

الفيزياء

للف الصف الثاني الثانوي

تأليف

أ. د. داود عبد الملك الحدابي / رئيساً

أ. عمر فضل بافضل / منسقاً

أ. د. عمر صالح بابقي	أ. أم السعد محمد عبدالحفي
د. هزاع عبده الحميدي	أ. محفوظ محمد سلام
أ. جميل أسعد محمد	أ. رمضان سالم النجار

الفيزياء

للف الصف الثاني الثانوي

تأليف

أ. د. داود عبد الملك الحدابي / رئيساً

أ. عمر فضل بافضل / منسقاً

أ. د. عمر صالح بابقي	أ. أم السعد محمد عبدالحفي
د. هزاع عبده الحميدي	أ. محفوظ محمد سلام
أ. جميل أسعد محمد	أ. رمضان سالم النجار

اعضاء اللجنة العليا للمناهج

أ.د. عبدالسلام محمد الجوفي

أ.د. عبد العزيز صالح بن حبتور

أ/ جميل علي الخالدي	د/ صالح ناصر الصوفي
أ.د. محمد عبدالله الصوفي	أ.د/ محمد عبد الباري القدسي
أ/ عبد الكريم محمد الجنداري	د/ علي قاسم اسماعيل
أ/ منصـور عي مقـبل	أ.د/ عبد الوهاب عوض كويران
د. إبراهيم محمد الحوـثي	أ/ محمد هادي طواف
أ/ حسن صالح باعوم	م/ محمد احمد الشمسي
أ/ أحمد عبد الله أحمد	أ/ محمد عبد الله زبارة
أ/ محمد مقبل الحزورة	أ/ محمد سعيد علي صالح
أ/ سامي علي شمسـان	

الإخراج الفني

الصف الطباعي : سماح حمود مسعود
الرسوم والصور : محمد حسين الزمـاري
ريناس محمد العريـقي
تصميم وإخراج : عبد الرحمن حسين المهرس
التعديلات النهائية : جلال سلـطان علي

أشرف على التصميم : هاني سلطي مقـطش

قررت اللجنة العليا للمناهج في اجتماعها رقم (٤٨) وتاريخ ٤/٦/٢٠٠٣ م طباعة هذا الكتاب وتوزيعه للتجريب في العام الدراسي ٢٠٠٣ / ٢٠٠٤ م .

الطبعة الأولى التجريبية

للعام الدراسي ١٤٢٤ هـ - ١٤٢٥ هـ / ٢٠٠٣ م - ٢٠٠٤ م

تقديم

يصدر هذا الكتاب ليؤكد عزمًا قوياً، وإرادةً راسخةً على السير قدماً بخطى واثقة في إنجاز برامج وخطط عملية التطوير للمناهج والكتب الدراسية التي اتخذتها الوزارة نهجاً رئيساً في إطار سياستها لإصلاح وتوحيد التعليم بمراحله الأساسية والثانوية. ويأتي إصدار هذا الكتاب ضمن سلسلة الكتب الدراسية الجديدة لمرحلة التعليم الثانوي، التي تم إعدادها لتناسب مستويات الطلاب، وتساعدتهم على استخدام الملاحظة والاكتشاف؛ وأساليب التفكير الأخرى بالإضافة إلى أداء المهارات، واكتساب قيم واتجاهات للنهوض بالشخصية المتكاملة للفرد.

ونظراً لخصوصية مرحلة التعليم الثانوي؛ فإن الكتاب في منهجيته مصدرٌ يستنير به المعلم في اختيار التنظيم التدريسي المناسب والمفيد للوصول إلى الكفايات المستهدفة عند نهاية التعليم الثانوي .

وتتم عملية التطوير للكتب الدراسية هذه بفضل تضافر الجهود الكبيرة التي تبذلها لجان تطوير المناهج على تنوع مجالات عملها: تأليفًا، ومراجعةً، وتصميمًا، وإخراجًا فنيًا، وطباعةً وتوزيعًا، لذا فهي تستحق الشكر والتقدير لهذا الجهد المتميز. وهناك جهود مادية كبيرة قدمتها الوزارة، ورغم كلفتها، فإنها لن تشني الوزارة عن السير نحو تحقيق الهدف المنشود في تطوير المناهج والكتب الدراسية؛ لمواكبة مستجدات العصر في العلوم والتقنية لبناء الإنسان اليمني مؤَّحد العقل والفؤاد، المتطلع لمستقبل أفضل.

أ.د. عبدالسلام محمد الجوفي

وزير التربية والتعليم
رئيس اللجنة العليا للمناهج

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 أساسياً 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 وفي جميع مجالاتها، والتي تتطلب تطوير أدوات التعليم والتعلم، واستخدام الأساليب التربوية الحديثة المشجعة لروح البحث والإبداع عند المدرس والطالب، واستخدام تكنولوجيا التعليم الحديثة.

فقد احتوت الوحدة الأولى من هذا الكتاب والتي تحمل عنوان توازن الأجسام الصلبة على المفاهيم الآتية:

عزم القوة، والازدواج وتوازن جسم صلب خاضع لتأثير ثلاث قوى مستوية متلاقية، كما يدرس الطالب في هذه الوحدة عن مثلث القوى وتوازن جسم صلب خاضع لتأثير عدة قوى مستوية متوازية وتوازن جسم صلب ومركز ثقله.

أما الوحدة الثانية: فسيتعرف الطالب على الحركة الدورية وماذا تعني والحركة الدائرية المنتظمة وقوة الجذب المركزية وعملية الجذب المركزية والإزاحة والسرعة الزاوية، وقانون نيوتن العام في الجاذبية وفي حركة الكواكب، وكذا الحركة

الاهتزازية والحركة التوافقية البسيطة الخطية وتمثيلها بيانياً والبندول البسيط والحركة الموجبة وأنواعها.

وفي الوجدتين الثالثة والرابعة سيتعرف الطالب عن الموجات الصوتية ، والنغمات الصوتية والرنين، وبعض المفاهيم المرتبطة بهما.

أما الوحدة الخامسة فيدرس الطالب الضوء وانتشاره وهذه الوحدة تعتبر امتداداً لمدرسة الطالب في المرحلة السابقة عن الضوء بدءاً من الصف الرابع الأساسي وتعتبر دراسة هذه المفاهيم تطور لذلك في تسلسل منطقي.

والوحدة السادسة الديناميكا الحرارية وفيها سيدرس الطالب عن النظام الديناميكي والعمليات الديناميكية الحرارية وأنواع الشغل في العمليات المختلفة وقوانين الديناميكا الحرارية.

أما الوحدة السابعة فيدرس فيها المحركات الحرارية حيث سيتعرف على المحرك الحراري وكفاءته والقانون الثاني للديناميكا الحرارية ودور المحركات الحرارية في التلوث البيئي.

وفي الوجدتين الأخيرتين من الكتاب سيدرس الطالب عن المغناطيسية والتأثيرات المغناطيسية للتيار الكهربائي والقياسات الكهربائية للتيار لارتباطها ببعض فيما يتعلق بالتيار الكهربائي.

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 الأخوة والأخوات الأساتذة والموجهين في الميدان ألا يخلوا 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

المحتويات

الصفحة

الموضوع

٩	الوحدة الأولى : توازن الأجسام الصلبة
١٠	- عزم القوة
١٤	- الازدواج
١٨	- توازن جسم صلب
٢٨	- مركز ثقل جسم صلب
٣٣	- تقويم الوحدة
-	الوحدة الثانية : الحركات الدورية
٣٨	- الحركة الدائرية المنتظمة
٣٩	- قوة الجذب المركزية
٣٩	- عجلة الجذب المركزية
٤٤	- قانون نيوتن العام في الجاذبية
٤٩	- قانون نيوتن العام في الجاذبية وحركة الكواكب
٥١	- الحركة الاهتزازية
٥٢	- الحركة التوافقية البسيطة الخطية
٥٩	- الحركة الموجية
-	- تقويم الوحدة
٧٥	الوحدة الثالثة : الموجات الصوتية
٧٦	- طبيعة الصوت
٧٧	- انتشار الصوت على شكل موجات طولية
٧٩	- سرعة انتشار الموجات الطولية
٨٤	- الموجات الكرية
٨٨	- تطبيقات على الصوت والظواهر الصوتية
٩٠	- تقويم الوحدة
٩٢	الوحدة الرابعة : النغمات الصوتية والرنين
٩٣	- مميزات النغمات الصوتية
٩٤	- شدة الصوت

المحتويات

الصفحة

الموضوع

- ١٠١ - أهم خصائص الموجات فوق السمعية
- ١٠٢ - اهتزاز الأوتار
- ١٠٨ - الرنين في الأعمدة الهوائية
- ١١٢ - النغمات الأساسية والنغمات التوافقية
- ١١٥ - الأعمدة الهوائية المفتوحة
- ١١٩ - الآلات الموسيقية
- ١٢١ - تقويم الوحدة

الوحدة الخامسة : الضوء وأجهزة الإبصار

- ١٢٤ - الضوء
- ١٢٦ - نظرية الجسيمات لنيوتن
- ١٢٧ - شدة الإضاءة ووحدة قياسها
- ١٣٢ - انعكاس الضوء
- ١٣٣ - قانون الانعكاس
- ١٣٩ - انكسار الضوء
- ١٤٦ - العدسات الرقيقة وقوانينها
- ١٥٥ - المنظار الفلكي
- ١٥٧ - تقويم الوحدة

الوحدة السادسة : الديناميكا الحرارية

- ١٦٢ - العمليات الديناميكية الحرارية
- ١٧٣ - قوانين الديناميكا الحرارية
- ١٨٠ - تقويم الوحدة

الوحدة السابعة: المحركات (الآلات) الحرارية والتلوث البيئي

- ١٨٥ - المحركات الحرارية
- ١٨٦ - محرك النفط (البنزين)
- ١٩٣ - المحركات الحرارية والتلوث البيئي
- ١٩٥ - تقويم الوحدة

الوحدة الثامنة : التيار المستمر

- ١٩٩ —————
- ٢٠٠ ————— القوة الدافعة الكهربائية
- ٢٠٢ ————— قانون كيرشوف لدوائر التيار المستمر
- ٢٠٦ ————— الطاقة الكهربائية المستهلكة
- ٢٠٩ ————— التأثيرات الحرارية للتيار المستمر
- ٢١١ ————— التأثيرات الكيميائية للتيار المستمر
- ٢١٣ ————— قانون فاراداي للتحليل الكهربائي
- ٢١٤ ————— تطبيقات على التحليل الكهربائي للسوائل
- ٢١٦ ————— تقويم الوحدة

الوحدة التاسعة: المغناطيسية والتأثيرات المغناطيسية للتيار الكهربائي

- ٢١٩ ————— المغناطيس والأقطاب المغناطيسية
- ٢٢٣ ————— النظرية المغناطيسية
- ٢٢٥ ————— خواص خطوط المجال المغناطيسي
- ٢٢٨ ————— الفيض المغناطيسي
- ٢٣٧ ————— المجال المغناطيسي
- ٢٤٤ ————— تقويم الوحدة

الوحدة العاشرة : القياسات الكهربائية للتيار

- ٢٤٩ ————— القياسات الكهربائية
- ٢٥١ ————— الجلفانومتر
- ٢٥٢ ————— الأميتر
- ٢٥٥ ————— الفولتميتر
- ٢٥٩ ————— الأومميتر
- ٢٦٠ ————— الأفوميتر
- ٢٦٢ ————— مقياس الجهد
- ٢٦٤ ————— قنطرة هويستون
- ٢٦٦ ————— القنطرة المترية
- ٢٦٩ ————— تقويم الوحدة

توازن الأجسام الصلبة

Equilibrium of Rigid Bodies

الوحدة الأولى

أهداف الوحدة

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

- ١- يعرف 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- يعرف مركز ثقل جسم.
- ٦- يعين مركز ثقل جسم صلب منتظم الشكل الهندسي.
- ٧- يستخدم شروط توازن جسم صلب، ومفهوم عزم القوة، والازدواج، ومركز ثقل جسم في حل مختلف مسائل هذه الوحدة.



توازن الأجسام الصلبة

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

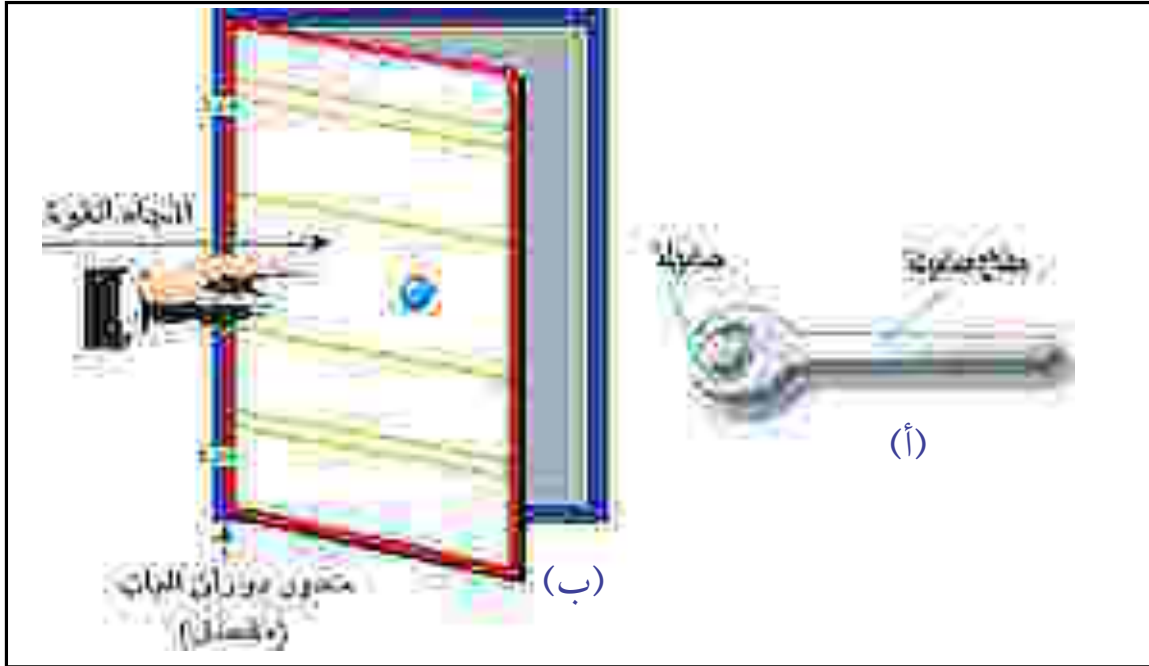
الحالة الأولى: عندما تكون هذه القوى متلاقية (غير متوازية).

