-٢}$ تسلا . متر / أمبير .

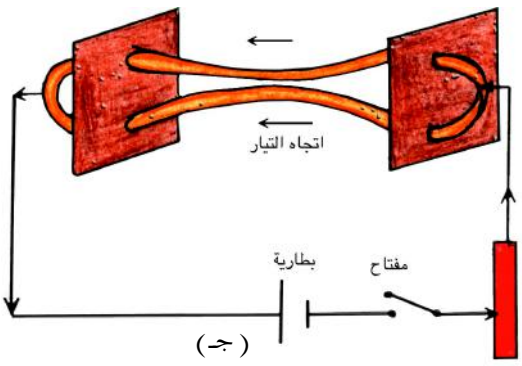
القوة المغناطيسية بين موصلين مستقيمين متوازيين يحملان تيارين كهربائيين

إن التجارب العملية أظهرت أنه إذ وُضِعَ سلكان مستقيمان متقاربان وبشكل متوازٍ ويحملان تيارين يسيران في اتجاه واحد فإن السلكين يتجاذبان . لكن إذا كان اتجاه التيارين في السلكين متعاكسين فإنهما يتنافران مع بعضهما .

ولتفسير عمليتي التجاذب . والتنافر بين السلكين . دعنا نفرض أن لدينا سلكين يحملان تيارين يسيران في اتجاه واحد شكل (٢١ أ) ، وأن هذين السلكين وضعا بشكلٍ متوازٍ متقاربين من بعضهما فإنه يتولد مجالين مغناطيسيين متضادين شكل (٢١ ب) . ويمكن تعيين اتجاه المجال المغناطيسي لكل تيار باستخدام قاعدة اليد اليمنى لأمبير .



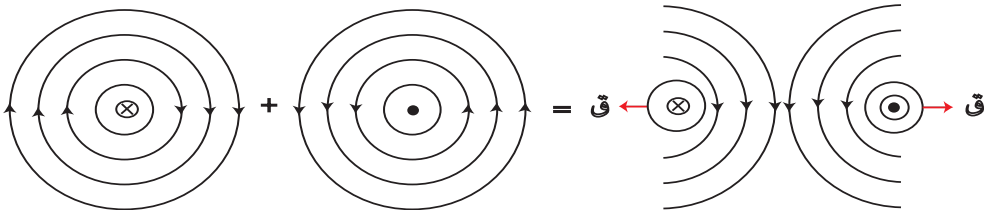
وحيث إن المجالين المغناطيسيين بين السلكين يكوِّنان مجالاً ضعيفاً بالمقارنة مع المجال المغناطيسي خارج السلكين وبالتالي فالسلكان يتجاذبان، شكل (٢١ – جـ) .

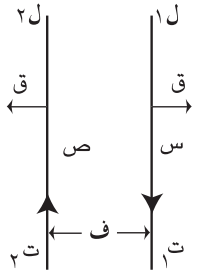


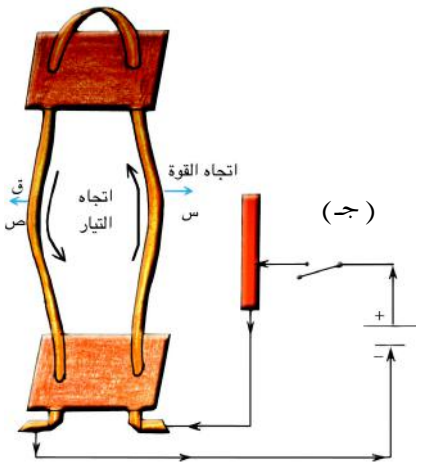
شكل (٢١)

وعندما ينعكس اتجاه أحد التيارين في السلكين شكل(٢٢أ)؛ فإن المجالين بين الموصلين يكونان في اتجاه واحد شكل(٢٢ب) ، وبالتالي فإن المجال يكون قوياً وأكبر من المجال خارج السلكين، وبالتالي فإن السلكين يتنافران كما في الشكل (٢٢ – جـ) .

el-online.net







شكل (٢٢)

ولحساب القوة المغناطيسية المتبادلة بين السلكين سواء أكانت تجاذب أم تنافر فإن التيار (ت١) المار في السلك الأول (س) ينشأ عنه مجالاً مغناطيسياً كثافة فيضه (B_1) يؤثر عند موضع السلك الثاني (ص).

$$\therefore B_1 = \mu_0 \times \frac{ت_1}{ف 2\pi} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (١).$$

B_1 يؤثر في التيار (ت٢) المار في السلك الثاني بقوة مغناطيسية (ق٢).

$$\therefore ق_2 = B_1 \, ت_2 \, ل_2 \quad ؛$$

حيث (ل٢) طول الجزء من السلك المطلوب حساب القوة المؤثرة عليه وهو نفس طول السلك الأول.

وبالتعويض عن قيمة B_1 من المعادلة (١).

$$\therefore ق_2 = \mu_0 \times \frac{ت_1}{ف 2\pi} \times ت_2 \times ل_2$$

$$ق_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \frac{ت_1 ت_2 ل_2}{ف}$$

وحيث إن معامل نفاذية الهواء، أو الفراغ $\mu_0 = 4\pi \times ١٠^{-٧}$ تسلا . متر / أمبير

$$\therefore ق_2 = \frac{4\pi \times ١٠^{-٧} ت_1 ت_2 ل_2}{ف 2\pi}،$$

$$ق = ٢ \times ١٠^{-٧} \frac{ت_1 ت_2 ل_2}{ف} \quad \ldots\ldots\ldots (١٤)$$

el-online.net

ويمكن إثبات أن مقدار القوة ق$_{١}$ التي يؤثر بها المجال (B$_{٢}$) الناشئ عن التيار (ت$_{٢}$)في السلك الأول (ل$_{١}$) تساوي نفس مقدار القوه (ق$_{٢}$) .

مثال(٩) :

سلكان مستقيمان متوازيان يحملان تيارين كهربائيين مقدارهما (١٠) أمبير، (٢٠) أمبير، والمسافة بينهما (٢)سم أوجد مقدار القوة المغناطيسية المتبادلة بين السلكين إذا كان طول كل من السلكين المتوازيين (١٠) سم.

الحل :

ت$_{١}$ = ١٠ أمبير ، ت$_{٢}$ = ٢٠ أمبير ، ف = ٢سم ،

ل$_{١}$ = ل$_{٢}$ =١٠ سم

∵ ق$_{١}$ = ق$_{٢}$

∴ ق$_{٢}$ = ٢ × ١٠$^{-٧}$ × $\frac{ت_{١} ت_{٢} ل_{٢}}{ف}$

∴ ق$_{٢}$ = ٢ × ١٠$^{-٧}$ × $\frac{١٠ \times ٢٠ \times ١٠}{٠٫٠٢}$ = ٢ × ١٠$^{-٤}$ نيوتن.

el-online.net

١- أجب بوضع (√) أو (X) في كلٍ مما يأتي :

أ – لكل مغناطيس قطبان مغناطيسيان مختلفان في الشدة ( ) .

ب – القطب الشمالي للبوصلة هو أصلاً قطب جنوبي ( ) .

جـ – يتكون المغناطيس من مجموعة من المناطق تمثل كل منها مغناطيساً قوياً ( ) .

د – عندما تنتظم أقطاب مجموعة المناطق في قطعة الحديد، فإنه يصبح مغناطيساً ( ) .

و – خطوط القوة المغناطيسية ليست نفسها خطوط المجال المغناطيسي للمغناطيس ( ) .

ز – تتجه خطوط المجال المغناطيسي داخل المغناطيس من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي ( ) .

ح – لعزل أي مجال مغناطيسي تُستخدم مواد غير مغناطيسية ( ) .

ط – خطوط القوة المغناطيسية لا ترى بالعين المجردة ( ) .

ي – خطوط القوة من خارج الملف اللولبي الحامل لتيار كهربائي تكون متوازية ومنحنية ( ) .

٢- علل لما يأتي :

أ – خطوط المجال المغناطيسي كثيفة عند قطبي المغناطيس .

ب – يفضل استخدام الحديد المطاوع عند صنع مغناطيس مؤقت بينما يفضل الحديد الصلب عند صناعة مغناطيس دائم .

جـ – مغناطيس من الحديد الصلب وجد على الأرض، وقد فقد مغناطيسيته .

د – انكسر مغناطيس فأصبح مغناطيسيين صغيرين .

٣- أجر عملياً :

– خططْ المجال المغناطيسي لمغناطيس عملياً باستخدام إبرة مغناطيسية، ومغناطيس .

– ما شكل المجال المغناطيسي لتيار يمر في ملف دائري . أثبت ذلك عملياً .

– لديك بوصلة ومغناطيس، كيف تستخدمهما في تعيين موضع الأقطاب المغناطيسية عملياً؟

el-online.net

٤- اختر الإجابة الصحيحة بوضع دائرة حول رمزها:

١- المجال المغناطيسي لملف حلزوني يكون:

أ- لولبي. ب - دائري. جـ- مواز لمحور الملف. د- متعامد مع محور الملف.