الحالة الثانية: عندما تكون القوى متوازية.

وسنبداً بتعريف عزم القوة، وعزم الازدواج، وكيفية حسابها للاستفادة منها 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 صاموله حول محورها انظر إلى الشكل (١ أ) أو حركة الباب حول مفاصله شكل (١ ب).



شكل (١)

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

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



- ١ - خذ قضيباً معدنياً مستقيماً (أ) 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.



شكل (٢)

- ٤ - غير موضع إصبعك ماراً بالنقاط (أ)، (ج)، (د)، (هـ).
- ماذا تلاحظ ؟

تلاحظ أنه:

- ١ - كلما اقترب إصبعك من محور الدوران (ب) يلزمك قوة أكبر لإحداث الدوران حتى إذا كان إصبعك 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 (ق) ومحور الدوران الذي يسمى بذراع القوة، ونرمز له بالرمز (ل) انظر الشكل (٣).
- ويعطي عزم القوة ع (ق) رياضياً بحاصل ضرب القوة (ق) في ذراعها (ل)

أي: $ع(ق) = ق \times ل$ (١)

وحدة قياسه في النظام العالمي (SI) هي (نيوتن.متر) نستنتجها من العلاقة السابقة، وهي: $E = C \times L \times (نيوتن) = C \times L \times (نيوتن \cdot متر)$.



شكل (٣)

مصطلح الإشارة

أصطلح أن تكون إشارة عزم القوة E (ق) موجبة إذا كان اتجاه الدوران عكس اتجاه دوران عقارب الساعة انظر الشكل (٣)، وسالبة 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 ج) 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، ج).
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 E_m (ق) وكذلك بالنسبة للنقاط ب، ج.

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



شكل: (٥) .



شكل: (٤) .



شكل (٧)



شكل (٦)

$$\therefore \text{ع م (ق)} = ٦ \times \text{صفر} - ٢ \times ٣ + ٨ \times ٤$$

(ذراع القوة المارة من محور الدوران = صفر)

$$\text{ع م (ق)} = - ٦ + ٣٢ = ٢٦ \text{ (نيوتن.متر)، أي أن إشارة محصلة العزوم موجبة حول (٢)}$$

أي أن اتجاه دوران محصلة العزوم هو عكس اتجاه دوران عقارب الساعة.

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

$$\text{ع ب (ق)} = - ٦ \times ٢ + ٣ \times \text{صفر} + ٤ \times ٦$$

$$\text{ع ب (ق)} = - ١٢ + ٢٤ = ١٢ \text{ (نيوتن.متر). إشارة محصلة العزوم موجبة.}$$

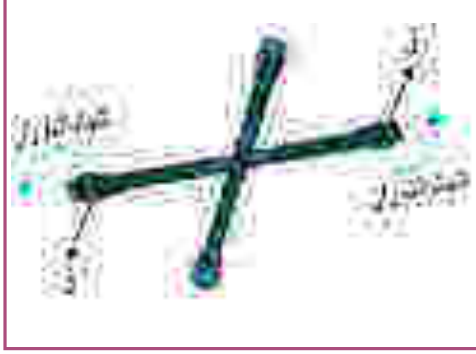
ج - الشكل (٧) يبين كذلك اتجاه دوران القوى حول (ج).

$$\text{ع ج (ق)} = - ٦ \times ٨ + ٣ \times ٦ + ٤ \times \text{صفر}$$

$$\text{ع ج (ق)} = - ٤٨ + ١٨ = - ٣٠ \text{ (نيوتن. متر). إشارة محصلة العزوم سالبة.}$$

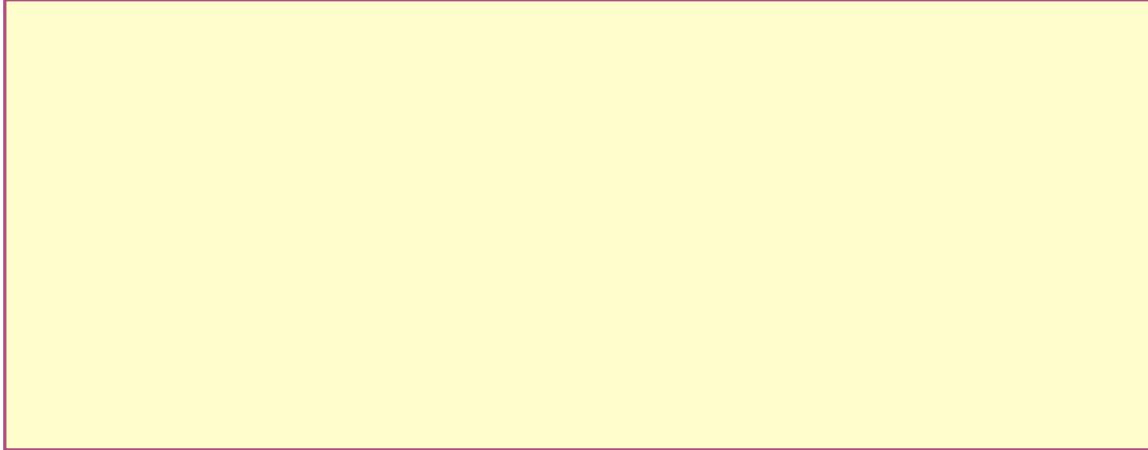
أي أن اتجاه دوران المحصلة في اتجاه دوران عقارب الساعة.

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 وخطاً عملهما ليسا على استقامة واحدة. في كل حالة من الحالات السابقة يسمى هذا النوع من القوتين المتعاكستين بالازدواج، ويمكن تعريف الازدواج على أنه:



شكل (٨)

عبارة عن قوتين متساويتين في المقدار، ومتعاكستين في الاتجاه، وخطاً عملهما ليسا على استقامة واحدة.



شكل (٩)

تسمى المسافة العمودية بين خطي عمل القوتين بذراع الازدواج، كما هو مبين في الشكلين (٩، ٩ب)؛ حيث إن محصلة هذا الازدواج من 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.

حساب عزم الازدواج (Moment of a Couple)

إذا أردنا أن نحسب عزم الازدواج الذي يجعل مفتاح براغي إطار السيارة يدور حول مركزه؛ نفترض أن قضييًّا صليبيًّا (أ، ب) خاضع للازدواج ممثلاً بقوتين (ق_١، ق_٢) حيث (ق_١ = ق_٢) تؤثران عند النقطتين (أ، ب) انظر الشكل (١٠). كما نفترض أن القضييب قابل للدوران حول محور اختياري يمر من النقطة (م) عمودياً على مستوى القوتين (ق_١، ق_٢) 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 (ع) مساوياً للمجموع الجبري لعزمي القوتين (ق_١، ق_٢) حول (م)، ونقوم بحسابه في الحالتين التاليتين:



شكل (١٠)

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

$$ع = ع_م(ق_١) + ع_م(ق_٢) ،$$

$$ع = ق_١ ل_١ + ق_٢ ل_٢ = ق(ل_١ + ل_٢) ، ومنه$$

$$ع = ق ل .$$

حيث ق_١ = ق_٢ = ق ، ل = ل_١ + ل_٢ ، واتجاه الدوران موجبة.

ثانياً: عندما تقع (م) على امتداد الخط الواصل بين (أ، ب)، انظر الشكل (١٠/ب)؛ فإن:

$$ع = ع_م(ق_١) + ع_م(ق_٢) ،$$

$$ع = - ق_1 ل_1 + ق_2 ل_2 = ق (ل_2 - ل_1)$$

حيث $ق_1 = ق_2 = ق$ ، $ل_2 - ل_1 = ل$ واتجاه عم (ق₁) سالب .

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

$$ع = ق ل .$$

نستنتج من ذلك أن:

١ - عزم الازدواج (ع) يساوي قيمة إحدى القوتين $\times$ البعد العمودي بينهما.

$$\text{أي: } ع = ق.ل \text{ (٢)}$$

وبشكل عام:

$$ع = ق.ل جا \theta \text{ (٣)}$$

أنظر الشكل (٩ ب)؛ حيث θ هي الزاوية الكائنة بين: (ق ، ل). وعندما تكون

الزاوية $\theta = 90^\circ$ يكون جا $90^\circ = 1$ وتؤول العلاقة (٣) إلى العلاقة (٢).

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.

مثال (٢):

٢ ب ج د مستطيل طوله (٨) متراً، وعرضه (٤) أمتار أثرت فيه القوى (٥،٧،٥،٧) نيوتن في الاتجاهات المبينة في الشكل (١١)، أ - أحسب عزم الأزواج المكافئ.



شكل (١١)

الحل:

تشكل القوتان: (٧ ، ٧) نيوتن، ازدواجاً، عزمه (ع_١).

$$ع_1 = ق.ل.جا 90^\circ = 7 \times 8 \times 1 = 56 \text{ (نيوتن . متر)}$$

إشارته موجبة؛ لأن اتجاه دورانه معاكس لحركة عقارب الساعة.

وتشكل القوتان: (٥ ، ٥) نيوتن ازدواجاً، عزمه (ع_٢).

$$ع_٢ = - (١ \times ٤ \times ٥) = - ٢٠ \text{ نيوتن . متر .}$$

إشارته سالبة لأن اتجاه دورانه هو اتجاه دوران عقارب الساعة.

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

$$ع = ع_١ + ع_٢ = ٥٦ = (٢٠ -) .$$

$$ع = ٥٦ - ٢٠ = ٣٦ \text{ نيوتن . متر ،}$$

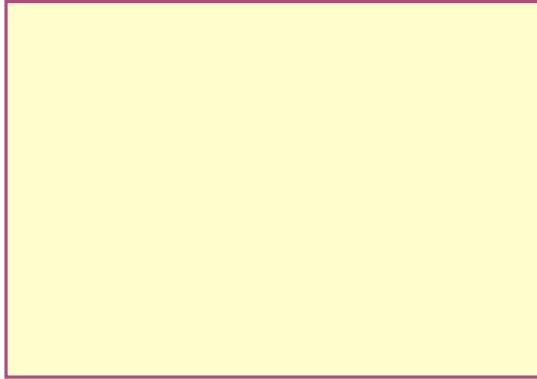
إشارة الازدواج المكافئ موجبة أي في عكس اتجاه دوران عقارب الساعة.

سؤال: حاول أن ترسم هذا الازدواج المكافئ بطريقتين مختلفتين.

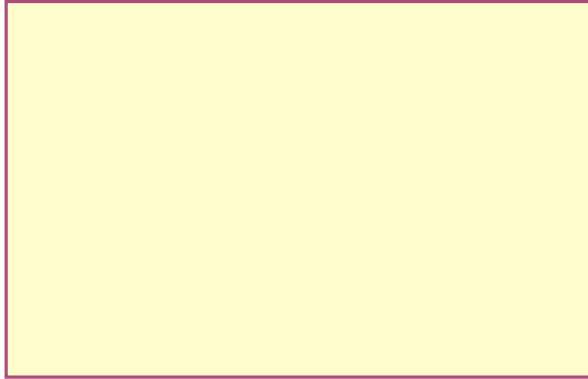
مثال (٣):

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

ب - ما هو ذراع الازدواج المساوي لعزم الازدواج المذكور في الفقرة (أ) إذا كان مقدار قوة الازدواج المذكور في الفقرة (ب) هو (١٢) نيوتن.



شكل (١٣)



شكل (١٢)

الحل:

أ - عزم الازدواج (ع_١) المبين في الشكل (١٢) هو:

$$ع_١ = ق_١ ل_١ = ٩٠ \text{ جا } ١ \text{ ل } ١ = ٩٠ \times ٤ \times ١ = ٣٦ \text{ نيوتن . متر ،}$$

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

ب - الازدواج ذو القوة ١٢ نيوتن هو:

$$ع_٢ = ق_٢ ل_٢ = ١٢ \times ٢ \text{ ل } ٢ ،$$

وبما أن $e_1 = e_2$ فرضاً.

$$\therefore 12 \text{ ل } e_2 = 36, \text{ ومنه } \text{ل } e_2 = \frac{36}{12} = 3 \text{ متر،}$$

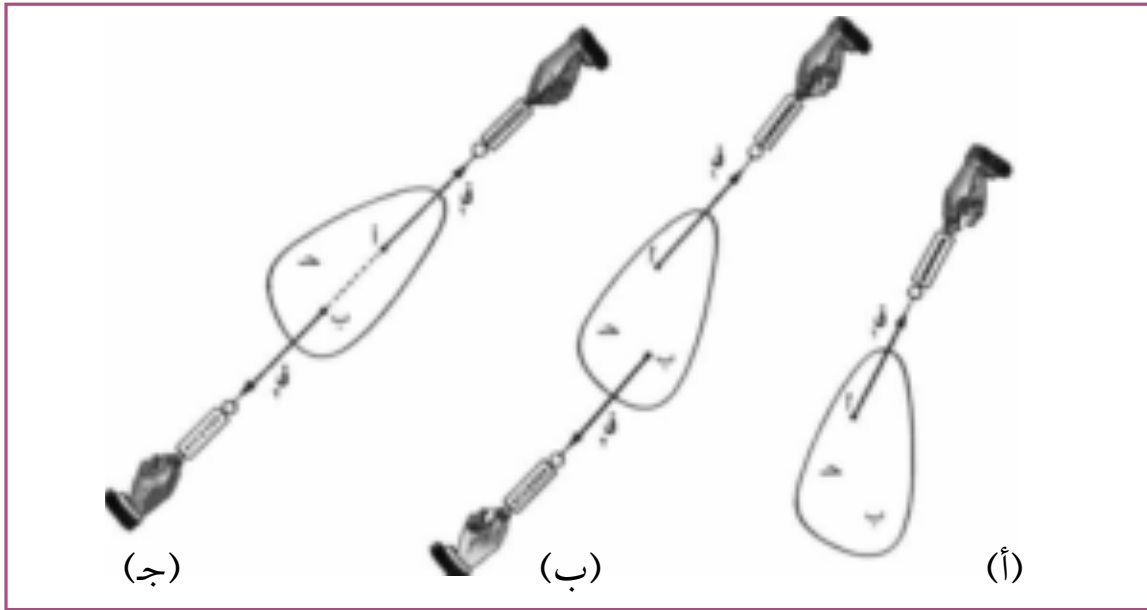
وهو ذراع الازدواج المطلوب ومرسوم في الشكل (١٣)، وإشارته موجبة.

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 إلا 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: قطعه من الصفيح بها ثلاثة ثقوب نرمز لهم بالأحرف (أ، ب، ج)، وموضوعة على طاولة أفقية عديمة الاحتكاك، وثلاثة خيوط غير قابلة للمط وثلاثة موازين زنبركية.



شكل (١٤)

١ - اربط خيطاً بالثقب (أ)، وأثر عليه بقوة (ق_١) (واقعة في مستوى الطاولة) تستدل على قيمتها من قراءة ميزان زنبركي، كما في الشكل (١٤/أ)؛ فإذا

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

٢- اربط خيطاً آخر في الثقب (ب)، وأثرت عليه بقوة (ق_٢) مساوية في المقدار للقوة (ق_١)، ومعاكسة لها في الاتجاه أي (ق_١ = - ق_٢)؛ بحيث يكون (ق_١ + ق_٢ = صفرًا) وخطي عملهما ليسا 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/ج)، وتصبح عندئذ القطعة ساكنة، ومتوازنة تحت تأثير القوتين.

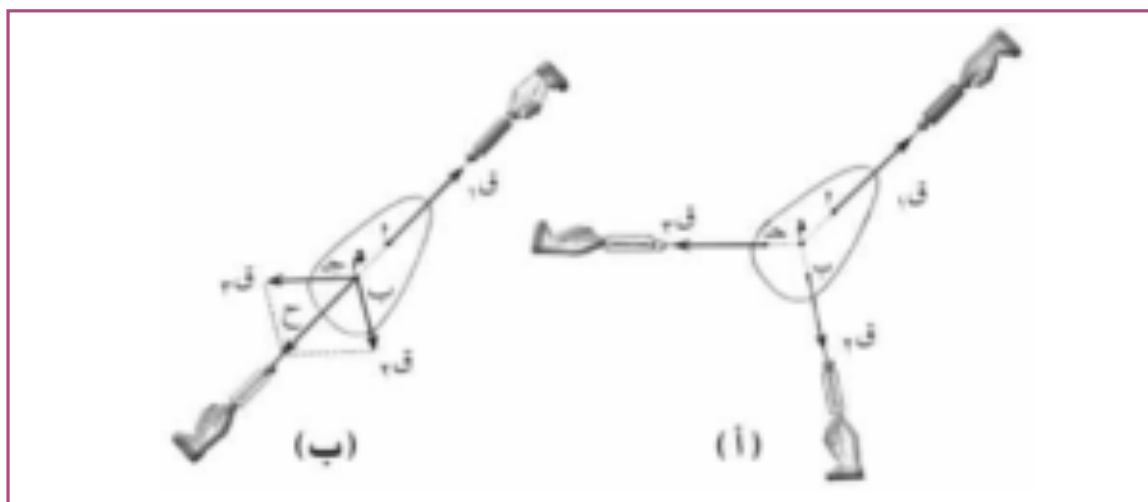
نستنتج من ذلك أن شرطي توازن جسم صلب خاضع لتأثير قوتين واقعيتين في مستوى واحد، هما:

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

أي $ق_١ + ق_٢ = \text{صفرًا}$.

٢- أن ينطبقا خطّا عمل القوتين على استقامة واحدة.

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



شكل (١٥)

ثم نجد محصلتهما (ح). (حيث $\vec{C} = \vec{C}_1 + \vec{C}_2$) فتؤول القوى الثلاث ($\vec{C}_1$ ، $\vec{C}_2$ ، $\vec{C}_3$) المؤثرة على القطعة إلى القوتين (ح، $\vec{C}_1$) المتعاكستين، ونعود إلى الحالة السابقة، وبذلك يصبح شرطاً توازن القطعة هما:

أولاً: أن تكون محصلة القوتين: $\vec{C} + \vec{C}_1 = \text{صفرًا}$.

وهذا يعني أن يكون " $\vec{C}_1 + \vec{C}_2 + \vec{C}_3 = \text{صفرًا}$ "

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

ونعبر عنه رياضياً بالعلاقة: $\sum_{i=1}^3 \vec{C}_i = \text{صفرًا}$

[حيث $\sum_{i=1}^3 \vec{C}_i$ يرمز إلى المجموع ($\sum_{i=1}^3 \vec{C}_i = \vec{C}_1 + \vec{C}_2 + \vec{C}_3$)].

ثانياً:

أن ينطبق خطاً عمل القوتين (ح، $\vec{C}_1$) على استقامة واحدة أنظر الشكل (١٥) / ب) بمعنى آخر أن تتلاقى الثلاث القوى ($\vec{C}_1$ ، $\vec{C}_2$ ، $\vec{C}_3$) في نقطة واحدة. ونلخص هذين الشرطين كما يلي:

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

$$\left(\sum_{i=1}^3 \vec{C}_i = \text{صفرًا} \right) \quad (\text{حيث } n = 1, 2, 3) \dots (4)$$

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

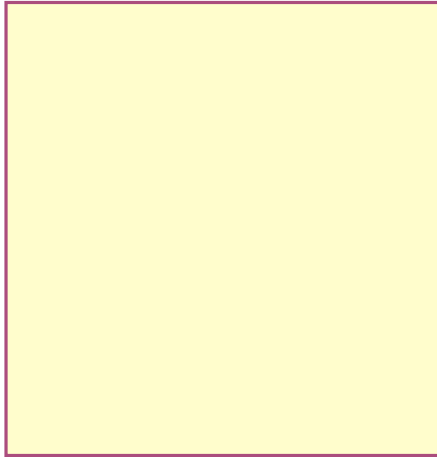
أ - المجموع الجبري للمركبات السينية للقوى المؤثرة على الجسم = صفرًا. أي:

$$\sum_{i=1}^3 C_{iS} = C_{1S} + C_{2S} + C_{3S} = \text{صفرًا} \dots (5 \text{ أ})$$

ب - والمجموع الجبري للمركبات الصادية للقوى المؤثرة على الجسم = صفرًا. أي:

$$\sum_{i=1}^3 C_{iV} = C_{1V} + C_{2V} + C_{3V} = \text{صفرًا} \dots (5 \text{ ب})$$

٢ - أن تتلاقى القوى الثلاث ($\vec{C}_1$ ، $\vec{C}_2$ ، $\vec{C}_3$) في نقطة واحدة.



شكل (١٦)

يمكن اعتبار الجسم (قطعة الصفيح) المتوازن تحت تأثير القوى الثلاث (ق_١، ق_٢، ق_٣) ممثلاً بالنقطة (م) في الشكل (١٥ ب)، التي تتلاقى فيها هذه القوى؛ والتي يمكن تمثيلها بالمتجهات [أب، بـج، جـأ] على الترتيب، وبما أن محصلة هذه القوى = صفراً، (لأن الجسم متوازن) فبجمعهم بيانياً (بالرسم)، نحصل على مثلث مغلق (أ ب ج^١) انظر شكل (١٦)، وذلك بحسب جمع المتجهات الذي

درسته في الصف العاشر .

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

$$\frac{ق_١}{أب} = \frac{ق_٢}{بـج} = \frac{ق_٣}{جـأ} \dots\dots (٦)$$

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

$$\frac{ق_١}{جـا١} = \frac{ق_٢}{جـا٢} = \frac{ق_٣}{جـا٣} \dots\dots (٧)$$

مثال (٤):



شكل (١٧)

تتزن نجفة ممثلة بالنقطة (م) وزنها (١٠) نيوتن تحت تأثير حبلين أحدهما يشدها في الاتجاه الأفقي بقوة شد (س_١)، والآخر يشدها في اتجاه يصنع زاوية (٦٠) مع الاتجاه الرأسي بقوة شد (س_٢) كما هو مبين في الشكل (١٧).

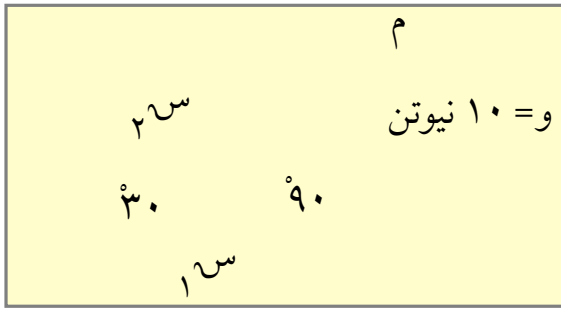
احسب قوة الشد في كل حبل بطريقة مثلث القوى، ثم بالطريقة التحليلية.

الحل:

طريقة مثلث القوى:

نرى من الشكل (١٧) أن النجفة الممثلة بالنقطة (م) تؤثر فيها ثلاث قوى غير متوازية هي (و، س_١، 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 إذن بموجب الشرط الأول للتوازن لابد أن يكون المجموع الاتجاهي للقوى المؤثرة فيها = صفراً وبيانياً (بالرسم) نحصل على مثلث



شكل (١٨)

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 هذا الأخير نرسم المتجه (س_٢) فتنطبق نهايته على بداية متجه الوزن (و)؛ فتحصل بذلك

على مثلث القوى. أنظر الشكل (١٨).

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

$$\therefore \frac{س٢}{٩٠ \text{ جا}} = \frac{س١}{٦٠ \text{ جا}} = \frac{و}{٣٠ \text{ جا}}$$

حيث (جا ٣٠ = ١/٢، جا ٦٠ = ٣/٢، جا ٩٠ = ١)، من النسبة الأولى، والثانية نجد س_١؛ حيث:

$$\frac{س١}{\frac{٣٧}{٢}} = \frac{١٠}{\frac{١}{٢}} \text{ أي } \frac{س١}{\frac{٣٧}{٢}} = ٢٠ \text{ ، ومنه}$$

س_١ = ١٠ √٣٧ نيوتن. ومن النسبة الأولى، والثالثة نجد س_٢؛ حيث:

$$\frac{س٢}{١} = \frac{١٠}{\frac{١}{٢}} \text{ ومنه } س٢ = ٢٠ \text{ نيوتن.}$$

[illegible]

شکل (۱۹)

أي: $\text{محقق} = \text{و} + \text{س} + \text{س} = \text{صفرًا}$

مجموع ص = ص_٢ + ص_١ + و = صفراً (المجموع الجبري للمركبات الصادية للقوى المؤثرة = صفراً).

محققین س = س ۲ س - س ۱ س = س ۲ جتا ۳۰ س - س ۱ = صفرأ (۱)

(حيث $s_2 = s_2$ ، $s_2 = s_2$ ، $s_2 = s_2$). (أنظر الشكل (١٩))

$s_1 = s_2$ ، وكذلك بالنسبة لقوة الوزن (و) واقعة على المحور (ص) فليس لها مركبة

من المعادلة: (٢)، نجد أن:

١٠ = ١٠ س٢ جا ٣٠. أي أن: ١٠ = س٢ × $\frac{1}{2}$ ، ومنه س٢ = $\frac{10}{\frac{1}{2}}$ = ٢٠ نيوتن.

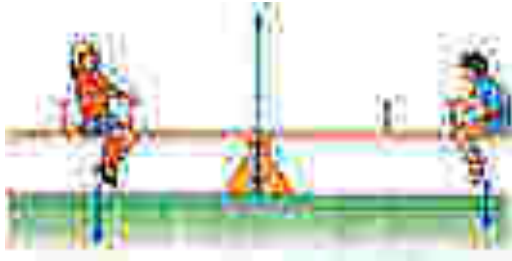
وبعد تعويض قيمة s_2 في العلاقة: (١) نجد أن:

$$s_1 = s_2 = 30 \text{ جتا} \quad \frac{37}{2} \times 20 = 30 \text{ نيوتن}.$$

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، أنظر إلى الشكل (٢٠)؛ فلا بد من إضافة شرط جديد يحقق للجسم حالة توازن دوراني. ولمعرفة هذا الشرط أجر النشاط التالي:



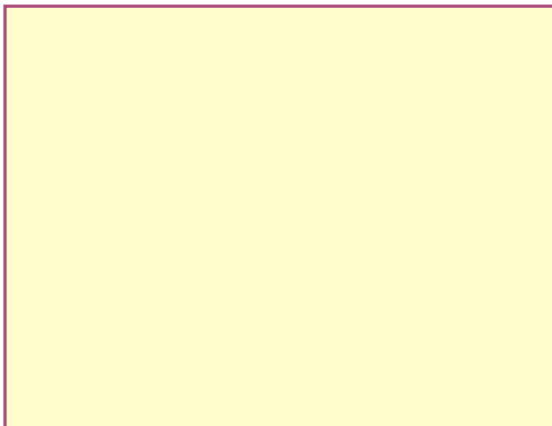
شكل (٢٠)

النشاط (٣)

١ - علق قضيباً منتظماً مستقيماً من منتصفه (م)، طوله متراً (نعتبره مهملاً 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).

نلاحظ أن القضيب يحتفظ بتوازنه في وضع أفقي تحت تأثير ثلاث قوى مستوية متوازية هي (ق_١، ق_٢، ق_٣)



شكل (٢١)

حيث Q_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

$$\text{أي: } \sum Q_1 = Q_3 - Q_2 - Q_1 = \text{صفراً.}$$

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

٣- أزح الثقل المؤثر عند النقطة (ل) مسافة قدرها (٢٠) سم بحيث يصبح بعده عن المركز (م) ٤٠ سم؛ نلاحظ أن التوازن يختل على الرغم من أن شرط التوازن الأول (مجموع = صفراً) ما يزال محققاً، وأن القضيب يدور في اتجاه حركة عقارب الساعة، وذلك تحت تأثير عزم الثقل (Q_1) حول المركز (م)؛ وحيث يساوي عزم (Q_1) $Q_1 \times L = 1 \times 4 = 4$ ، $6 = 0$ ، ١ نيوتن.متر)، أنظر الشكل (٢٢).

٤- إذا أردنا أن يحتفظ القضيب بحالة توازنه في وضع أفقي تحت تأثير عزم القوة عم (Q_1) = ١، ٦ نيوتن. متر؛



شكل (٢٢)

فيجب أن نؤثر عليه بعزم قوة آخر، وليكن عزم (Q_2) مساوياً لعزم القوة عم (Q_1) في المقدار، ومضاد له في الاتجاه، وذلك بأن نزيح القوة (Q_2) إلى مسافة قدرها (٤٠) سم عن المركز (م)، أو أن نضاعف وزن الثقل Q_2 بأن نجعله (٨) نيوتن بحيث يكون عزم (Q_2) $Q_2 \times L = 2 \times 8 = 16$ ، ١ نيوتن.م. أنظر الشكل (٢٣).



شكل (٢٣)

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

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

أي أن: $\sum \vec{Q}_n = \text{صفر}$.

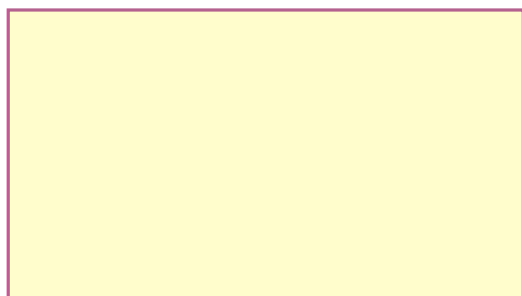
٢- أن يكون المجموع الجبري لعزوم القوى حول أي محور ثابت عمودي على مستوى القوى = صفراً،

أي أن: $\sum M(\vec{Q}_n) = \text{صفراً} \dots\dots\dots (٧)$

(مع الأخذ بعين الاعتبار إشارة اتجاه الدوران).