٢- الجسم المشحون حينما يكون ساكناً يوجد حوله:

أ - مجال مغناطيسي. ب - مجال كهربائي.

جـ - (أ،ب). د - لاشي مما سبق.

٣- إذا وضعت بوصلة داخل ملف حلزوني يمر فيه تيار كهربائي؛ فإن طرفيها سيشيران إلى:

أ- اتجاه الجنوب للملف. ب- اتجاه الشمال والجنوب الجغرافيين.

جـ- اتجاه الشمال والجنوب للمغناطيس. د - لا شيء مما ذكر.

٤- سلك طوله ٠,٥٦٦ متراً يحمل تياراً شدته ٢١ أمبير في وجود مجال مغناطيسي مقداره ٠,٧٤ تسلا. فإذا أثرت في السلك قوة مغناطيسية في المجال مقدارها ٤,٤ نيوتن؛ فإن الزاوية بين السلك والمجال المغناطيسي هي:

أ) صفرْ. ب) ٣٠ْ. جـ) ٤٥ْ. د) ٩٠ْ.

٥- إذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي في الهواء عند نقطة ٣×١٠^{-٥} تسلا ناتجة عن مرور تيار مقداره (٣) أمبير في سلك طويل؛ فإن هذه النقطة تبعد عن السلك مسافة:

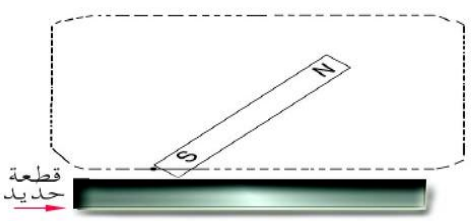
أ) ٢سم. ب) ٣سم. جـ) ١,٥سم. د) ١سم.

٥- أجب عن الأسئلة الآتية:

١- كيف تعيّن القطب الشمالي والجنوبي للمغناطيس؟

٢- قطعة حديد مستطيلة الشكل دلكت عدة مرات بمغناطيس كما هو موضح بالشكل الآتي:

أعد رسم الشكل في كراستك، ثم سم قطبي القطعة بعد ذلك.

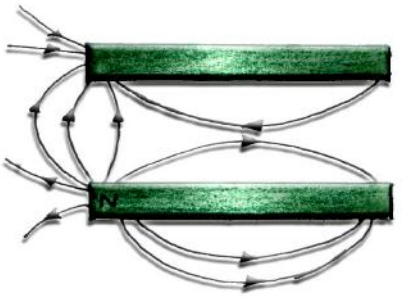


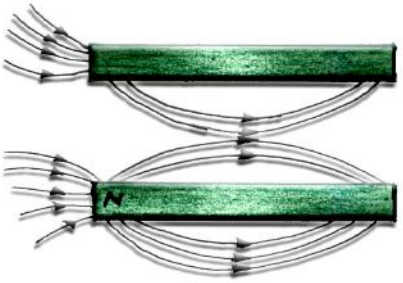
el-online.net

٣ – لديك الأشكال الآتية غير المكتملة الخطوط لمجالات مغناطيسية تكونت عندما وضع قطبان مغناطيسيان متجاورين بطريقتين مختلفتين أعد رسم الشكل في كراستك ثم:

أ– أكمل رسم خطوط المجال. ب – سمِّ الأقطاب المغناطيسية.

جـ – حدد اتجاه الخطوط. د – أشر إلى أين تقع نقطة التعادل إن وجدت.

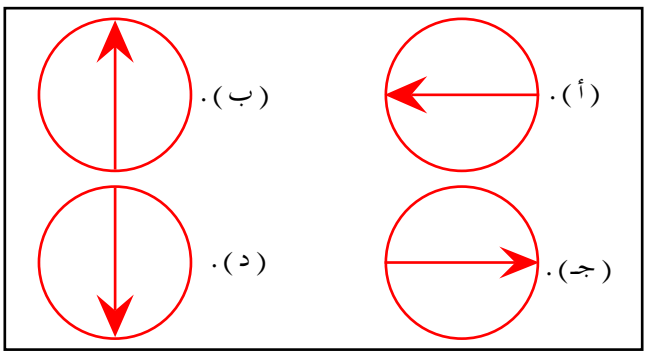


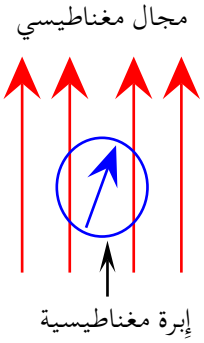


٤– في أي اتجاه تشير إبرة البوصلة إذا وضعت في نقطة التعادل بين مجالين مغناطيسيين.

٥ – قارن بين المغناطيس المصنوع من الحديد المطاوع، والمغناطيس المصنوع من الحديد الصلب.

٦ – إبرة مغناطيسية صغيرة وضعت في مجال منتظم كما هو موضح بالشكل، ففي أي اتجاه ستشير الإبرة المغناطيسية عندما تستقر؟





٧– اقترح طريقتين لزيادة التأثير المغناطيسي لملف حلزوني عند مرور تيار كهربائي

٨– هل يمكن أن يتقاطع خطان من خطوط المجال المغناطيسي؟ ولماذا؟

٩– استنتج رياضياً القانون العام للتجاذب، والتنافر للمغناطيسية.

el-online.net

١٠- يمر تيار شدته (٢) أمبير في سلك طوله (٥٠) سم موضوع في مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه (٠,١) تسلا. احسب القوة المؤثرة في هذا السلك في الحالات الآتية:

أ - السلك مواز لاتجاه المجال المغناطيسي.

ب - السلك يصنع زاوية (٤٥°) مع اتجاه المجال المغناطيسي.

جـ - السلك عمودي على اتجاه المجال

١١- يتحرك إلكترون بسرعة ٣×١٠^{٧} متر/ث عمودي على اتجاه المجال المغناطيسي كثافة الفيض فيه ٠,٤ تسلا. أوجد القوة المؤثرة في الإلكترون. علماً بأن شحنة الإلكترون $١,٦ \times ١٠^{-١٩}$ كولوم.

١٢- اكتب بالرموز القوانين الآتية:

أ - كثافة الفيض (B) عند نقطة تبعد (ف) متر عن سلك مستقيم.

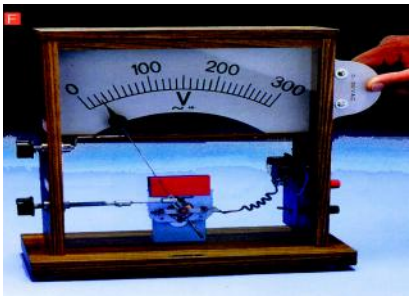
ب - كثافة الفيض(B) في مركز ملف دائري يمر فيه تيار شدته (ت)، ونصف قطر الملف (نـ).

جـ - كثافة الفيض (B) عند نقطة موجود في ملف حلزوني عدد لفات وحدة الأطوال $\frac{ن}{ل}$.

el-online.net

الوحدة العاشرة

القياسات الكهربائية
The Electric Measurmens



أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد دراسته لهذه الوحدة أن يكون قادراً على أن:

١- يتعرف على بعض التطبيقات المغناطيسية كأجهزة القياس المستخدمة في الحياة.
٢- يذكر وحدات القياس الكهربائية الدولية لبعض الكميات الفيزيائية مثل شدة التيار، وفرق الجهد والمقاومة الكهربائية.
٣- يوضح الفكرة النظرية لعمل بعض أجهزة القياسات الكهربائية.
٤- يستخدم بعض أجهزة القياس الكهربائية في الدوائر الكهربائية بطريقة صحيحة.
٥- يقارن بين مقياس الجهد، والفولتميتر في قياس: (ق.د.ك) للمصدر الكهربائي.
٦- يوضح الطريقة التي يمكن بها تحويل الجلفانومتر إلى أجهزة قياس أخرى كأميتر، وفولتميتر، وأوميتر، ويحل مسائل تطبيقية عليها.
٧- يوظف المعارف العلمية عن المقاييس الكهربائية في حياته اليومية والعامة.
٨- يذكر تركيب كل من: الفولتميتر، والأميتر، ومقياس الجهد، والقنطرة المترية، وقنطرة هويتستون عن طريق رسم أجزائها.
٩- يستنتج – رياضياً – قيمة كل من مجزئ التيار ، ومجزئ الجهد.
١٠- يجري تجارب عملية لحساب قيمة مقاومة مجهولة باستخدام قنطرة هويتستون، والقنطرة المترية، ومقياس الجهد.

el-online.net

القياسات الكهربائية
The Electric Measurmens

سبق لك وأن درست في الصفوف السابقة بعض دوائر التيار الكهربائي المستمر، ودوائر قانون أوم، وتعرفت على وحدات قياس بعض الكميات الكهربائية، مثل: فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في موصل، وشدة التيار الكهربائي المار به، وكذلك المقاومة التي تعيق مرور التيار في الموصل.