أجر النشاط التالي:

علق قضيباً منتظماً (أ) طول (ب) طوله (١٠٠) سم (مهمل الوزن) بحبل من نقطة (ج) 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_١) الذي يجب أن يعلق

في الطرف (ب) حتى يتوازن القضيب في وضع أفقي.

ب - مقدار الشد (ق_٢) في الحبل.

ملاحظة: لإيجاد مقدار الشد (ق_٢)

يمكنك استعمال ميزان زنبركي، وذلك بتعليق القضيب به في النقطة ج.

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



شكل (٢٥)

مفصل عند طرفه (ب) وكان في وضع أفقي

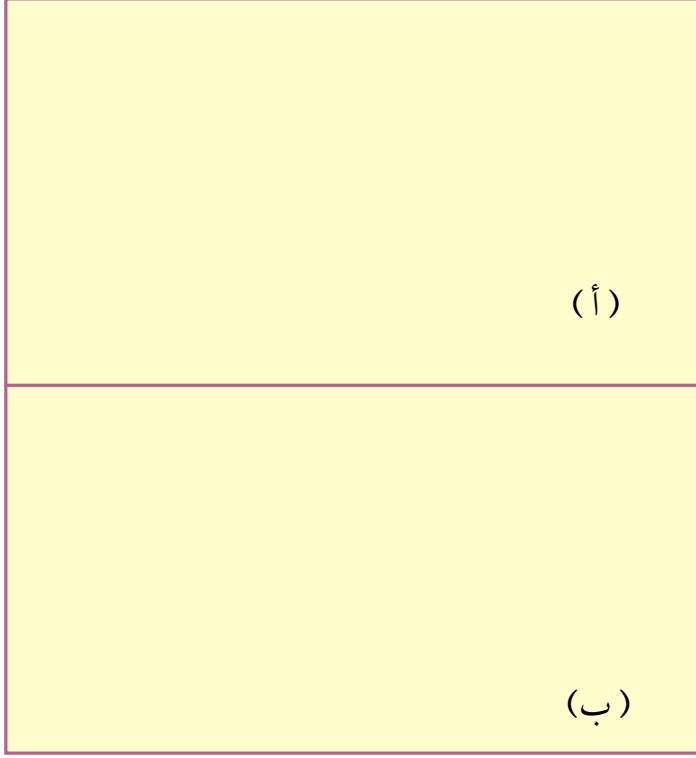
متزن كما هو مبين في الشكل (٢٥). فأوجد

مقدار القوة المجهول (ق_٢) وقوة رد فعل

المفصل (ق_٣) في القضيب في الطرف (ب).

الحل:

القوى المؤثرة في القضيب هي القوة (ق_١) = (١٢) نيوتن، وتؤثر في منتصفه عند (م) ومتجهة نحو الأسفل، والقوة (ق_٢) المؤثرة في الطرف (أ)، ومتجهة نحو الأعلى، وقوة رد فعل المفصل (ب) في القضيب (ق_٣)، ومتجهة نحو الأعلى. كما هو مبين في الشكل (٢٦).



لحساب مقادير القوتين المجهولتين: (ق_٢) و (ق_٣)، 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).

شكل (٢٦)

نحسب أولاً: مقدار القوة (ق_١)، وذلك بحساب مجموع عزوم القوى حول النقطة (ب) التي تمر منها القوة الثانية (ق_٣) المجهولة، ونجعله = صفراً، وذلك بحسب الشرط الثاني للتوازن، أي:

$$\text{مجموع } (ق) = ق_٢ \times ٢ - ١ \times ١٢ + ق_٣ \times \text{صفر} = \text{صفراً.}$$

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

$$\therefore ٢ \times ق_٢ = ١٢، \text{ ومنه: } ق_٢ = ٦ \text{ نيوتن.}$$

ولحساب (ق_٣) نحسب مجموع عزوم القوى حول (أ) أو (م).

عزم القوى حول (م) هو:

$$\text{مجموع } (ق) = ١ \times ٦ + ١٢ \times \text{صفر} - ق_٣ \times ١ = \text{صفراً}$$

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

$$٦ - ق_٢ = ق_١ \text{ صفراً ، ومنه } ق_٢ = ٦ \text{ نيوتن.}$$

ويمكن تطبيق الشرط الأول لحساب القوة ($ق_٢$)، وهو أن المجموع الجبري للقوى المؤثرة = صفراً ، أي:

$$مجموع ق = ق_٢ + ق_١ - ق_٢ = صفراً$$

$$٦ + ق_٢ - ١٢ = صفراً ، ومنه ق_٢ = ٦ \text{ نيوتن.}$$

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

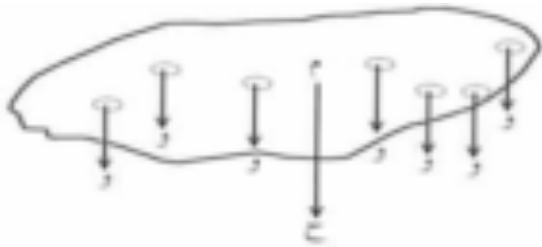
مركز ثقل جسم صلب ، (Centre of Gravity)



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)

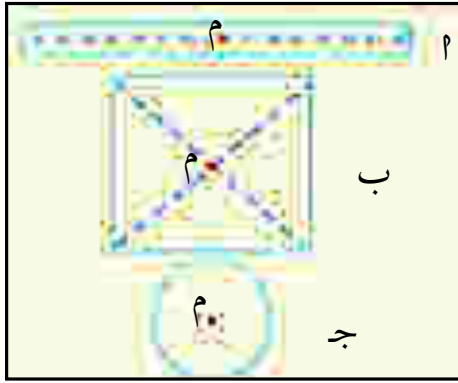
ولتوضيح هذا المعنى نعتبر الجسم عبارة عن مجموعة من الجسيمات الصغيرة كل واحدة منها لها قوة جذب أي قوة ثقل (و)، أنظر الشكل (٢٨) هذه القوى كلها متوازية، ومتجهة دائماً نحو الأسفل فمحصلتها (ح)، لها نفس الاتجاه ونقطة تأثيرها (م)

تسمى بمركز ثقل الجسم، أي أن مركز ثقل جسم هو النقطة التي يؤثر فيها ثقله. تطبيقاً لما ذكرناه نبحت عن مركز ثقل قضيب منتظم (أي ساق سمكه منتظم على امتداد طوله) من أجل ذلك نقسم طوله إلى أجزاء صغيرة متساوية فيكون لكل



شكل (٢٩)

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 (٣٠)

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

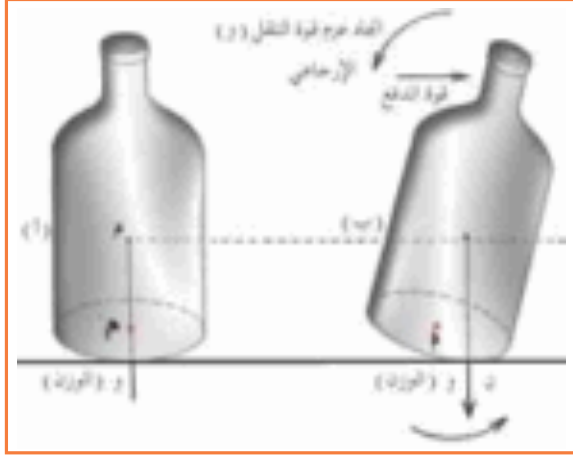
في منتصف محورها أو هي منتصف قضيب طويل منتظم متجانس وفي الشكل (٣٠/ب) تمثل (م) مركز ثقل المربع وكذلك في الشكل (٣٠/ج) تمثل مركز ثقل الشكل الدائري أو الكروي وهي المراكز الهندسية لهذه الأشكال.

ملحوظة: للجسم مركز ثقل واحد تمر منه قوة ثقله، أي: قوة 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. ولنبحث عن هذه الأسئلة نقوم بالنشاط التالي:

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



شكل (٣١)

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.

٢- أدفع القارورة من عند عنقها دفعة خفيفة نحو اليمين هذه الدفعة تجعل القارورة تميل نحو اليمين، أو تشرع الدوران 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.

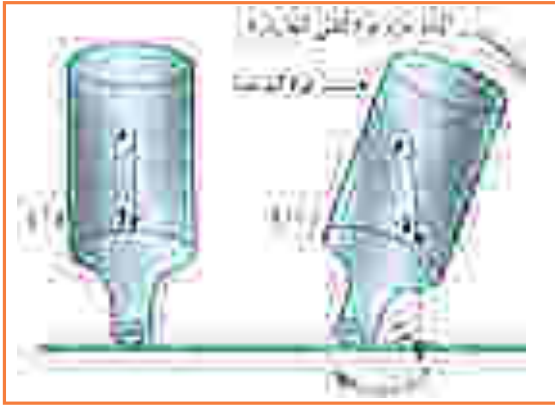
■ السؤال لماذا لم تنقلب القارورة بسهولة؟ والجواب هو:

تعلم من معلوماتك السابقة أن خط عمل قوة ثقل (و) القارورة يتجه دوماً رأسياً نحو الأسفل ويمر من مركز ثقلها (م) إلى مركز قاعدتها (م) أنظر 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 (٣١ ب) 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 بسهولة فالحصد 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 (تمثل الدفعة السابقة) ماذا تشاهد؟



شكل (٣٢)

تلاحظ ما يلي:

انقلاب القارورة بسرعة، وبسهولة (بعكس الحالة السابقة) وتفسير ذلك يعود إلى أن خط عمل قوة ثقل القارورة (و) يمر خارج القاعدة التي تركز 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) يبدأ ارتفاعه بالانخفاض بالنسبة للأرضية التي يركز 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 يركز عليها أكبر، وارتفاع مركز ثقله أخفض ما يمكن بالنسبة للقاعدة التي يركز 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 (أ ب ج د) في وضعين مختلفين، انظر شكل (٣٣) ففي وضع التوازن المستقر (أ) تلاحظ أن المكعب يركز على أحد سطوح جوانبه: (ب ج)، فهو يركز على

قاعدة أعرض وأن ارتفاع مركز ثقله (م) أخفض بالنسبة لقاعدته، مقارنة بالوضع الثاني غير المستقر، (ب)؛ حيث يرتكز المربع على حرفه (ج) ففي الوضع المستقر (أ) تلاحظ أن خط عمل قوة ثقله (و) يمر من خلال قاعدته التي يرتكز عليها

(أ) توازن مستقر (ب) توازن غير مستقر

شكل (٣٣)

حتى ولو مال 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 الأسطواني، 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 المُعادل أو (Neutral Equilibrium) (المستمر).



شكل (٣٤)

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 توازن إذا كان:

i) المجموع المؤثرة على الجسم =

ii) القوى الثلاث المؤثرة في الجسم

٢ - عرف كل من :

أ - عزم القوة.

ب - الازدواج.

ج - مركز ثقل جسم صلب.

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 الخاطئة:

أ - عند ثبوت القوة يكون عزم القوة أكبر ما يمكن عندما يكون ذراعها أكبر ما

يمكن () .

ب - عزم القوة هو كمية قياسية () .

ج - 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 () .

تابع تقويم الوحدة

- 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 (١) .

شكل (٣٥)

ب - خلال (ب) .

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

(ج)

شكل (٣٦) (ب)

(أ)

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

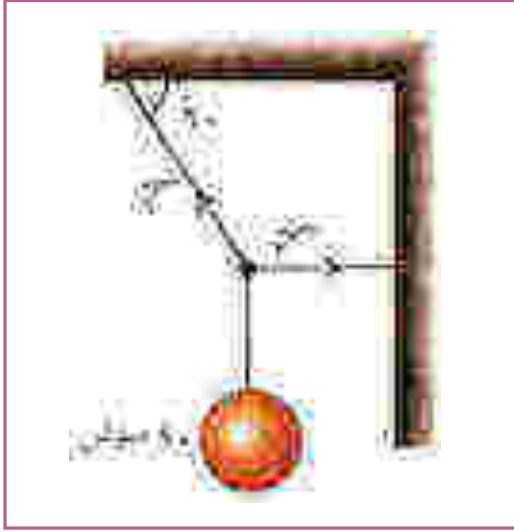
تكون الزاوية $\angle م ب = ٩٠$ كما هو مبين في

الشكل (٣٧) .

أوجد بطريقة مثلث القوى وبالطريقة

التحليلية الشد في كل جزء من الحبل .

شكل (٣٧)

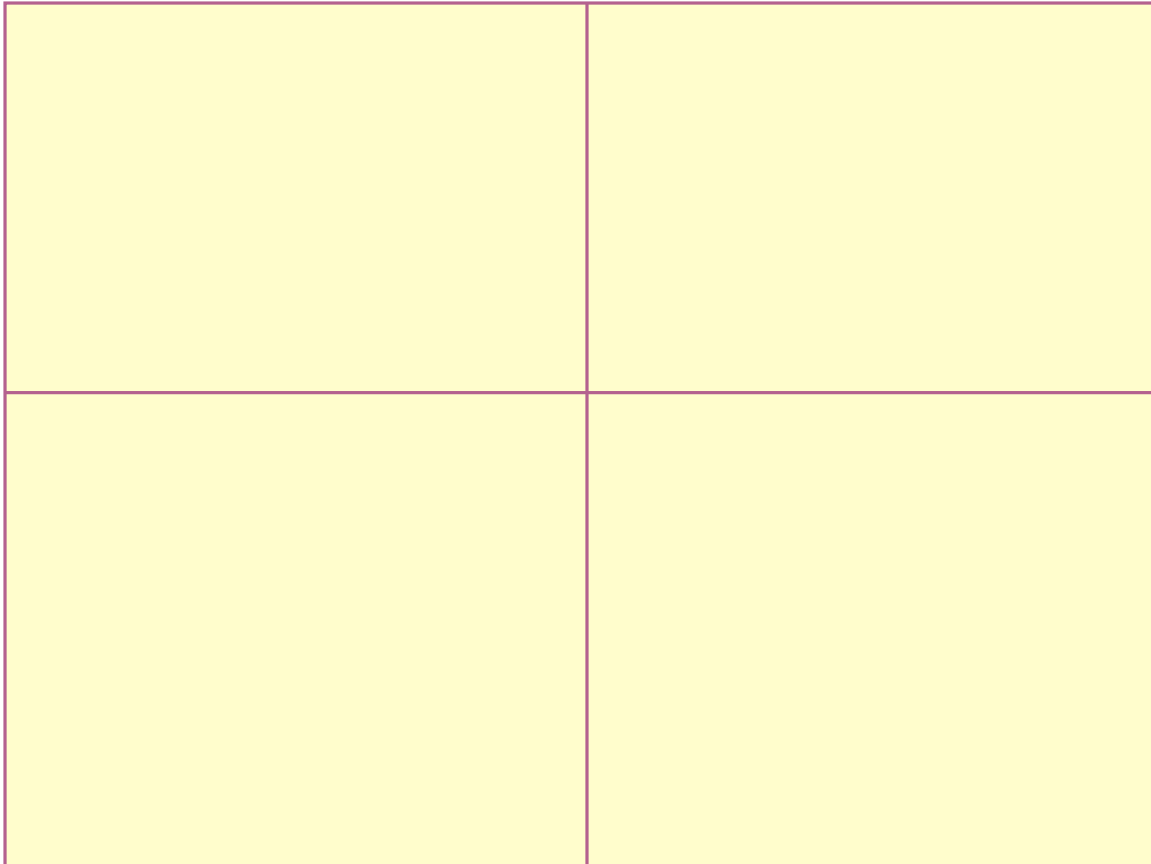


شكل (٣٨)

١٠- في الشكل (٣٨) أوجد S_1 و S_2 في الحبلين بطريقة مثلث القوى، وبالطريقة التحليلية.

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

ملاحظة: لايجاد القوة (ق_ر) نأخذ العزوم حول محور الدوران (م).



شكل: (٣٩)

تابع تقويم الوحدة

- ١٢- قضيب مستقيم منتظم (أ ب) طوله متراً، ويزن (٨) نيوتن، علقت فيه الأثقال (١٠، ٣، ٤، ٥) نيوتن، في النقاط (١، ج، د، هـ) التي تبعد عن الطرف (ب) المسافات (متراً) واحداً، ٨، ٠، ٦، ٠، ٣، ٠ (متراً) على الترتيب، كما هو مبين في الشكل (٤٠).
- أ - في أية نقطة يمكن أن يُعلّق 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 (ح) تبين بعض الأواني المخبرية، وضعت على طاولة في أوضاع مختلفة. أذكر نوع التوازن لكل واحد من هذه الأواني.



شكل (٤١)



شكل (٤٢)

- ١٤- في الشكل (٤٢) دورق مختبر طويل ينقلب نحو اليمين. ماهي النقطة الأكثر احتمالاً من النقاط (١، ب، ج، د) التي يمكن أن تكون نقطة مركز ثقله مع إعطاء تفسير لجوابك.

الحركات الدورية

Periodic Motions

الوحدة

الثانية

أهداف الوحدة



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

- ١ - يعرف ما الحركات الدورية.
- ٢ - يعرف 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 و فرق الطور بين موجتين و فرق مسيرهما.
- 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 مختلف مسائلها.

الحركات الدورية

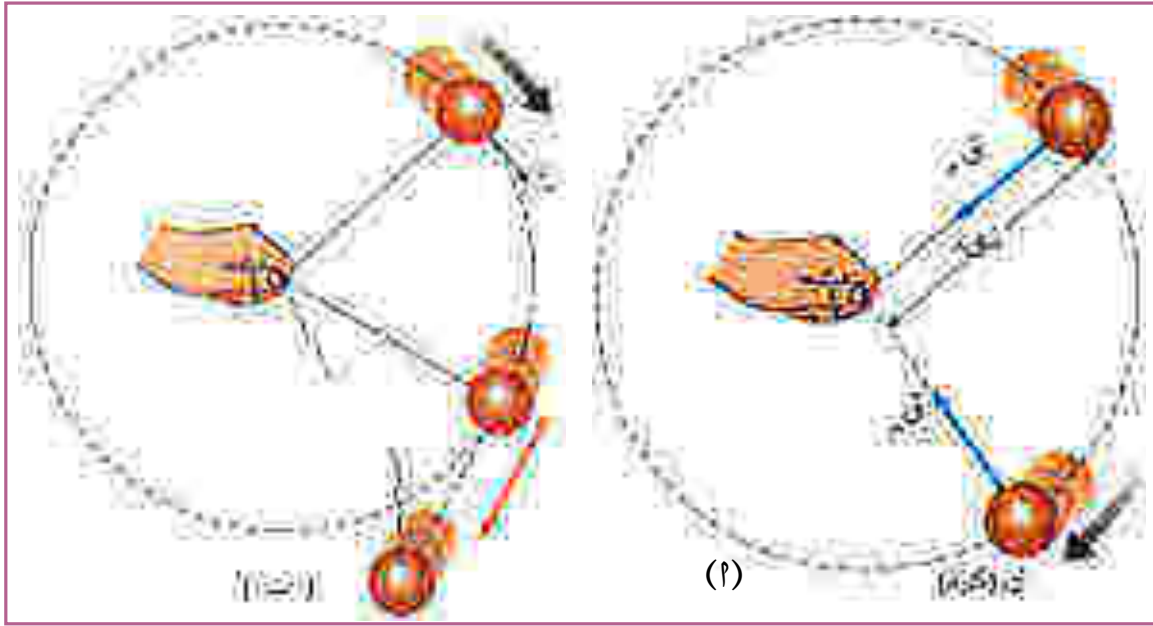
لو تأملت في حركة بندول الساعة الحائطية أو مكبس محرك السيارة أو حركة دقات قلبك أو موجة تنتشر في جبل أو حركة القمر حول الأرض أو حركة الأرض حول الشمس أو حركتها حول نفسها، تجد أن جميع هذه الحركات تكرر نفسها خلال فترات زمنية متساوية، هذا النوع الخاص من الحركات يسمى بالحركات الدورية (Periodic Motions).
في هذه الوحدة ستدرس ثلاثة أنواع من هذه الحركات وهي الحركة الدائرية المنتظمة والحركة الاهتزازية والحركة الموجية وخواص كل منها.

الحركة الدائرية المنتظمة The Uniform Circular Motion

لمعرفة خصائص هذه الحركة أجز النشاط التالي:

النشاط (١)

- ١ - اربط كرة صغيرة كتلتها (ك) بطرف خيط طوله (ف) وامسك الطرف الآخر بيدك.
 - ٢ - قم بتدوير الكرة بسرعة (ع) ثابتة على مسار دائري في مستوى أفقي كما هو مبين في الشكل (١ ٢) بماذا تشعر؟
 - ٣ - تلاحظ بأنه لا بد 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 لا بد من شد الخيط أكثر .
 - ٥ - إذا قُطع الخيط أو أفلت 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 الجسم بسرعة مقدارها متغير.



شكل (١)

قوة الجذب المركزية Centripetal Force

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

$$ق_م = ك \frac{ع^2}{ف} \text{ حيث (ف) طول الخيط ويساوي نصف قطر المسار الدائري (نو) و (ك)}$$

كتلة الجسيم و (ع) سرعته.

$$\therefore ق_م = ك \frac{ع^2}{نو} \dots \dots \dots (١)$$

عجلة الجذب المركزية Centripetal acceleration

ينتج عن قوة الجذب المركزية (ق_م) عجلة جذب مركزية (ج_م) لها نفس اتجاه القوة الجاذبة ومقدارها (بحسب قانون نيوتن الثاني) يُحسب من العلاقة (١) ويساوي

$$ج_م = \frac{ق_م}{ك}$$

$$\dots \dots \dots (٢) ج_م = \frac{ع^2}{نو}$$

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 : The Period

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:

$$f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (3)$$

لأنه إذا كان الزمن الدوري أي الزمن اللازم لجسيم متحرك لعمل دوره كامل هو ربع ثانية أي $T = \frac{1}{4}$ ثانية ، فإن الجسيم سيعمل في الثانية الواحدة أربع دورات أي أن التردد (f)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\frac{1}{4}} = 4 \text{ أربع دورات في الثانية .}$$

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

مقدار سرعة الجسم الثابتة (ع) على المسار الدائري تساوي

$$\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{طول المحيط الدائري}}{\text{الزمن الدوري}} = \frac{\pi^2 \text{نو}}{ز}$$

وبالاستفادة من العلاقة (٣) نجد أن:

$$\text{ع} = \frac{\pi^2 \text{نو}}{ز} = \pi^2 f \text{نو}$$

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

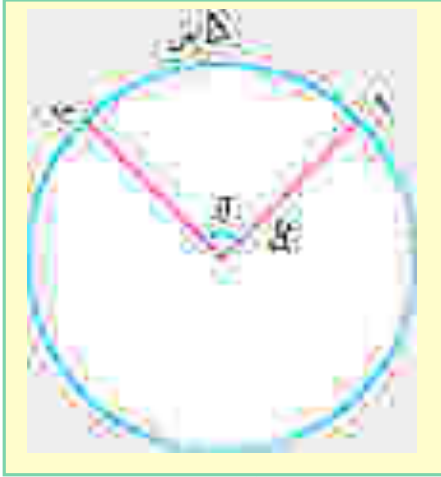
$$\text{ق م ك} = \frac{\text{ع}^2}{\text{نو}} = \text{ك} = \frac{\pi^2 \text{نو}^2}{ز^2} = \pi^2 f^2 \text{نو}^2 \quad (٥) \dots\dots\dots$$

ومنه فعجلة الجذب المركزية تساوي

$$\text{ح م} = \frac{\text{ع}^2}{\text{نو}} = \frac{\pi^2 \text{نو}^2}{ز^2} = \pi^2 f^2 \text{نو}^2 \quad (٦) \dots\dots\dots$$

$$(f = \frac{1}{ز} \text{ حيث})$$

الإزاحة الزاوية : Angular displacement



شكل (٢)

إذا تحرك جسم على محيط دائرة نصف قطرها (نو) من النقطة (١) 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 (نو) أي :

$$\theta = \frac{\Delta \text{س}}{\text{نو}} \quad (٧) \dots\dots\dots$$

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 (نو) أي :

$$\theta = \frac{\Delta \text{س}}{\text{نوه}} = \frac{\text{نوه}}{\text{نوه}} = 1 \text{ راديان ؛ (حيث } \Delta \text{س} = \text{نوه})$$

والإزاحة الزاوية θ المقابلة لدورة كاملة حول الدائرة

حيث ($\Delta \text{س} = \text{محيط الدائرة}$) تساوي

$$\theta = \frac{\Delta \text{س}}{\text{نوه}} = \frac{\text{محيط الدائرة}}{\text{نوه}} = \frac{\pi^2 \text{نوه}}{\text{نوه}} = \pi^2 \text{ (راديان) بالتقدير الدائري}$$

أي إن الزاوية المحيطة (θ) π^2 (راديان)

لكن محيط الدائرة يقسم إلى ٣٦٠ درجة (°) والدرجة مقسمة إلى ٦٠ دقيقة (′) والدقيقة مقسمة إلى ٦٠ ثانية (″). إذن الزاوية π^2 (راديان) في التقدير الدائري تساوي ٣٦٠ (درجة) في التقدير الستيني أي أن

$$\pi^2 \text{ (راديان)} = 360^\circ \text{ ومنه}$$

$$\therefore 1 \text{ (راديان)} = \frac{360^\circ}{\pi^2} = \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$1 \text{ (راديان)} = \frac{180^\circ}{3.14} = 57.3^\circ \text{ (درجة) (٨)}$$

سؤال : ما هي العلاقة التي تعطي الدرجة (°) بدلالة الراديان؟

السرعة الزاوية : Angular Speed

تعرف السرعة الزاوية (ω) مثلما عرفت السرعة الخطية (ع) بأنها معدل تغير الإزاحة الزاوية (θ) بالنسبة للزمن (ز) أي

$$\omega = \frac{\theta \text{ (راديان)}}{z \text{ (ثانية)}} = \text{راديان/ث} \text{ (٩)}$$

من أجل دوره كاملة ، الإزاحة الزاوية $\theta = \pi^2$ راديان ، فإذا كان (ز) هو زمنها الدوري تكون السرعة الزاوية (ω)

$$\omega = \frac{\pi^2}{z}$$

$$\text{وحيث أن } f \text{ (التردد)} = \frac{1}{z}$$

$$\therefore \omega = \frac{\pi^2}{z} = f\pi^2 \quad (\text{راديان/ث}) \dots\dots\dots (١٠)$$

من هذه العلاقة والعلاقة (٤) نجد أن:

$$ع = \frac{\pi^2}{z} \text{ نو} = \omega \text{ نو} \quad \text{أي}$$

$$ع = \omega \text{ نو} \quad (\text{م/ث}) \dots\dots\dots (١١)$$

وهي العلاقة التي تربط بين السرعة الخطية (ع) والسرعة الزاوية (ω) وإذا عوضنا قيمة السرعة (ع) من هذه العلاقة (١١) في العلاقتين (٥) و (٦) نجد (ق_م) و (ج_م) بدلالة السرعة الزاوية (ω) أي

$$ق_m = ك = \frac{ع^2}{نو} = ك \omega^2 نو \dots\dots\dots (١٢)$$

$$ج_m = \frac{ع^2}{نو} = \omega^2 نو \dots\dots\dots (١٣)$$

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

مثال (١): يتحرك جسم كتلته ٢, ٠ كجم بانتظام في مسار دائري على سطح أفقي عديم

الاحتكاك ومربوط بحبل طوله (٢, ٠ متر) وثبت بمسمار في السطح. إذا كان

الجسم يعمل دورتين في الثانية. أحسب ما يلي:

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

ج - عجلة الجذب المركزية للجسم. د - سرعته الزاوية (ω).

و - القوة التي يؤثر بها الحبل على الجسم.

الحل:

أ) تردد الجسم المتحرك = ٢ دورة/ث

$$\therefore \text{الزمن الدوري } z = \frac{1}{f} = \frac{1}{2} \text{ ثانية}$$

$$\text{ب) سرعته الخطية (ع)} = \frac{\pi^2 نو}{z} = \frac{2 \times 3,14 \times 2,0}{\frac{1}{2}} = 2,5 \text{ متر/ث.}$$

حيث نصف قطر المسار (نو) هو طول الخيط.

$$\text{ج) } ج_m = \frac{ع^2}{نو} = \frac{2,5^2}{2,0} = 31,25 \text{ م/ث}^2$$

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{2,5}{0,2} = 12,5 \text{ راديان/ث}$$

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

$$ق_{\text{م}} = \frac{v^2}{r} = \frac{6,25}{0,2} = 31,25 \text{ نيوتن.}$$

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 يخضع 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 مع بعضها البعض عبر الكون.

وفي عام ١٦٨٦ م
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 كتليهما.