درست المغناطيسية وخواصها، في هذا الكتاب في (الوحدة التاسعة) وتعرفت على بعض تطبيقاتها، وتأثيراتها المغناطيسية عند مرور التيار في الموصلات بمختلف أشكالها ؛ وقد استفاد منها الإنسان في صناعة المغانط الكهربائية وأجهزة القياس التي يستخدمها لقياس: شدة التيار، وفرق الجهد بين نقطتين في موصل، ومقاومة موصل، وقياس (ق. د. ك) لمصدر كهربائي.

وقياس مثل هذه الكميات مهمة في حياة الإنسان، وفي مجال الصناعات الكهربائية، والإلكترونية التي نراها في حياتنا، ولكي تقيس شدة التيار بوحدة الأمبير، والمقاومة التي يلاقيها التيار في أثناء تحركه في الموصل بوحدة الأوم، وفرق الجهد بين نقطتين في موصل بوحدة الفولت، أو معرفة (ق.د.ك) لمصدر كهربي تريد استعماله في حياتك بوحدة الفولت فلابد لك من تعريف هذه الوحدات حتى تستطيع التعامل معها وهي على النحو التالي:

عرفت في الصف العاشر أن شدة التيار الكهربائي التي تمر في موصل هي كمية الشحنة الكهربائية التي تمر في هذا الموصل في زمن مقداره ثانية واحدة، أي أن:

$ت = \frac{ش}{ز}$ وهذا يعني أن شدة التيار تقاس بوحدة كولوم/ث، وقد أطلق على هذه الوحدة اسم «أمبير» وفي هذا الصف سنستخدم وحدة دولية، أطلق عليها «الأمبير الدولي» فماذا يقصد به؟

الأمبير الدولي : هو شدة التيار الكهربائي الذي يمر في محلول نيترات الفضة في زمن مقداره ثانية واحدة والذي يرسب كتلة من الفضة مقدارها ٠,٠٠١١١٨٣ جم .

el-online.net

تعريف آخر: **الأمبير: هو شدة التيار الذي إذا مر في سلكين متوازيين طول كل منهما ١م ويبعدان عن بعضهما مسافة ١م في الفراغ فإنهما يتبادلان قوة مقدارها ٢ × ١٠$^{-٧}$ نيوتن .**

وبالنسبة للمقاومة التي يلاقيها التيار خلال مروره في الموصلات فقد عرفت – من دراستك السابقة – أن وحدة قياسها هي الأوم، وفي هذا الصف سوف تدرس وحدة أخرى لقياس المقاومة، هي الأوم العياري الدولي.

– فماذا يقصد بالأوم العياري الدولي؟

الأوم العياري الدولي: هو مقاومة عمود من الزئبق منتظم المقطع طوله ١٠٦,٣ سم، ومساحة مقطعه ١مم^{٢} عند درجة حرارة الصفر المئوي.

وبقي لنا وحدة قياس الكمية الأخيرة، وهي فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في موصل، أو (ق. د.ك) لمصدر كهربائي، وهذه الكمية تقاس بوحدة أطلق عليها: (الفولت Volt).

– ماذا يقصد بهذه الوحدة؟

مر معك في الصف العاشر في موضوع الشغل الكهربائي والذي يعين من العلاقة الآتية:

الشغل = فرق الجهد × الشحنة، وقد عرفت أن وحدة قياس كل من الشغل وفرق الجهد، والشحنة الكهربائية يمكن وضعها في صورة العلاقة السابقة كما يأتي:

∴ **فولت** = $\frac{\text{جول}}{\text{كولوم}}$ ومن هذه العلاقة تستنتج أن:

الفولت: هو فرق الجهد بين نقطتين عندما يبذل شغل مقداره جول واحد لنقل شحنة بينهما مقدارها كولوم واحد.

وبعد أن استعرضنا تعريفات وحدات القياس لكل من: شدة التيار، والمقاومة الكهربائية، وفرق الجهد الكهربائي؛ فلابد لنا من استعراض الأجهزة التي تستخدم لقياسها في الدوائر الكهربائية، ومعرفة أجزائها، وفكرة عملها، والتعرض إلى بعض قوانينها، وهي محتوى هذه الوحدة.

el-online.net

الجلفانومتر Galvanometer

يستخدم هذا الجهاز في قياس شدة التيارات الكهربائية المستمرة الضعيفة التي تمر في الموصلات الكهربائية للدوائر الكهربائية، وقد يصل مقدارها إلى: ١٠$^{-١٠}$ أمبير وهي قيمة صغيرة جداً، وأحد أنواعه موضحة في الشكل (١).

ويعتبر هذا الجهاز هو الأساس في صناعة أجهزة القياس الأخرى، مثل الأميتر والفولتميتر والأوميتر والأفوميتر.

شكل (١)

تركيبه:

يتركب في أبسط صورة من مغناطيس قوي على شكل حدوة الفرس، يوضع بين قطبيه ملف مستطيل من سلك نحاسي معزول قابل للدوران، وسلك (ليّ) رفيع، ويتصل ملفه بمؤشر يتحرك على تدريج مقسم إلى أجزاء صغيرة من الأمبير، والشكل (٢) يوضح تركيب أجزائه الداخلية في أبسط صورة. (الملف المستطيل لايظهر في الصورة) .

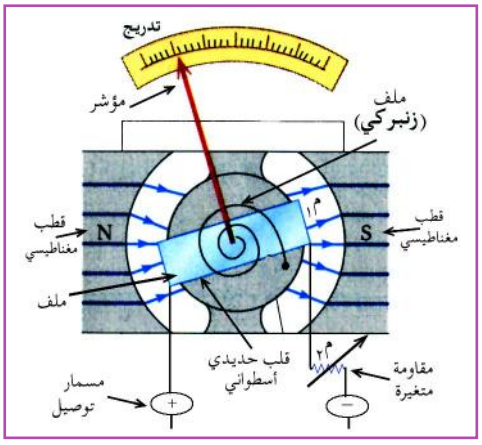
نظرية عمله

في الوحدة التاسعة في هذا الكتاب عرفت التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي عند مروره في الموصلات المختلفة الأشكال، وعند مرور تيار كهربائي في ملف الجلفانومتر، فإن كل ضلع من ضلعي الملف المستطيل والمتعامد مع خطوط المجال تؤثر عليه قوة مغناطيسية مقدارها : ق = ل ت B

والقوتان متساويتان ومتضادتان ومتوازيتان وخط عملهما ليس على استقامة واحدة.

ونتيجة لذلك يتولد ازدواج يكون له عزم يعمل على دوران الملف ونتيجة لدوران الملف فإن سلك التعليق يلتوي على نفسه فيتولد ازدواج مضاد للازدواج الأول وعندما يتوقف الملف عن الدوران يتساوى عزما الازدواجين فيثبت المؤشر عند قراءة معينة تدل على شدة التيار.

el-online.net



شكل (٢)

أما إذا مر تيار كهربائي كبير في الملف؛ فيكون عزم ازدواج الملف أكبر من عزم ازدواج سلك اللّي الرفيع، مما يجعل دوران الملف يحدثُ بزاوية أكبر مما يجب أن تكون.

وهذا بدوره يؤدي إلى تلف سلك اللي الرفيع، ويتلف الجهاز.

ملاحظة: عند استخدام هذا النوع من الأجهزة في القياس، يجب أن لا يتم تمرير تيارات كهربائية كبيرة، بل يتم تمرير تيارات قيمها صغيرة جداً،وتكون قيمها أقل من القيمة التي يقيسها الجلفانومتر كحد أعلى، للمحافظة عليه من التلف (عادة يتم تحديد مدى القياس على الجهاز) .

عرفنا– فيما سبق– أن الجلفانومتر يقيس شدة التيارات الكهربائية الصغيرة، فإذا كانت شدة التيارات الكهربائية كبيرة فما الجهاز الذي يمكن استخدامه لقياسها؟

ولكي تجيب عن هذا السؤال؛ دعنا نستعرض التصميم الذي وضعه المهندسون وقاموا، بإجراء تعديلات لجهاز الجلفانومتر؛ ليلبي الطلب السابق، وهذا الجهاز المعدل سمي بالأميتر.

الأميتر Ameter

شكل (٣) جهاز الأميتر

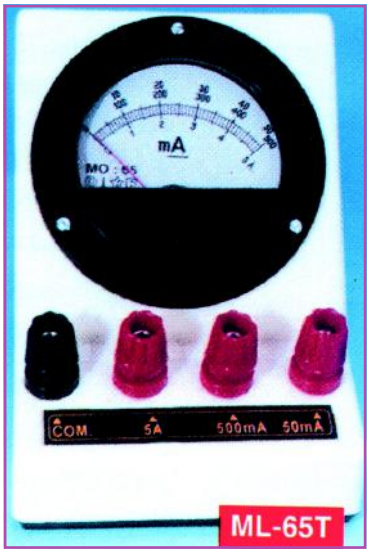
الأميتر هوالجهاز المعدل لجهاز الجلفانومتر المستخدم لقياس شدة التيارات الكهربائية الكبيرة، والتعديل هو إيصال ملف الجلفانومتر بزنبرك عزمه أكبر من عزم سلك اللي الرفيع، و إضافة مقاومة كهربائية قيمتها صغيرة جداً، توصل مع ملفه على التوازي؛ حتى يتم تجزئة التيار المار في دائرة الجهاز بين الملف، والمقاومة المضافة الصغيرة، وقد سميت « بمجزئ التيار » شكل(٥) .

el-online.net

عند توصيل جهاز الأميتر في دائرة كهربائية يمر بها تيار مستمر، ويراد قياس شدته، فإن هذا التيار عند مروره يتفرع عبر الملف، والمقاومة الصغيرة الموصلة معه على التوازي. والجزء الأكبر من هذا التيار يمر خلال مجزئ التيار، وتجزئة التيار المار في الدائرة الداخلية للأميتر هو الذي جعله يتحمل شدة تيارات أكبر مما يتحمله الجلفانومتر، حيث أن مقاومة الجلفانومتر الكبيرة تجعل شدة التيار المار فيه صغيرة جداً.

إضافة إلى أن الزنبرك يتحمل عزماً أكبر للازدواج المؤثرة على ملف الأميتر، وجعل الأميتر يقيس تيارات عالية الشدة.

ملاحظة: مع مرور وقت لاستخدام الأميتر لا يعطي قراءة صحيحة لشدة التيار الكهربائي المراد قياسها بسبب ضعف الزنبرك، وتوجد أميترات تقيس أجزاء من الأمبير، وهي مللي أمبير، ويرمز لها بالرمز: (mA). والشكل (٤) يوضح ذلك.



شكل (٤) صورة لمللي أميتر

■ العلاقة بين وحدة قياس شدة التيار الأمبير، وأجزائه:

واحد أمبير = $١٠^{٣}$ مللي أمبير (mA).

واحد mA = $١٠^{-٣}$ أمبير.

واحد ميكرو أمبير (μA) = $١٠^{-٦}$ أمبير.

حساب قيمة مجزئ التيار:

– لماذا يتم توصيل مقاومة صغيرة $م_{٢}$ على التوازي مع مقاومة ملف جهاز الأميتر $م_{١}$؟

توصل المقاومة الصغيرة ($م_{٢}$) على التوازي مع مقاومة ملفه($م_{١}$)؛ لكي يتجزأ التيار المار في دائرته، وحتى لا يتلف ملفه. والشكل (٥) يبين طريقة توصيل المقاومة الصغيرة (مجزيء التيار) مع ملف الأميتر.

ولحساب مقاومة مجزئ التيار ($م_{٢}$).

نفترض أن فرق الجهد بين طرفي الأميتر هو ($جـ_{١}$) فولت ومن قانون أوم لدينا:

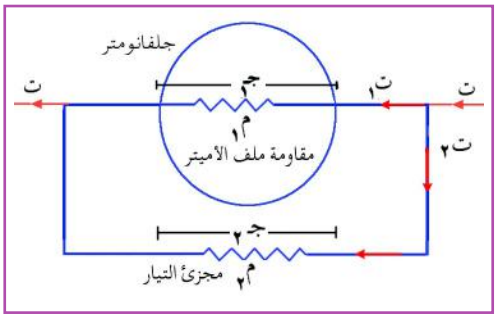
$جـ_{١} = ت_{١} \times م_{١}$ .....(١).

وفرق الجهد بين طرفي مجزئ التيار: ($جـ_{٢}$) فولت.

el-online.net

جـ٢ = ت٢ × م٢ ..... (٢) .

وطالما أن فرق الجهد بين طرفي المقاومة الداخلية للأميتر (جـ١)، ومجزئ التيار (جـ٢) متساوٍ؛ نتيجة لتوصيلهما على التوازي ؛ إذاً من العلاقتين: (١، ٢) نجد أن:



شكل (٥) الأميتر

ت١ م١ = ت٢ م٢ ..... (٣) . ويمكن وضع هذه المعادلة بالصورة الآتية:

$$م_{٢} = \frac{م_{١} \times ت_{١}}{ت_{٢}} \ldots\ldots\ldots (٤) .$$

وبما أن ت٢ = ت – ت١ (٥)

حيث (ت) شدة التيار الكلي المار في جهاز الأميتر، و (ت٢) شدة التيار المار في مجزئ التيار، و(ت١) شدة التيار المار بالمقاومة الداخلية لملف الأميتر. وبعد تعويض العلاقة (٥) في (٤) نحصل على العلاقة الآتية:

$$م_{٢} = \frac{م_{١} \times ت_{١}}{ت - ت_{١}} \ldots\ldots (١)$$

وبمعلومية قيمة (م١ ، ت١ ، ت) يمكن تعيين قيمة مقامة مجزئ التيار (م٢) .

النشاط (١)

إذا أردت أن تحسب قيمة مقدار شدة التيار الكلّي (ت) المار في جهاز الأميتر استخدم العلاقة الآتية:

$$ت = ت_{١} \times \frac{(م_{١} + م_{٢})}{م_{٢}}$$

فما الخطوات التي يمكنك اتباعها للوصول إلى هذه العلاقة؟ استرشد بالعلاقات السابقة عند كتابة خطوات الاستنتاج.

el-online.net

أمثلة :

مثال (١) : جهاز أميتر مقاومته الداخلية (١٠) أوم ، وأكبر تيار يمكن أن يتحمله ملفه مقداره (٠,٥) أمبير، ولكننا نريده أن يقيس شدة تيار مقداره (٣) أمبير . فما مقدار المقاومة اللازم توصيلها مع ملفه على التوازي حتى نستطيع قياس هذا التيار .

الحل : من العلاقة (١)

$$م_{٢} = \frac{م_{١} \times ت_{١}}{ت - ت_{١}}$$ ، وبالتعويض عن القيم المعطاة :

$$م_{٢} = ١٠ \times \frac{٠,٥}{٣ - ٠,٥} = ٢ \text{ أوم}$$

وهي قيمة مقدار المقاومة اللازم توصيلها مع ملفه على التوازي.

مثال (٢) : جلفانومتر حساس ملفه لا يتحمل تياراً شدته أكبر من (٠,١) أمبير، أراد أحد الطلاب أن يستخدمه ليقيس شدة تيار كهربائي لا يزيد عن (٢) أمبير، فإذا كانت مقاومة ملفه مقدارها (٥٠) أوم، فما مقدار مقاومة المجزئ الذي يلزم استخدامه معه؟

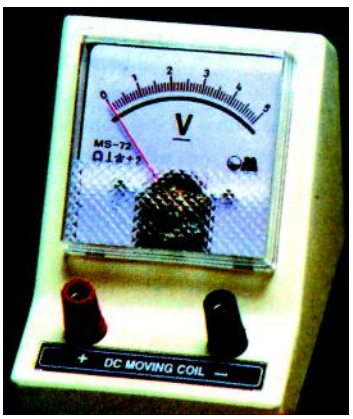
الحل : من العلاقة (١) ، وبالتعويض عن القيم المعطاة في المثال في هذه العلاقة؛

نجد أن : $م_{٢} = \frac{٥٠ \times ٠,١}{٢ - ٠,١} = ٢,٦$ أوم تقريباً، وهي قيمة المجزئ اللازم توصيله مع الجلفانومتر؛ ليقيس شدة التيار المطلوب.

الفولتميتر Voltmeter

عرفنا فيما سبق كيف أمكن قياس شدة التيار الكهربائي بوحدة الأمبير، والآن إذا أردنا أن نقيس قيمة مقدار فرق الجهد : (جـ) بين نقطتين في موصل متصل بدائرة كهربائية بوحدة الفولت؛ فما الجهاز الذي يستخدم لذلك؟

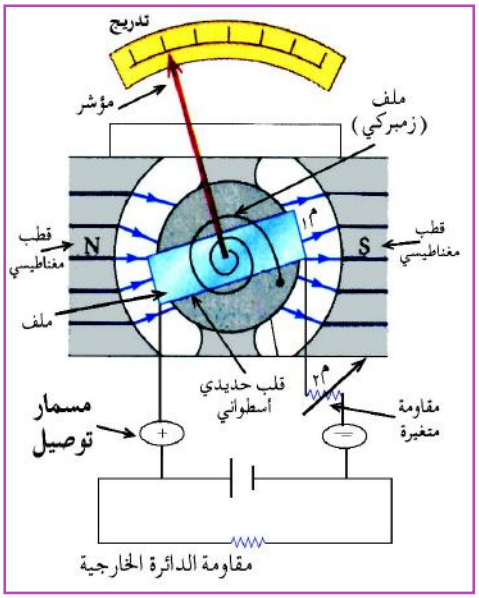
أُنظر إلى الشكل (٦) الذي يوضح الجهاز المستخدم؛ لقياس فرق الجهد الكهربائي .



شكل (٦) صورة لجهاز الفولتميتر

el-online.net

تركيب الفولتميتر : يشبه هذا الجهاز في تركيبه تركيب الأميتر، ولكن يوصل ملفه بمقاومة كبيرة جداً على التوالي، كما يبينه الشكل (٧) .