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

$$ق_{\text{ج}} = \frac{ك_١ \cdot ك_٢}{ل^2} \dots\dots\dots (١٤)$$

حيث (ق_ج) هي قوة الجذب و (ج) ثابت الجذب العام وتعتمد قيمته على الوحدات المستخدمة لقياس كل من (ق_ج) و (ك_١ ، ك_٢) و (ل).
ففي النظام الدولي تكون قيمة (ج) مساويةً .

$$ج = 6,672 \times 10^{-11} \frac{\text{نيوتن} \cdot \text{متر}^2}{\text{كجم}^2}$$

مثال (٢): جسمان كتلة الأول ك_١ = ٦ كجم وكتلة الثاني ك_٢ = ٤ كجم، المسافة الفاصلة بينهما ل = ٣ متر. أحسب:

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 .

$$ج = 6,67 \times 10^{-11} \text{ نيوتن} \cdot \text{متر}^2 / \text{كجم}^2$$

الحل:

(أ) نطبق قانون نيوتن في الجذب العام. فكل جسم يؤثر على الآخر بقوة (ق_ج) مقدارها يساوي :

$$ق_{ج} = \frac{ك_١ \cdot ك_٢}{ل^2} = \frac{٦ \cdot ٤}{٣^2} \times 6,67 \times 10^{-11} = 17,8 \times 10^{-11} \text{ نيوتن}$$

(ب) إن مقدرا عجلة الجسم الأول (ج_١) في اتجاه الجسم الثاني تساوي

$$ج_١ = \frac{ق_{ج}}{ك_١} = \frac{17,8 \times 10^{-11}}{٦} = 2,97 \times 10^{-11} \text{ م/ث}^2$$

وعجلة الجسم الثاني (ج_٢) في اتجاه الأول تساوي :

$$ج_٢ = \frac{ق_{ج}}{ك_٢} = \frac{17,8 \times 10^{-11}}{٤} = 4,45 \times 10^{-11} \text{ م/ث}^2$$

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:

$$و = ق_ج = ج \cdot \frac{ك}{ر} \dots\dots\dots (١٥)$$

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

$$\frac{ق}{ك} = ج = \frac{ك}{ر}$$

نرمز للنسبة $\frac{ق}{ك}$ بالرمز (س) فتصبح هذه العلاقة على النحو التالي:

$$س = ج = \frac{ك}{ر} \dots\dots\dots (١٦)$$

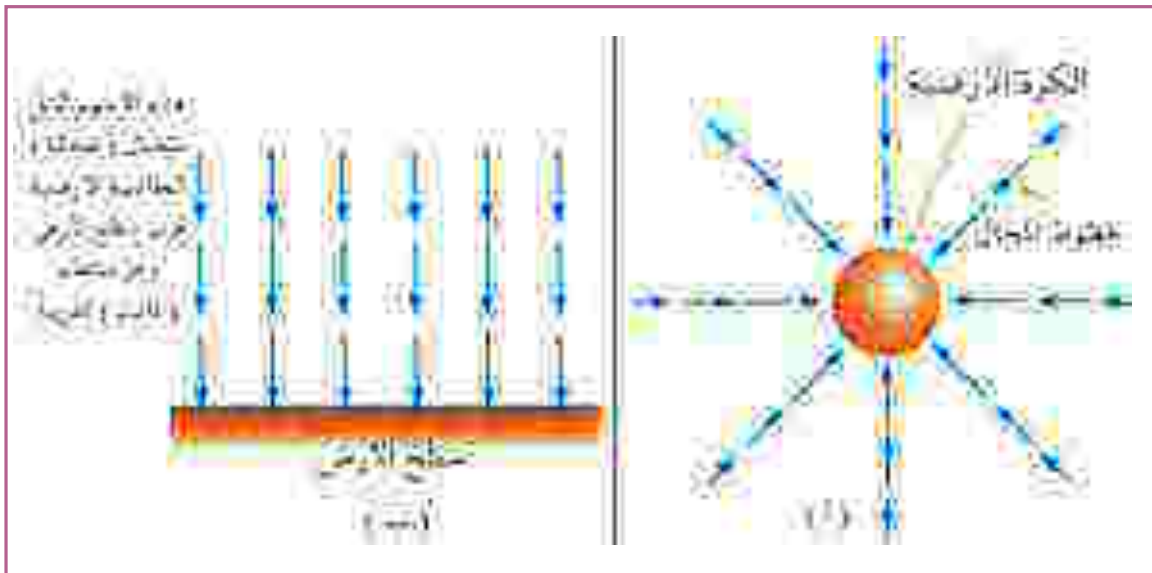
يسمى (س) بشدة مجال الجاذبية الأرضية عند نقطة معينة

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

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

$$و = ك \cdot س$$

إن مجال (عجلة) الجاذبية الأرضية (س) هو كمية متجهة له اتجاه الوزن أي أن جهته هي الاتجاه نحو مركز الأرض شكل (٤) وتكون قيمته تقريباً ثابتة بالقرب من سطح الأرض شكل (٤ ب) وهو يملأ الفراغ كله وأن أي جسيم كتلته (ك) يوضع في هذا المجال (س) فإن المجال يؤثر عليه بقوة (ق_ج) هي وزنه (و) = ق_ج = ك · س.



شكل (٤)

لما أعلن نيوتن نظريته في الجاذبية ووضع مفهوم مجال الجاذبية كان من الصعب على معاصرة 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 مجال (عجلة) الجاذبية الأرضية (س) من العلاقة (١٦).

تغيرات عجلة الجاذبية الأرضية مع الارتفاع:

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

$$g = \frac{K_r}{L^2} = \frac{K_r}{(F + R)^2} \quad (١٧)$$

حيث (ل = ف + نو) هي المسافة بين مركزي الجسمين، (نو) نصف قطر الأرض و (ف) المسافة فوق سطح الأرض، أما قيمة (س) على سطح الأرض (حيث ف = صفر) فهي تحسب من العلاقة

$$g = \frac{K_r}{R^2} \quad (١٨)$$

وقد وجد قيمتها تجريبياً بأنها تساوي تقريباً $g = 9,8 \text{ م/ث}^2$

جدول (١)

الارتفاع (ف) كم	س (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

نلاحظ من العلاقة (١٧) أن (ك_ر)، (ج) و (نو) مقادير ثابتة، نستنتج من ذلك إن المجال (س) وهي عجلة الجاذبية الأرضية للجسم الساقط سقوطاً حراً (تحت تأثير هذا المجال) تتناسب عكسياً مع مربع بعد 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 (س = ٩,٨ م/ث^٢)

فهذه حقيقة تقريبية، أما الحقيقة الدقيقة فهي إن عجلة الجاذبية الأرضية تزداد ازدياداً مستمراً كلما اقترب الجسم من سطح الأرض وذلك بإهمال مقاومة الهواء.
وجداول (١) يعطي قيمة عجلة الجاذبية الأرضية (g) للجسم الساقط سقوطاً حراً بدلالة ارتفاعه (ف) عن سطح الأرض.

مثال (٣): أوجد مقدار عجلة الجاذبية الأرضية (g) 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

(ن_ر) = ٦,٣٨ × ١٠^٦ م

$$\text{و ثابت الجذب العام (ج) = } ٦,٦٧ \times ١٠^{-١١} \frac{\text{نيوتن} \cdot \text{م}^2}{\text{كجم}^2}$$

الحل: من العلاقة (١٧) نجد أن:

$$٥ - \text{ج} = \frac{\text{ك}}{٢(\text{ف} + \text{ن})} = ٦,٦٧ \times ١٠^{-١١} \frac{\text{ك}}{٢(٦,٣٨ \times ١٠^6 + ٥,٩٨ \times ١٠^{24})}$$

حيث ف = ٥٠٠ كم = ٥,٠ × ١٠^٦ متر

$$٥ = \frac{١٣,٩٨ \times ١٠^{31}}{٢(٦,٨٨ \times ١٠^6)} = ٨,٤٣ \text{ متر/ث}^2$$

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

$$= \frac{٥}{٥} = \frac{٨,٤٣}{٩,٨} = ٠,٨٦$$

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

سؤال: أحسب كتلة الأرض (ك_ر) بالاستفادة من الحقائق العلمية التالية:

$$٥ = ٩,٨ \text{ (م/ث}^2\text{)} , \text{ ن} = ٦,٣٨ \times ١٠^6 \text{ (م)} ,$$

$$\text{ج} = ٦,٦٧ \times ١٠^{-١١} \frac{\text{نيوتن} \cdot \text{م}^2}{\text{كجم}^2}$$

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 إهليلجية 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 لأنطلق 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

$$ق_م = ك \frac{ع^2}{ل} \dots\dots\dots (I) \text{ (من العلاقة (١) حيث نوه = ل)}$$

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

$$ق_ج = ج \frac{ك ك_ر}{ل^2} \dots\dots\dots (II)$$

وهي تساوي القوة الجاذبة المركزية (ق_م) إذن من (I) و (II) نجد أن

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

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

حيث $ل = \text{نصف قطر الأرض (نور)} + \text{ارتفاع التابع عن سطح الأرض (ف)}$.
وتبين هذه العلاقة إن سرعة التابع لا تتعلق بكتلته (ك) وإنما بنصف قطر مداره (ل) من
العلاقة (١٨) لدينا $م نو^٢ ر = ج ك ر$ (حيث نور نصف قطر الأرض)
وبعد تعويضهما في العلاقة (١٩) نحصل على:

$$ع^٢ = \frac{م نو^٢ ر}{ل} \dots\dots\dots (٢٠)$$

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

مثال (٤): قمر اصطناعي يدور حول الأرض في مدار دائري نصف قطره

$$ل = ٨ \times ١٠^٣ \text{ كم انظر الشكل (٦) أحسب ما يلي:}$$

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

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

(ج) = $٦٧, ١٠ \times ١١^{-١}$ (نيوتن. م^٢ / كجم^٢).

الحل: من العلاقة (١٩) لدينا

$$ع^٢ = \frac{ج ك ر}{ل} = \frac{٦٧, ١٠ \times ١١^{-١} \times ٦ \times ١٠^{٢٤}}{٨ \times ١٠^٣} = ٦١٠ \times ٥٠ \quad \text{أ)}$$

(حيث $ل = ٨ \times ١٠^٣ \text{ كم} = ٨ \times ١٠^٦ \text{ متر}$)

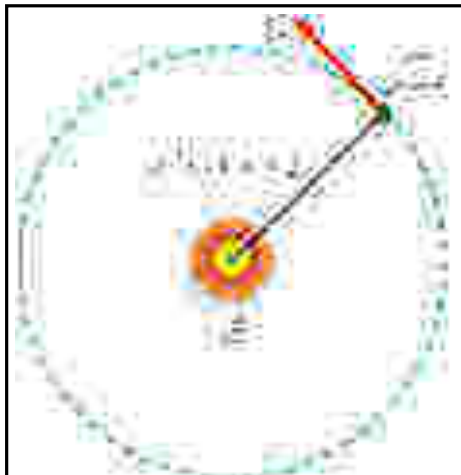
$$ع = \sqrt{٦١٠ \times ٥٠} = ٧, ٠٧ \times ١٠^٣ \text{ (م/ث)}$$

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

$$ع = \frac{ل \pi^٢}{ز}$$

حيث $ل = \text{نور (نصف قطر مسار}$

القمر الاصطناعي)



شكل (٦)

$$\therefore z = \frac{2\pi L}{C} = \frac{2 \times 3.14 \times 8 \times 10^6}{3.14 \times 7.07} = 3.10 \times 7.11 \text{ ثانية}$$

$$z = 3.10 \times 7.11 \text{ ثانية} = \frac{3.10 \times 7.11}{3600} = 1.975 \text{ ساعة.}$$

عجلة الجذب المركزية نجدها من العلاقة (٦)

$$g = \frac{v^2}{r} = \frac{6.25^2}{6.10 \times 8} = 6.25 \text{ م/ث}^2$$

وهي قيمة عجلة الجاذبية عند هذا الارتفاع أي على الارتفاع

$$f = L - \text{نوه} = 6.10 \times 8 \text{ (م)} - 6.38 \times 10^6 \text{ م} = 3.10 \times 1620 \text{ متر} = 1620 \text{ كم.}$$

(قارن هذه النتيجة مع الجدول (١))

سؤال: كيف تمكن العلماء من قياس السرعة الخطية (ع) لدوران الأرض حول نفسها؟ إذا علمت أن $\text{نوه} = 6.38 \times 10^6 \text{ م}$ وزمنها الدوري ٢٤ ساعة. [استخدم العلاقة (٤)].

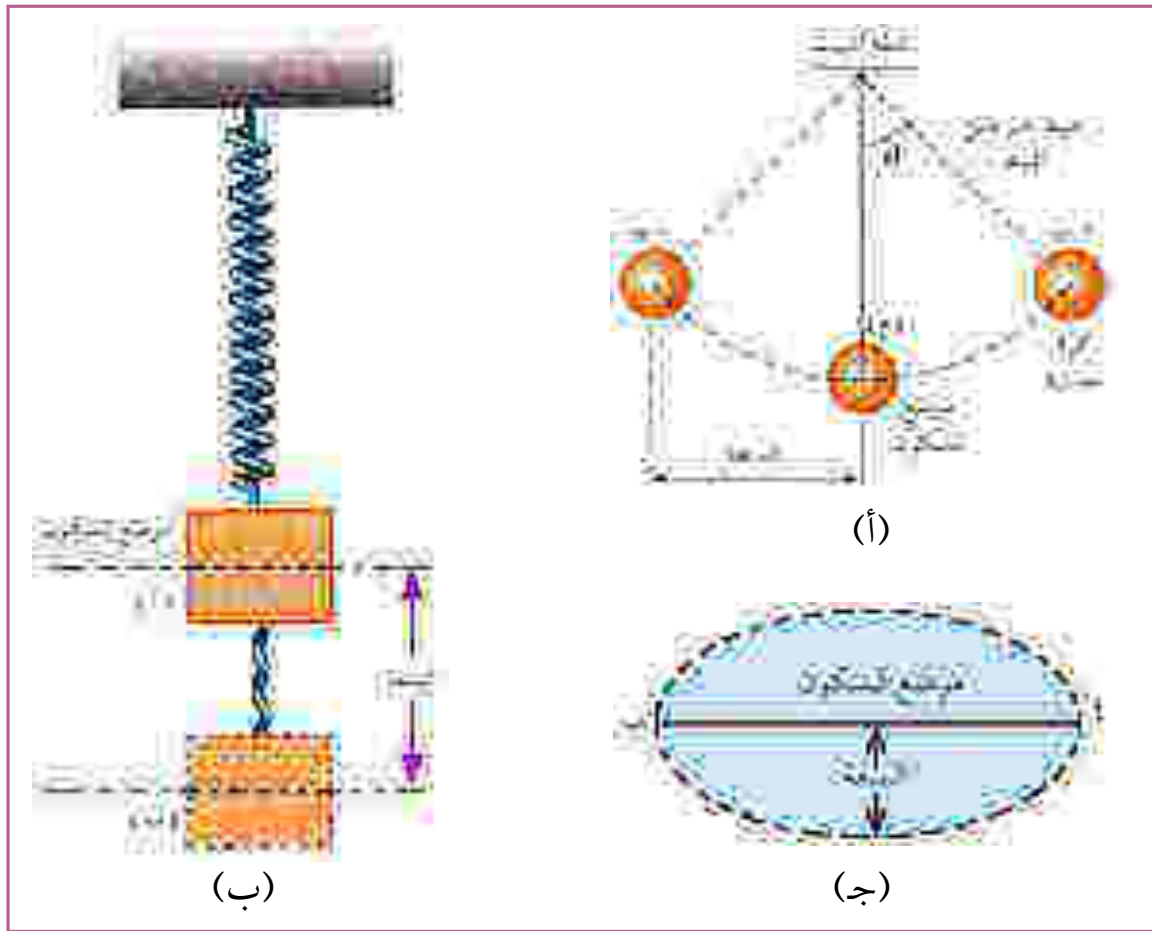
الحركة الاهتزازية : Vibrational Motion

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 أجز النشاط التالي:

النشاط (٢)

علق كرة معدنية صغيرة من طرف خيط خفيف غير قابل للمط مثبت من أعلاه (البندول البسيط) كما في الشكل (١٧) ثم أزح الكرة عن موضع سكونها (م) وأتركها، أو علق كتلة في نهاية نابض حلزوني مثبت من أعلاه، ثم قم بإزاحتها إلى الموضع (ب) أسفل موضع سكونها (توازنها) (١) ثم أطلقها كما في الشكل (٧ب) أو أضرب وتر مشدود بين نقطتين (١، ب) كما هو مبين في الشكل (٧ج).