شكل (٧) يوضح تركيب جهاز الفولتميتر

أما تدريجه فَيُدَرج بوحدات الفولت، أو أجزائه. وعندما يراد استخدامه لقياس فرق الجهد بين نقطتين في دائرة كهربائية يُوصل مأخذي التوصيل للجهاز مع الدائرة الخارجية على التوازي كما يلاحظ في الشكل(٧) .

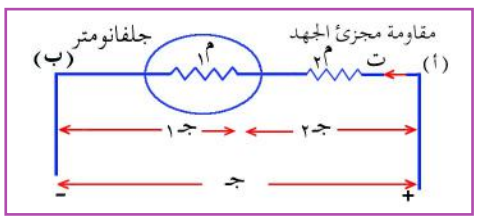
والآن إذا كان فرق الجهد المراد قياسه كبيراً يفوق قراءة تدريج الفولتميتر، ولا تتحمله دائرته الداخلية، فكيف يمكن أن نحل هذه المشكلة حتى نجعل الفولتميتر يقيس فرق جهد كبير، ونحافظ على عدم تلفه؟

لحل هذه المشكلة يتم توصيل مقاومة كبيرة جداً على التوالي مع مقاومة ملفه؛ حتى يستطيع جهاز الفولتميتر أن يتحمل فرق جهد أكبر مما هو مكتوب على تدريجه، وبذلك يمكن استخدامه لقياس فرق جهد أكبر بحسب الطلب .

وهذه المقاومة التي توصل مع ملفه على التوالي، تسمى « بمجزئ الجهد » .

حساب قيمة مقاومة مجزئ الجهد الموصلة مع مقاومة ملف الفولتميتر :

يهمك أن تعرف كيف يمكن تعيين مقدار مقاومة مجزئ الجهد المراد توصيله مع مقاومة ملف الفولتميتر لكي يتم تعديله ليقيس فرق جهد أكبر مما يتحمله ملفه، ويكون أكبر من فرق الجهد المسجل على تدريجه .



شكل (٨) الفولتميتر

يوضح الشكل (٨) الرسم التخطيطي المبسط لجهاز الفولتميتر الذي يبين طريقة توصيل المقاومة الكبيرة (م٢) لمجزئ الجهد على التوالي مع مقاومة ملفه (م١)

el-online.net

(جـ٢) فرق الجهد بين طرفي مقاومة مجزئ الجهد (م٢) ، (جـ١) فرق الجهد بين طرفي مقاومة ملف الفولتميتر(م١) ، بينما فرق الجهد الكلي بين النقطتين : (أ ، د) = جـ فولت .

و(ت) شدة التيار المار في دائرة الجهاز . ولحساب مقاومة مجزئ الجهد (م٢) نتبع الخطوات التالية :

∵ حـ = جـ١ + جـ٢ ∵ حـ٢ = م٢ت

∴ حـ = جـ١ + ت × م٢ وبالتعويض بقية ت بدلالة جـ١

حيث أن جـ١ = ت × م١ ⟸ ت = $\frac{جـ_1}{م_1}$ ∴ جـ = جـ١ + $\frac{جـ_1}{م_1}$ × م٢

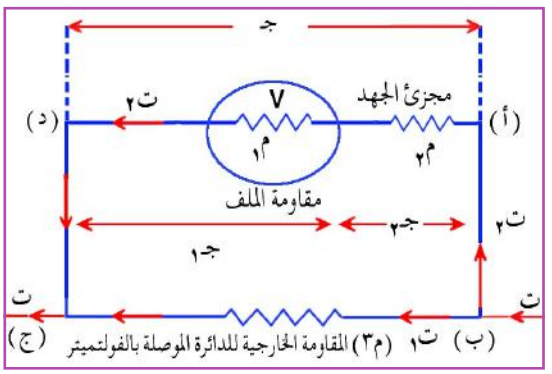
وبتوحيد المقامات نجد أن جـ = $\frac{جـ_1 \times م_1 + جـ_1 \times م_2}{م_1}$ بضرب الطرفين في الوسطين

جـ م١ = جـ١ م١ + جـ١ م٢ ∴ جـ١ م٢ = جـ م١ − جـ١ م١ بأخذ عامل مشترك

$$\therefore م_2 = م_1 \frac{جـ - جـ_1}{جـ_1} \quad .....(٢)$$

حساب فرق الجهد بين طرفي مقاومة خارجية :

يُربط جهاز الفولتميتر مع المقاومة الخارجية م٣ على التوازي . وقد جُزِّئ التيار الكلي (ت) المار في دائرة الجهاز إلى التيارين(ت١ ، ت٢) كما يوضحه الشكل (٩)؛ حيث يمر الجزء الأول بالدائرة الخارجية(المقاومة م٣) الموصلة بطرفي الفولتميتر، والجزء الثاني في الدائرة الداخلية له ، وبتطبيق قانون أوم على الشكل(٩)؛ فإن :



شكل (٩) جهاز الفولتميتر.

el-online.net

فرق الجهد الكلي بين النقطتين، (أ، د) :

$$جـ = جـ_{١} + جـ_{٢}$$

$$\because جـ_{٢} = م_{٢} \times ت$$

$$\therefore جـ = جـ_{١} + م_{٢} \times ت_{٢}$$

بالتعويض بقيمة $ت_{٢}$ بدلالة $جـ_{١}$ حيث أن $ت_{٢} = \frac{جـ_{١}}{م_{١}}$

$$\therefore حـ = جـ_{١} + \frac{جـ_{١}}{م_{١}} \times م_{٢}$$ بتوحيد المقامات نجد أن :

$$جـ = \frac{م_{١} جـ_{١} + جـ_{١} م_{٢}}{م_{١}}$$ بأخذ عامل مشترك

$$\therefore \boxed{جـ = جـ_{١} \times \frac{م_{١} + م_{٢}}{م_{١}} \quad .....(٣).}$$

ومن هذه العلاقة يمكن حساب فرق الجهد الكهربائي الكلي بين نقطتين متصلتين على التوازي مع مسماري توصيل جهاز الفولتميتر.

سؤال : استنتج العلاقة (٣) من العلاقة (١) .

وللاستزادة فيما يتعلق بحساب مقدار مقاومة مجزئ الجهد ($م_{٢}$) الموصله على التوالي مع مقاومة الفولتميتر الداخلية ($م_{١}$)؛ (أُنظر خطوات إجراء التجربة في دليل الأنشطة والتجارب العملية) .

مثال (٣) : فولتميترٍ أقصى جهد يمكن أن يقيسه (٢٠ فولتاً)؛ فإذا أريد استخدامه لقياس فرق جهد مقداره (٢٥) فولتاً، فما قيمة مقدار المقاومة التي يجب أن توصل على التوالي مع مقاومة ملف الجهاز علماً بأن مقاومة ملفه = (٤٠٠) أوم.

الحل :

$$م_{٢} = م_{١} \times \frac{جـ - جـ_{١}}{جـ_{١}} = ٤٠٠ \times \left(\frac{٢٠ - ٢٥}{٢٠} \right) = ١٠٠ \text{ أوم} .$$

el-online.net

مثال (٤) : فولتميترٍ أعلى تدريج له = (٢) فولت، فإذا أردت استخدامه؛ ليقيس فرق جهد أكبر مما هو مسجل على تدريجه، ومقداره (٢٫٢ فولت)، فما مقدار المقاومة التي يجب أن توصلها على التوالي مع مقاومته الداخلية. ومع العلم أن قيمتها (٢٠٠) أوم.

الحل :

$$م_{٢} = م_{١} \times \frac{جـ - جـ_{١}}{جـ_{١}}$$

$$= ٢٠٠ \times \frac{(٢٫٢ - ٢)}{٢} = ٢٠ \text{ أوم}.$$

النشاط (٢)

حاول الحصول على مقاومات معلومة، ثم قم بتوصيلها مع المقاومة الكلية لجهاز الفولتميتر، واستخدمه في قياس فرق جهد لمصدر كهربائي مقداره أكبر من أعلى قيمة تدريجه بقدر مناسب، ثم لاحظ القراءة التي يقيسها.

قارن النتيجة في الحالتين – بالاستعانة بمدرسك، وكتاب الأنشطة والتجارب العملية .

الأوميتر Ammometer

عرفت أن جهاز الأميتر يقيس شدة التيار الكهربائي بوحدة الأمبير، وجهاز الفولتميتر يقيس فرق الجهد الكهربائي بوحدة الفولت. وتبقى لنا قياس المقاومة الكهربائية بوحدة الأوم؛ فما اسم الجهاز الذي يستخدم لقياس المقاومة الكهربائية لموصل، أو دائرة كهربائية بوحدة الأوم بطريقة مباشرة؟

تم صناعة جهاز لقياس المقاومة الكهربائية بطريقة مباشرة، وتركيبه يشبه تركيب الجلفانومتر، ولكي يصبح الجلفانومتر جهازاً يصلح لقياس مقدار المقاومة بالأوم بطريقة مباشرة فقد عُدّل الجلفانومتر ليؤدي هذا الغرض؛ حيث يوصل معه على التوالي عمود كهربائي جاف قوته الدافعة الكهربائية تكون مناسبة . ويوصل معه – أيضاً – مقاومة

el-online.net

عيارية يرمز لها بالرمز (م$_{ع}$)، أن وظيفة كل من العمود الجاف، والمقاومة المعيارية، يجعل جهاز الأوميتر ينحرف مؤشره إلى أقصى انحراف قبل إدماج المقاومة المراد قياس مقدارها(عند توصيل قطبيه مع بعضهما) وعند توصيل هذه المقاومة بالجهاز؛ فإن التيار المار خلال الأوميتر، يعين مقداره من العلاقة :

$$ت = \frac{ق}{م_{١} + م_{ع} + م} \quad \ldots\ldots\ldots (٤)$$

حيث : (م$_{١}$) هي مقاومة ملف الأوميتر، (م$_{ع}$) هي المقاومة المعيارية، (م) المقاومة المراد قياسها ، والشكل (١٠) يبين صورة الأوميتر .

ملاحظة : يجب عدم استخدام الأوميتر في دائرة مغلقة. (لماذا)؟

الأفوميتر Avommeter

نتيجة للحاجة إلى وجود جهاز واحد يستخدم لقياس كل من: شدة التيار بالأمبير، وفرق الجهد بالفولت، والمقاومة بالأوم ، فقد فكر علماء الفيزياء الاستعاضة عن هذه الأجهزة الثلاثة ؛ بجهاز واحد يحل محلها يمكن استخدامه؛ لقياس كل من شدة التيار، وفرق الجهد، والمقاومة بديلاً عن الأميتر، والفولتميتر، والأوميتر؛ وذلك بعد ما أجروا التعديلات للجلفانومتر، وتم إضافتها لدائرته ثم وصلت معه مقاومة عيارية م$_{ع}$ ، وعمود كهربائي جاف قوته الدافعة الكهربائية مناسبة متصل معه على التوالي . كما أضيف إلى الجلفانومتر عدد من المجزئات، والمقاومات، ومفتاح متعدد الأوضاع، يعمل بعدة أوضاع؛ ليسمح بقياس شدة التيار، أو فرق الجهد أو المقاومة . ويكون تدريج المقاومة معاكس لتدريج كل من شدة التيار وفرق الجهد .

el-online.net

ويدار المفتاح بحسب الغرض الذي يراد قياسه كما يوضحه الشكل (١٠)، ويمكن مشاهدته لدى محلات إصلاح الأجهزة الكهربائية، الذين يستخدمونه للكشف عن الدوائر الكهربائية للأجهزة المعطلة، ويكتشفون به موقع العطل ليمكن إصلاحه.

شكل (١٠) الأفوميتر.

ملاحظة:

يلاحظ في وقتنا الحاضر، وفي عصر التقدم العلمي، والتكنولوجي، وغزو الفضاء بأن الإنسان صنع أجهزة بديلة للأجهزة السابقة بحيث تقيس بدقة تامة القياسات السابقة، وهذه الأجهزة هي أجهزة رقمية؛ (Digetal) (أي لا يوجد بها مؤشر يعطي القياس المطلوب لكل مما سبق ذكره). بل تعطي القراءة بالأرقام الصحيحة، والأجزاء لوحدات كل من: (الأمبير، والفولت، والمقاومة). ويمكنك مشاهدتها مع فنيي الكهرباء، والمهندسين الكهربائيين، وغيرهم.

النشاط (٣)

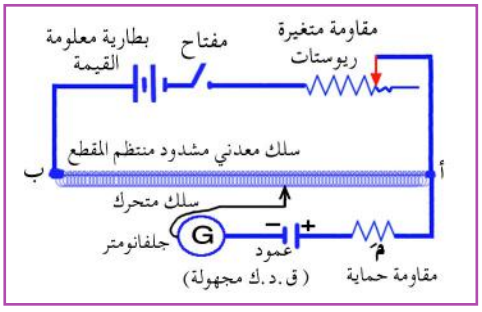
حاول بالتعاون مع زملائك في الصف ومساعدة مدرسك مشاهدة جهاز «الأفوميتر» من أحد محلات بائعي الأجهزة الكهربائية، أو محلات إصلاح الأجهزة الكهربائية، والإلكترونية، واطلب إليه أن يوضح كيفية استخدامه لقياس كل من (ت،م،جـ) واكتب رموزها باللاتينية كما هي مدونه على الجهاز المبين في الشكل (١١)، ثم أعدْ تقريراً بذلك، وألقه في كلمة طابور الصباح.

شكل (١١) جهاز رقمي يقيس كلاً من (A,V,R)

el-online.net

مقياس الجهد، Potentiometer:

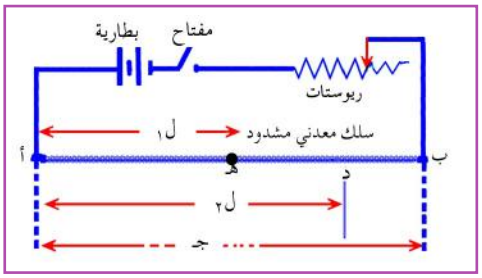
يعد مقياس الجهد من أدوات القياسات الكهربائية المستخدمة في قياس فرق جهد بدقة كبيرة كونه لا يسحب تياراً كهربائياً من الدائرة الكهربائية المطلوب فيها قياس فرق الجهد بين طرفيها . وهذه ميزة هامة يتميز بها هذا الجهاز عندما نتعامل مع مصادر كهربائية ذات قوى دافعة كهربائية تكون مقاومتها الداخلية كبيرة، والتيار الكهربائي المستمد منه يكون ضعيف .



شكل (١٢).

تركيبه: يتركب في أبسط صورة من سلك معدني مقطعه منتظم، وطوله متر، يشد بين نقطتين (أ،ب) على لوحة خشبية فوق مسطرة خشبية مدرجة، والشكل (١٢) يوضح ذلك .

الفكرة التي على أساسها يعمل مقياس الجهد ؛ لقياس فرق الجهد بين نقطتين :



شكل (١٣).

يتم توصيل سلكه المشدود (أ،ب) على التوالي مع بطارية، ومقاومة متغيرة (ريوستات)، ومفتاح كما هو مبين في الشكل (١٣). وعند قفل الدائرة، وبتغيير مقاومة الريوستات، يمر تيار مناسب في السلك المشدود بحيث تظل شدته ثابتة طوال الوقت . فإذا كانت مقاومة السلك (أ،ب) هي (م) وشدة التيار المار بالسلك هي (ت) أمبير، فإن فرق الجهد بين النقطتين (أ،ب) كما يلي :

جـ = ت × م

ويكون فرق الجهد لوحدة الطول (جَ) من سلك القياس هو :

$$جَ = \frac{جـ}{ل} = \frac{م \times ت}{ل}$$ ؛ حيث(ل) طول السلك المشدود (أ ب).

وعندما نأخذ نقطة على السلك تقع بين طرفي السلك (أ،ب)، ولتكن هذه النقطة هي (د) ؛ شكل(١٣) ، فإن فرق الجهد جـ١ بين النقطتين (أ ، د)

el-online.net

يمكن حسابها من العلاقة :

$$جـ_{١} = جـَ \times ل_{١} = \frac{جـ}{ل} \times ل_{١} = \frac{ت \times م}{ل} \times ل_{١} \ldots\ldots\ldots\ldots (١) .$$

حيث ($ل_{١}$) بعد النقطة (**ﻫ**) عن الطرف (أ) لسلك مقياس الجهد،وإذا أخذنا نقطة أخرى، ولتكن (د) على سلك مقياس الجهد بعدها عن النقطة (أ) يساوي ($ل_{٢}$)؛ فإن فرق الجهد ($جـ_{٢}$) بين النقطتين (أ، **د**) يمكن حسابه من العلاقة :

$$جـ_{٢} = \frac{ت \times م}{ل} \times ل_{٢} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢) .$$

ومن المعادلتين (١َ ، ٢َ) ؛ نحصل على العلاقة الآتية :

$$\frac{جـ_{١}}{جـ_{٢}} = \frac{ل_{١}}{ل_{٢}} \ldots\ldots\ldots (٥) .$$

من العلاقة (٥)، يتضح أن فرق الجهد بين الطرف (أ) لسلك مقياس الجهد،وأي نقطة عليه يتناسب طردياً مع بعدها عنه .

ولذلك فإن بعد أي نقطة على سلك مقياس الجهدعن الطرف (أ) تعتبر مقياسٌ لفرق الجهد بينهما .ويمكن أن تتعدد استخدامات مقياس الجهد . كما يظهر في الشكل (١٤) الذي يبين استخدامه في إيجاد قيمة (ق .د .ك) مجهولة لعمود كهربائي .