تلاحظ أن البندول البسيط يهتز (أو يتذبذب) ذهاباً وإياباً حول موضع سكونه (م) وكذلك الكتلة المعلقة بالنابض تتذبذب حول موضع سكونها (١) نحو الأسفل



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:



شكل (٨)

- ١- ضع نابضاً حلزونياً (مهمل الوزن) على سطح أفقي نفرضه عديم الاحتكاك.
- ٢- ثبت أحد طرفيه بحائط رأسي ومربوط من طرفه الآخر بجسم كتلته (ك).
- ٣- في البدء يكون النابض في وضع الاتزان أو (السكون) غير مشدود ولا مضغوط. أنظر الشكل (٨)
- ٤- أزح الكتلة نحو اليمين مسافة قدرها (س) ثم أطلقها. انظر الشكل (٨ب) ماذا تشاهد؟
- ٥- تلاحظ إن النابض يؤثر على الكتلة بقوة (ق_ه) يتناسب مقدارها طردياً مع مقدار الإزاحة (س) وذلك بحسب قانون هوك الذي درسته في الصف العاشر

..... (٢١)

$$ق_ه = - ه س$$

(حيث ه ثابت هوك والإشارة (-) تدل أن اتجاه القوة (ق_ه) معاكس لاتجاه الإزاحة (س) وبالتالي فإن عجلة الجسم (ج_ه) تساوي بحسب قانون نيوتن الثاني $ق_ه = ك ج_ه = - ه س$

..... (٢٢)

$$ج_ه = - \frac{ه}{ك} س$$

هذه القوة (ق_ه) (وكذلك العجلة ج_ه) 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

الإزاحة حتى تصل إلى أكبر قيمة لها 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) أنظر الشكل (٨ ب) 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 = صفر (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 في الكبر مع زيادة الإزاحة إلى اليسار حتى تصل قيمة كل منهما إلى القيمة العظمى عند النقطة (س = - ل) أنظر الشكل (٨ ج) ، 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:

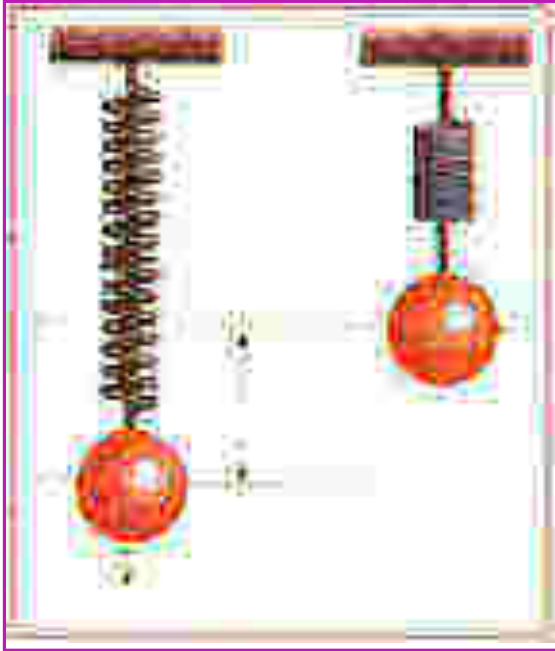
حركة تذبذبية (أو اهتزازية) منتظمة للكتلة حول موضع سكونها بحيث يتناسب مقدار عجلتها تناسباً طردياً مع إزاحة الكتلة وفي اتجاه معاكس لها.

تعريف خاصة بالحركة التوافقية البسيطة

سعة الذبذبة: (Amplitude) هي أقصى إزاحة يعملها الجسم المهتز حول 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 انطلاقةً 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.



شكل (٩)

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). أحسب ثابت النابض (هـ).

الحل: $ق هـ = - هـ س$ (قانون هوك)

$$ق هـ = - هـ س$$

وحيث أن $ق هـ = و$ (وزن الكتلة)

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

اهملنا هنا الإشارة السالبة (-) لأن المطلوب هو المقدار.

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

أ - زمنه الدوري . ب - تردده.

الحل:

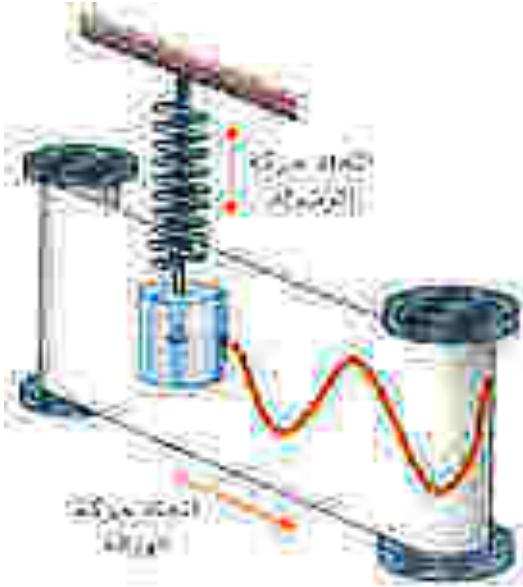
أ - الزمن الدوري (ز) أي زمن ذبذبة واحدة هو $z = \frac{8}{24} = \frac{1}{3}$ ثانية.
ب - تردده (f) أي عدد الدورات في الثانية الواحدة وهو يساوي مقلوب الزمن

$$\text{الدوري أي : } f = \frac{1}{z} = \frac{24}{8} = 3 \text{ (ذبذبة/ث) أو هيرتز.}$$

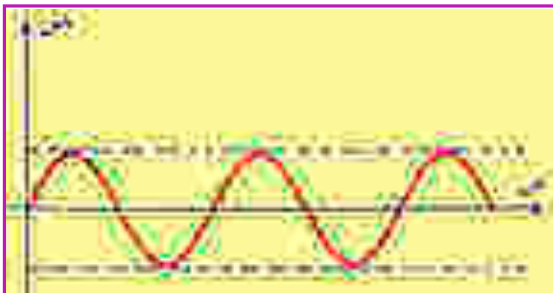
تمثيل الحركة التوافقية البسيطة بيانياً

للقيام بذلك أجز النشاط التالي :

النشاط (٤)



شكل (١٠)



شكل (١١)

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.

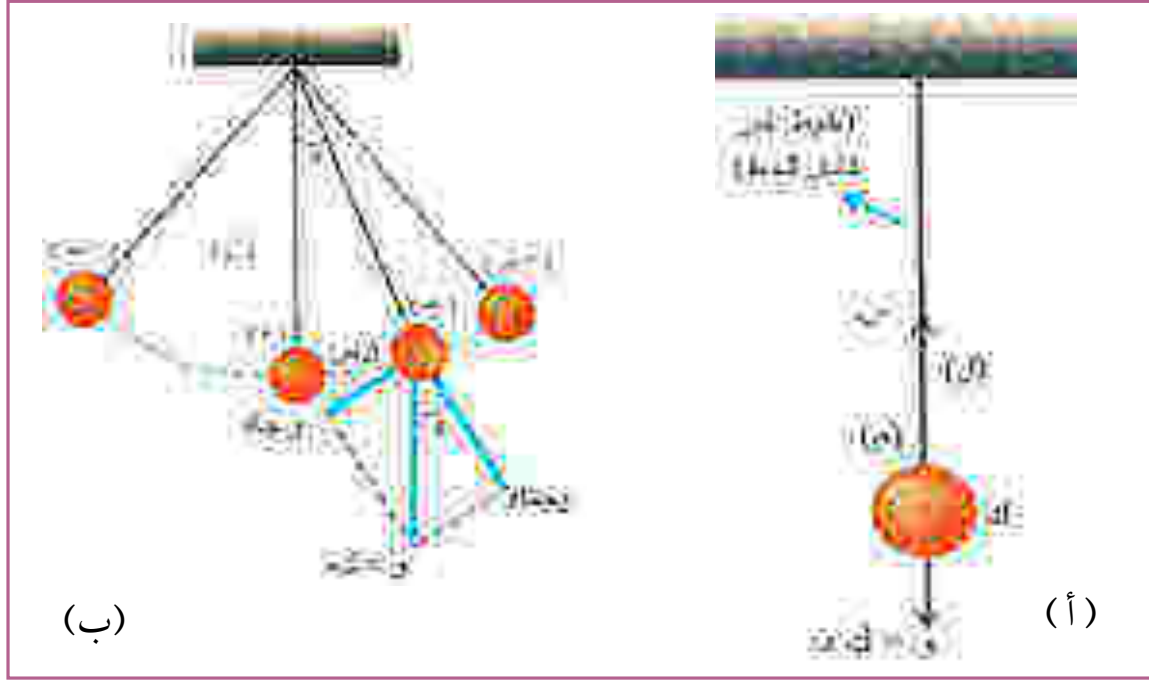
٣ - أجعل الكتلة تتذبذب في نفس الوقت الذي تتحرك فيه الورقة.

- ماذا تشاهد؟

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

البندول البسيط : Simple Pendulum

لقد ذكرنا أن حركة البندول البسيط هي حركة اهتزازية، والشكل (١٢) يبين كتلته (ك) في موضع سكونها (م) والقوى المؤثرة فيها هما قوتان وزنها (و) متجه رأسياً نحو الأسفل والشد (س) 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 ج) من مسار الكتلة) أنظر الشكل (١٢ ب) وهما المركبة (وجتا θ) المعاكسة لقوة الشد (س) في الخيط ومتزنة معها، والمركبة (وجا θ) المماسية للمسار الدائري الذي ترسمه الكتلة والذي نصف قطره هو طول الخيط (ل) وهي القوة (ق) المحركة للكتلة أي :

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

الإشارة (-) تدل على أن اتجاه القوة المماسية معاكسة للزيادة في الإزاحة الزاوية (θ) وتدل العلاقة (٢٣) أن حركة البندول هي حركة جيئية
إذا كانت الإزاحة الزاوية θ صغيرة ومقاسة بالراديان فيمكن اعتبار $\theta = \sin \theta$
∴ معادلة الحركة يمكن أن تكتب على النحو

ق = - ك و θ (من العلاقة (٧) $\frac{\Delta s}{l} = \theta$ (راديان)) حيث $l = \text{نوه}$ ، و Δs طول القوس ابتداءً من نقطة السكون (م)

$$\therefore \text{ق} = - \text{ك} و \frac{\Delta s}{l}$$

(٢٤)

$$\text{ق} = - \text{ك} و \frac{\Delta s}{l}$$

وإذا رمزنا للمقدار الثابت $\left(\frac{\text{ك} و}{l}\right)$ بالرمز h ، فإن العلاقة الأخيرة يمكن أن

تكتب على النحو $\text{ق} = - h \Delta s$ وهي تمثل قانون هوك.

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

بالعلاقة: $z = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ (٢٥)

وبما أن $f = \frac{1}{z}$ فالتردد (f) يعطى بالعلاقة:

..... (٢٦) $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$

مثال (٧):

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

الحل:

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

$$z = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2 \times 3,14 \times \sqrt{\frac{٠,٥}{٩,٨}} = ١,٤٢ \text{ ثانية}$$

تردده $f = \frac{1}{z} = ٠,٧$ ثانية أو هيرتز.

سؤال: هل الزمن الدوري للبندول البسيط يتعلق بكتلته؟

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؟ فإنك 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 الدوائر المائية هذه هل هو الماء (جسيمات الوسط المادي) أو الاضطراب فقط؟ وللإجابة على هذا السؤال أجز النشاط التالي:

النشاط (٥)

- ١- ضع على سطح بركة ماء ساكنة عدة قطع من الفلين.
- ٢- خذ قارورة مملوءة بالماء وأبدأ بالتنقيط على سطح ماء البركة. ماذا تشاهد؟



شكل (١٣)

- 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

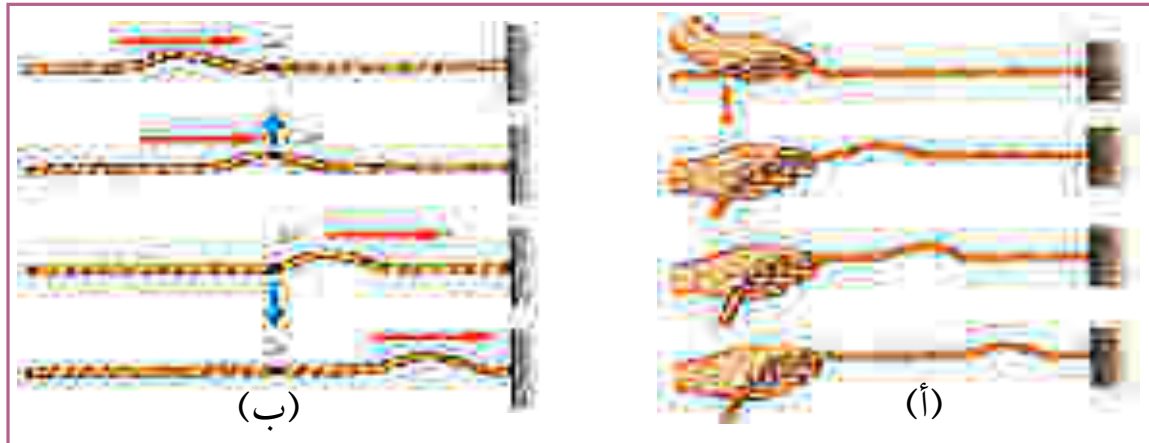
الاضطراب، في حين الفلينات الأخرى الأبعد عن مركز الاضطراب تظل ساكنة إلى أن تصلها هذه الدوائر المائية فتتذبذب حول موضع سكونها بحركة مماثلة لحركة الفلينة الأولى انظر الشكل (١٣).