ملاحظة :

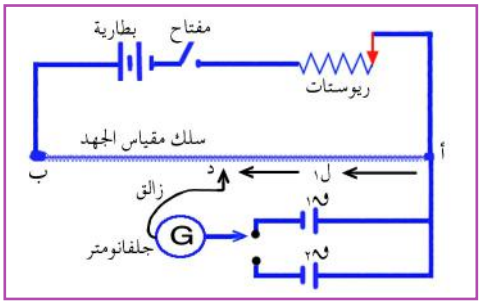
١- يجب أن يوصل القطب السالب للعمود المراد تعيين قوته الدافعة بالقطب السالب للبطارية الرئيسة للمقياس وإلا فلا يمكن إيجاد نقطة على سلك المقياس ينعدم عندها انحراف مؤشر الجلفانومتر .

٢- لابد وأن تكون القوة الدافعة الكهربائية للبطارية المستخدمة في دائرته الرئيسة أكبر من القوة الدافعة الكهربائية للعمود المراد قياس (ق .د .ك) وإلا فإن مؤشر الجلفانومتر لن يتحرك، ولن يحدث اتزان له .

- **استخدام مقياس الجهد في المقارنة بين قوتين دافعتين لعمودين كهربائيين :**

لاستخدام مقياس الجهد في المقارنة بين القوتين الدافعتين لعمودين كهربائيين، تركب الدائرة كما يبينه الشكل (١٤) يوصل العمود الأول وقوته الدافعة ($ﻫ_{١}$) في دائرة سلك مقياس الجهد، ويتم تحريك الزالق على سلك مقياس الجهد من

el-online.net



شكل (١٤) .

النقطة (أ)، وفي اتجاه النقطة (ب) من الطرف الآخر للسلك؛ حتى يتزن مؤشر الجلفانومتر أي يعود إلى الصفر. وهذا يعني أن (ق١) للعمود قد اتزنت مع فرق الجهد على سلك المقياس بين الزالق، والنقطة (أ) المشتركة بين طرف السلك، والعمود الأول، وفي هذه الحالة يتم قراءة المسافة بين النقطة (أ)، والنقطة (ء) المنزلقة الذي حدث عندها الاتزان، ولتكن (ل١) .

– يستبدل العمود الثاني الذي (ق . ء . ك = ق٢) بالعمود الأول، وبنفس الطريقة يمكن تعيين المسافة بين الطرف (أ) لسلك المقياس، والنقطة التي حصل عندها الاتزان للسلك المتحرك (المنزلق) ولتكن (ل٢) .

في هذه الحالة يكون : $\frac{ق_1}{ق_2} = \frac{ل_1}{ل_2}$ ..... (٦)

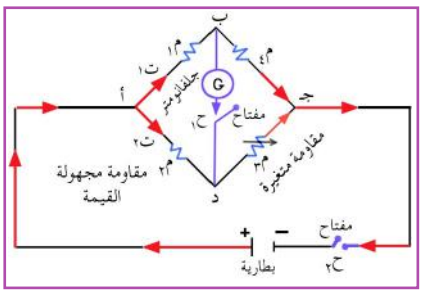
من هذه العلاقة بمعلومية إحدى القوتين الدافعتين يمكن حساب (ق . د . ك) للعمود الآخر.

تجربة : استخدام مقياس الجهد في قياس (ق . د . ك) لعمود كهربائي (أُنظر خطوات إجراء التجربة في كتاب الأنشطة العملية) .

النشاط (٤)

حاول بالتعاون مع زملائك عمل نموذج لمقياس جهد من مواد متوافرة في بيئتك.

قنطرة هويتستون Wheatstone bridge Circuit



شكل (١٥) .

يتكون جسر هويتستون من أربع مقاومات : (م١ ، م٢ ، م٣ ، م٤) كما يوضحه الشكل (١٥) مرتبة على التوالي، وتكون المقاومة (م٣) مقاومة متغيرة، والمقاومتان (م١ ،م٤) معلومتان، والمقاومة (م٢) قيمتها مجهولة. وتستخدم هذه القنطرة في تعيين قيمة مقاومة مجهولة.

el-online.net

– لماذا يوصل مع المقاومات جهاز الجلفانومتر الحساس كما نلاحظ في الشكل(١٥)؟.

هذا الجهاز يقيس شدة التيارات الضعيفة التي تمر خلاله، وعندما ينحرف مؤشره، فإن ذلك دليل على مرور تيار خلاله. وينعدم الانحراف عندما يحدث اتزان بطريقة غير مباشرة.

– **الفكرة التي بنيت عليها قنطرة هويتستون لقياس مقاومة مجهولة :**

لاحظ من الشكل السابق أن قنطرة هويتستون تتكون من أربعة أضلاع هي : (أ ب، ب جـ ، جـ د ، د أ)، وعند توصيل النقطتين (ب د) بالمفتاح (ح$_١$) وبالجلفانومتر يكون صفره في المنتصف ، ويتم توصيل النقطتين (أ ، جـ) بقطبي البطارية التي قوتها الدافعة (ق) فولت من خلال المفتاح (ح$_٢$)، وعند غلق المفتاحين الأول، والثاني يمر تيار في الدائرة، وفي هذه الحالة يتم تغيير قيمة المقاومة المتغيرة حتى يستقر مؤشر الجلفانومتر عند التدريج (صفر). ويحدث الاتزان عندئذ . وشدة التيار (ت$_١$) الذي يمر في الضلع (أ ب) هو نفسه الذي يمر في الضلع (ب جـ).

وبالمثل شدة التيار (ت$_٢$) الذي يمر في (جـ د) هو نفسه الذي يمر في (د أ).

وعند عدم مرور تيار في الجلفانومتر، يعني ذلك أن فرق الجهد بين النقطتين (ب، د) يساوي الصفر أي أن :

$$جـ_{أب} - جـ_{أد} = صفر$$

$$\therefore \quad جـ_{أب} = جـ_{أد}$$

$$م_٢ \times ت_٢ = م_١ \times ت_١ \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١).$$

وكذلك فرق الجهد بين النقطتين (د، جـ) يساوي فرق الجهد بين النقطتين (ب، جـ) ومنها

$$م_٣ ت_٢ = م_٤ \times ت_١ \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢).$$

وعند قسمة المعادلة (١) على المعادلة (٢)، فإننا نحصل على العلاقة الآتية :

$$\frac{م_٢ ت_٢}{م_٣ ت_٢} = \frac{م_١ ت_١}{م_٤ ت_١} \quad \text{ومنها} \quad \frac{م_٢}{م_٣} = \frac{م_١}{م_٤}$$

ومن هذه المعادلة يمكن تعيين قيمة المقاومة المجهولة (م$_٢$) كما يلي :

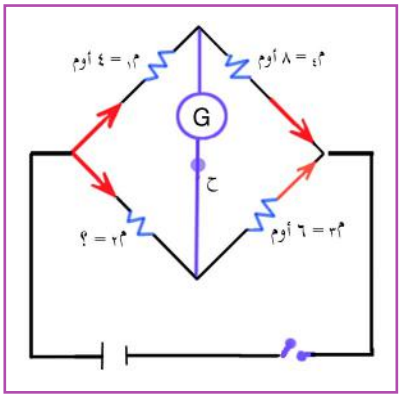
$$م_٢ = \frac{م_١}{م_٤} \times م_٣ \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٧)$$

وذلك بمعلومية كل من (م$_١$ ،م$_٣$ ،م$_٤$) .

el-online.net

- **ملاحظة**: يسمى المقدار $\frac{م_1}{م_4}$ ، $\frac{م_2}{م_3}$ بذراعي النسبة لقنطرة هويتستون.

مثال (٥): أُنظر إلى الشكل (١٦) واستعن بالبيانات المكتوبة عليه، ثم احسب قيمة المقاومة ($م_2$) المجهولة مع العلم أن قنطرة هويتستون متزنة.



شكل (١٦)

الحل: $م_2 = \frac{م_1}{م_4} \times م_3$ بالتعويض

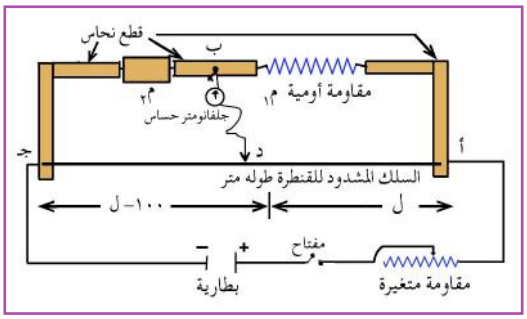
$\therefore م_2 = \frac{٤}{٨} \times ٦ = ٣$ أوم.

القنطرة المترية

تعد القنطرة المترية جهازاً مطوراً وبديلاً عن قنطرة هويتستون؛ لسهولة استخدامها في تعيين قيمة مقدار مقاومة كهربائية مجهولة.

- مِمَّ يتركب هذا الجهاز؟

يتركب من لوحة خشبية يثبت عليها ثلاث قطع من النحاس السميك كما يثبت سلك معدني مشدود بين النقطتين (أ) ، (جـ) على اللوحة الخشبية طوله (١٠٠) سم



شكل (١٧)

وهذه اللوحة مدرجة من (صفر إلى ١٠٠سم) تُثبَّت بين القطع النحاسية الثلاث مقاومتان إحداهما معلومة، والأخرى قيمتها مجهولة كما يوضح ذلك الشكل (١٧).

يلاحظ – أيضاً– أنه يتم توصيل جلفانومتر من منتصف القطعة النحاسية (ب) وطرفه الآخر يوصل بسلك متحرك، يتحرك بحرية على السلك المشدود، وكذلك توصل القطعتين (أ ، جـ) ببطارية ، ومفتاح ، ومقاومة متغيرة لتقليل التيار المار في سلك القنطرة حتى لا ينصهر.

el-online.net

عند غلق الدائرة على السلك المشدود يقسم زالق الجلفانومتر السلك المشدود إلى جزأين؛ لكي يعملا عمل ذراعي النسبة كما في حالة قنطرة هويتستون.

وبتغيير قيمة المقاومة المتغيرة ، وتحريك الزالق حتى يستقر مؤشر الجلفانومتر عند تدريجه الصفر في الوسط . في هذه الحالة يحدث الاتزان ومن عملية الاتزان عند النقطة (د) يتم قياس المسافة (د أ) ونسميها (ل).

وتكون المسافة بين النقطة (د) والنقطة الأخرى (جـ)

(د جـ) = (١٠٠ – ل) سم.

وبما أن السلك المعدني المشدود منتظم المقطع مقاومته تتناسب طردياً مع طوله؛ فإن : $\frac{م_{١}}{م_{٢}} = \frac{ل}{١٠٠ - ل}$

حيث ($م_{١}$) هي المقاومة التي قيمتها مجهولة، (ل) المسافة بين الطرف الأول للسلك المشدود (أ) ، ونقطة الاتزان (د) التي تناظر المقاومة ($م_{١}$)، ($م_{٢}$) مقاومة قيمتها معلومة، والتي تناظر المسافة (١٠٠–ل) بين الطرف الآخر للسلك المشدود (جـ)، ونقطة الاتزان (د) . إذاً قيمة المقاومة المجهولة ($م_{١}$) هي :

$$م_{١} = \frac{ل}{١٠٠ - ل} \times م_{٢} \quad .....(٨)$$

وبمعرفة قيم المقادير $م_{٢}$ ، ل ، يمكن معرفة قيمة قياس المقاومة المجهولة ($م_{١}$) باستخدام القنطرة المترية.

مثال(٦) : أراد أحد الطلاب أن يعرف قيمة مقاومة مجهولة ($م_{١}$)، وذلك باستخدام قنطرة مترية، موصلة بمقاومة معلومة $م_{٢}$ = ٢٠ أوم . فإذا كان طول السلك القنطرة المقابل للمقاومة المجهولة في حالة الاتزان هو (٤٠)سم، فما قيمة المقاومة المجهولة ($م_{١}$) ؟

الحل :

$م_{١} = \frac{ل}{١٠٠ - ل} \times م_{٢}$ ، نعوض عن القيم المعطاة في المثال

el-online.net

وهي : $م_{٢}$=٢٠ أوم ، ل =٤٠سم نجد أن :

$$م_{١} = \frac{٤٠}{١٠٠-٤٠} \times ٢٠ = \frac{٤٠}{٦٠} \times ٢٠ = ١٣,٣ \text{ أوم} .$$

مثال(٧) : إذا وصلت مقاومة $م_{٢}$ =٥٠ أوم في القنطرة المترية . وكان طول السلك المقابل لها بعد الاتزان = ٤٥ سم.

فما قيمة مقاومة مجهولة($م_{١}$) موصلة بالقنطرة المقابلة للجزء الآخر من سلكها؟

الحل:

$$م_{١} = \frac{ل}{١٠٠-ل} \times م_{٢} \quad ، \quad \because \text{ ل = ٤٥سم ، } م_{٢} = ٥٠ \text{ أوم.}$$

$$(م_{١}) \text{ المجهولة} = \frac{٤٥}{١٠٠-٤٥} \times ٥٠ = \frac{٤٥}{٥٥} \times ٥٠ = \frac{٩}{١١} \times ٥٠$$

$$م_{١} = \frac{٤٥٠}{١١} = ٤٠,٩ \text{ أوم}$$

النشاط (٥)

حاول الحصول على أسلاك معدنية لمواد مختلفة، كالنحاس، والحديد، الألومنيوم، واجعل بعضها على شكل لولبي، وعيّن المقاومات لها، وسجل عليها المقدار؛ لاستخدامها في القيام بتجارب عملية، باستخدام القنطرة المترية.

el-online.net

تقويم الوحدة

س١ : أكمل الفراغات التالية بما يناسبها من كلمات :

أ – تعد القنطرة المترية جهازاً بديلاً للـ .....؛ لأن استخدامها يكون أسهل منها في تعيين قيمة مقاومة كهربائية مجهولة .

ب– مقياس الجهد يقيس (ق.د.ك) لمصدر كهربائي بطريقة ..... من استخدام الفولتميتر.

جـ– الأميتر جهاز يستخدم لقياس شدة التيار بطريقة .....

د – من فوائد مجزئ التيار المستخدم في جهاز..... هو جعل الأميتر يقيس.....، ويوصل مع مقاومته الداخلية على ..... بينما مجزئ الجهد يوصل مع المقاومة الداخلية للفولتميتر بطريقة .....، ويجعل الفولتميتر يقيس فروق جهد.....

س٢ : ضع علامة (√) أمام الفقرة الصحيحة،وعلامة (X) أمام الفقرة الخطأ فيما يلي :

١– الفولتميتر عبارة عن جهاز الجلفانومتر، ولكن تم تعديله ( ).

٢– يوصل كل من الأميتر والفولتميتر في الدوائر الكهربائية على التوالي ( ).

٣– يضاف إلى جهاز الجلفانومتر بدلاً عن سلك لي رفيع سلك حلزوني أكثر سمكاً؛ ليتحمل قياس شدة تيار كهربائي أكبر مما يتحمله ملفه ( ).

٤– عند استخدام الجلفانومتر ذي الملف المتحرك كفولتميتر، توصل مقاومة كبيرة على التوالي مع ملف الجلفانومتر ( ).

٥– يتم توصيل مقاومة عيارية بالأوميتر ( ).

٦– يوجد أسطوانة من النحاس الأحمر داخل ملف الجلفانومتر ( ).

٣– علل ما يلي :

أ – يتم توصيل مقاومة كبيرة مع المقاومة لملف الفولتميتر على التوالي.

ب – يوصل الأميتر مع مقاومة ملفه مقاومة صغيرة على التوالي.

جـ– مقياس الجهد جهاز يقيس (ق.د.ك) مصدر بدقة أكبر من الفولتميتر.

٤– اشرح مع الرسم كيف يمكنك استخدام القنطرة المترية في تعيين قيمة مقاومة مجهولة.

el-online.net

٥- بين بالتجربة: كيف يمكنك استخدام مقياس الجهد في تعيين (ق . د . ك) لعمود كهربائي جاف؟

٦- جلفانومتر مقاومة ملفه (٠,٥) أوم وأكبر تدريج له (٥) أمبير؛ فإذا أردنا استخدامه ليقيس شدة تيار (١٠) أمبير، فاحسب مقدار قيمة مقاومة مجزئ التيار اللازم توصيلها مع مقاومة ملفه؟

٧- جلفانومتر يمر به تيار شدته (٠,٤) أمبير وينحرف مؤشره إلى نهاية التدريج المكتوب عليه، وفي هذه الحالة يكون الفرق في الجهد بين طرفيه يساوي (٥٠) فولت، فكم تكون قيمة مجزئ الجهد الذي يجعله يصلح لقياس فرق جهد ٢٠٠ فولت؟

٨- ما المقصود بكل مما يأتي:

(مجزئ التيار – مجزئ الجهد – الأوميتر – الأفوميتر)؟

٩- إذا أردت أن تستخدم الفولتميتر في قياس فرق جهد بين نقطتين، وكان فرق الجهد المراد قياسه أكبر من التدريج المدون على الفولتميتر، فكيف يمكنك أن تعدله ليقيس لك فرق الجهد المطلوب؟

١٠- لماذا يعد مقياس الجهد أدق من الفولتميتر في قياس (ق . د . ك) لمصدر تيار مستمر؟

١١- اشرح تجربة عملية لقياس مقاومة كهربائية مجهولة القيمة باستخدام كل من:

أ – القنطرة المترية.

ب- قنطرة هويتستون.

١٢- وضح بتجربة عملية كيف يمكنك تعيين المقاومة الكلية لجهاز الفولتميتر؟

el-online.net

تم الكتاب بحمد الله

el-online.net

الإدارة العامة للتعليم الإلكتروني

el-online.net

el-online.net

وجعلنا من الماء كل شيء حي أفلا يؤمنون
[الأنبياء]