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:



الحالة الأولى:

- ١ - اربط إحدى نهايتي حبل طويل مشدود بنقطة ثابتة وأمسك الطرف الآخر بيدك.
- ٢ - أعط طرف الحبل الممسوك هزة بيدك كما هو مبين في الشكل (١٤) ماذا تلاحظ؟
- ٣ - تلاحظ أن هذه الهزة قد انتقلت إلى الحبل على شكل اضطراب (يدعى نبضة موجية 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)

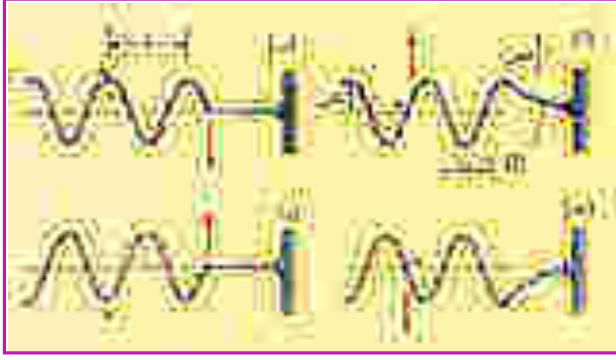


شكل (١٤)

الحالة الثانية:

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





شكل (١٥ - أ، ب، ج، د)

- 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).

أن 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). ويتنقل 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 رئيسية.

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 البنيات 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 كأموج 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 والنيوترون والبروتون ..) التي افترضها العالم الفرنسي ذي برولي وأثبتتها التجارب آنذاك بحيود الإلكترون التي تؤكد

الطبيعة الموجية له. فالجسيم المادي المتحرك الذي كتلته (ك) وسرعته (ع) ترافقه موجة طولها (λ) تعطي بالعلاقة

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} \quad (\text{حيث } h \text{ ثابت بلانك}) \text{ وواضح أن ظهور الكتلة (ك) والطول الموجي (λ) في}$$

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 قد نقلت الكتلة 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 المقدمة من الشخص (أي المصدر) الذي يهز طرف الحبل، أو كالحجر الساقط من علو على سطح الماء تنتقل طاقته الوضعية 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 جسيمات الوسط المادي للأعلى والأسفل حول مواضع توازها عمودية على



شكل (١٦)

اتجاه انتشارها. يسمى هذا النوع من الأمواج بالأمواج المستعرضة وقد ثبت إن الأمواج الكهرومغناطيسية كأموال الضوء هي أمواج من هذا النوع شكل (١٦).

٢- الأمواج الطولية (Longitudinal Waves)

ولمعرفة إجرا النشاط الآتي:



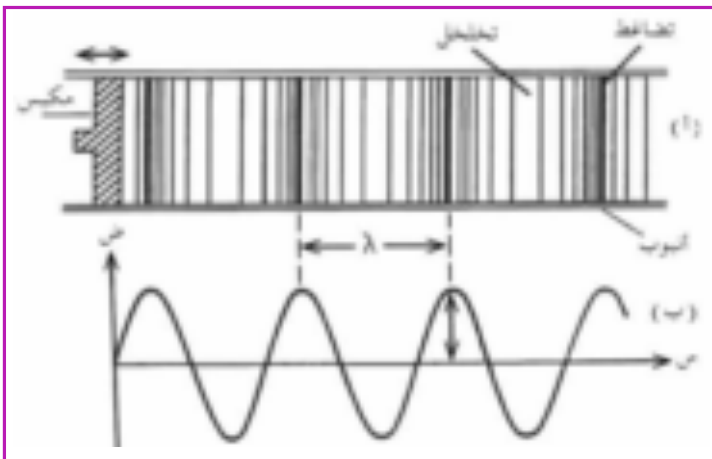
- ١- خذ نابضاً حلزونياً طويلاً وضعه على طاولة ملساء أفقية.
- ٢- ثبت أحد طرفية والطرف الآخر أتركه حراً. في البدء في حالة التوازن تكون المسافات الفاصلة بين حلقاته متساوية.
- ٣- ادفع طرفه الحر دفعة صغيرة في اتجاه محوره، ماذا تشاهد؟



شكل (١٧)

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

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 تضاضغات وتخلخلات. فإذا استمررت في تحريك الطرف الحر للنابض إلى الأمام والخلف فإنه يتولد قطار من التضاضغات 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.



شكل (١٨)

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

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

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 (١٥ ب) و (١٨ ب) أو المسافة بين تضاعطين متتاليين أو تخلخلين متتاليين كما في الأمواج الطولية انظر الشكلين (١٧) و (١٨ ب).

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:

$$f = \frac{1}{z} \text{ ووحدة قياسه (هيرتز)}$$

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

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

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

$$\text{أي} \quad \frac{\lambda}{z} = \frac{\text{طول الموجة } (\lambda)}{z} = \text{ع} \quad \text{وبما أن التردد (f) } = \frac{1}{z}$$

$$\therefore \quad \boxed{f\lambda = \frac{\lambda}{z} = \text{ع}} \quad \dots\dots\dots (٢٧)$$

مثال (٨): إذا حركت طرف حبل طويل حركة اهتزازية متعامدة مع طوله أدت إلى توليد

أمواج مستعرضة في الحبل طولها (λ) = ٢, ٠ متر وكان تردد حركتك أي تردد

طرف الحبل المهتز $f = ١٥$ (هيرتز). أحسب ما يلي:

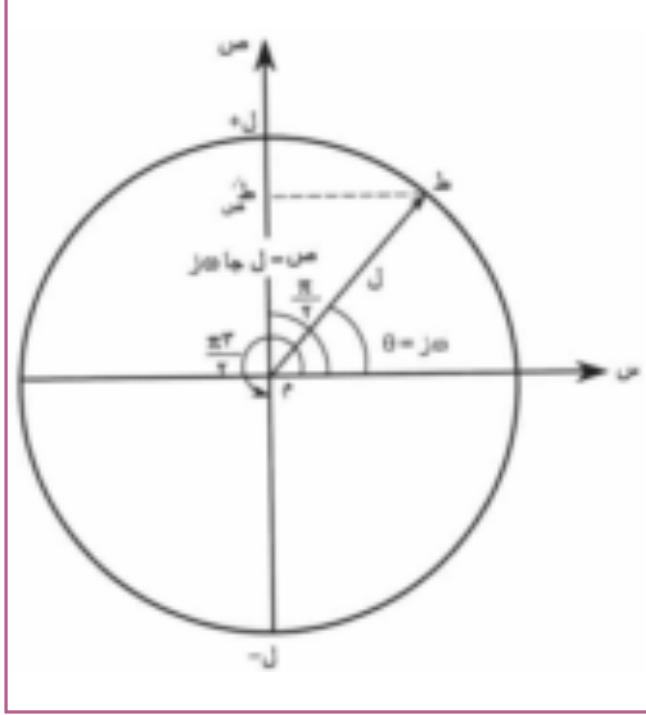
أ - سرعة الموجة (ع). ب - زمنها الدوري (ز).

الحل:

المعطيات : $\lambda = 0,2$ متر ، $f = 15$ (هيرتز)
 أ - $c = (\lambda f) = 0,2 \times 15 = 3$ (متر/ث)

ب - زمنها الدوري (ز) = $\frac{1}{f} = \frac{1}{15} = 0,067$ ثانية

العلاقة بين الحركات: الدائرية المنتظمة والتوافقية البسيطة والموجية:



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

في هذه الدائرة إذا تحرك نصف
 قطرها (م ط = ل) بسرعة زاوية
 منتظمة (ω)، أي إذا تحركت النقطة
 (ط) على محيطها بسرعة

شكل (١٩)

خطية منتظمة (ω) تتعين من العلاقة

$\omega = \frac{\theta}{t}$ ، فإن مسقط النقطة (ط) (الذي نرمز له بالرمز ط 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 (ط ص) عن المركز (م) تعطى بالعلاقة:

..... (٢٨)

$$\text{ط ص} = L \cos \theta = L \cos \omega t$$

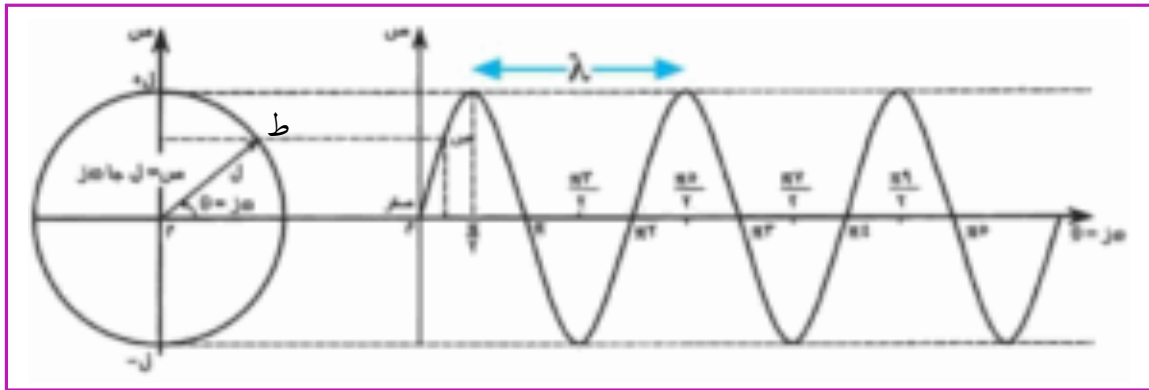
حيث $\omega = \frac{\theta}{t}$ من العلاقة (٩) والإزاحة العظمى للمسقط ط ص = $\pm L$ وذلك عندما

$$\theta = \frac{\pi}{2} \text{ ، } \omega t = \frac{\pi}{2} \text{ ، } \omega t = \frac{3\pi}{2} \text{ انظر الشكل (١٩).}$$

نستنتج من العلاقة (٢٨) بان مسقط الحركة الدائرية المنتظمة هو حركة توافقية بسيطة يمكن التعبير عنها بمنحنى جيبي. دعنا نمثل هذه العلاقة (٢٨) بياناً بالإزاحة على المحور (ص) والزاوية ($\theta = z \omega$) على المحور (س)، انظر الشكل (٢٠).

تلاحظ إن النقطة (ط) بدأت حركتها في اللحظة ($\omega = z =$ صفر) عندما كان في موضع السكون (ص = صفر). وفي وقت لاحق (z) تصبح إزاحتها ص = ل جا ωz تسمى الزاوية (θ) = (ωz) بطور الحركة الموجية و (ص = $\pm$ ل) بسعتها أو أحياناً بقمته (ص = ل +) أو بقاعها (ص = ل -) فمن أجل قيم (θ) تساوي

$$\theta = \text{صفر}, \frac{\pi}{4}, \pi, \frac{3\pi}{4}, \pi 2, \frac{5\pi}{4}$$



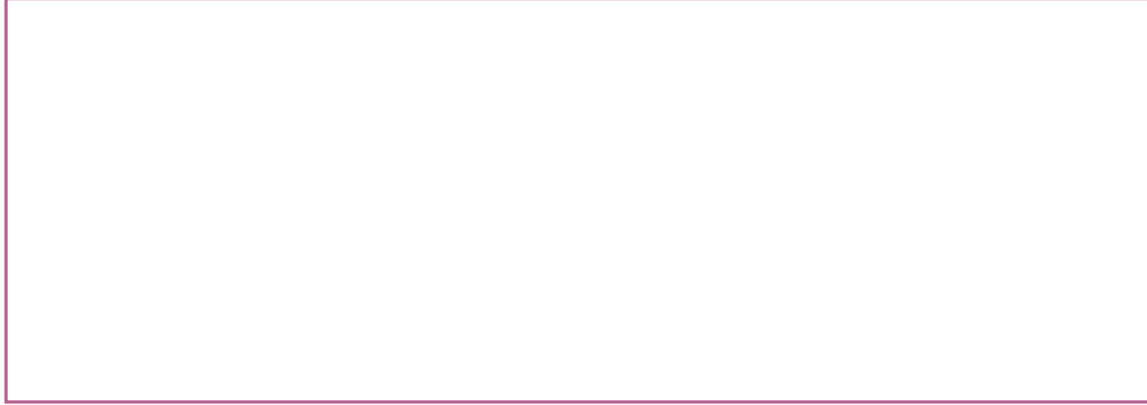
شكل (٢٠)

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 ωz شكل (٢٠).

فرق الطور ($\Delta\theta$) وفرق المسير (Δs) Phase difference and path difference

من أجل فرق الطور ($\Delta\theta$) بين θ_1 = صفر، $\theta_2 = \pi 2$ مقداره $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = \pi 2$ (راديان) تتقدم الحركة الموجية (أو القطار الموجي) مسافة قدرها طول موجي واحد (λ) يسمى بفرق المسير. والشكل (٢٠) يبين الفرق في الطور مقداره $\Delta\theta = \frac{\pi 5}{4} - \frac{\pi}{4} = \pi 2$ يقابله فرق في المسير (Δs) مقداره طول موجي (λ) وإذا كان هناك فروق في الأطوار مقاديرها $\Delta\theta = \pi 2, \pi 4, \pi 6, \dots$ (راديان) فإنه يقابلها فروق في المسير مقاديرها $\Delta s = \lambda, \lambda 2, \lambda 3, \dots$

من الأطوال الموجية (حيث $\varnothing = \text{صفر}$ ، ١، ٢، ٣.... عدد صحيح موجب). ومن أجل فروق في الأطوار مقاديرها $\Delta\theta = \pi$ ، π^3 ، π^5 ،، $\pi(1+\varnothing^2)$ يقابلها فروق في المسير مقاديرها $\frac{\lambda}{\varnothing}$ ، $\frac{\lambda^3}{\varnothing}$ ، $\frac{\lambda^5}{\varnothing}$ ، ... $\frac{\lambda}{\varnothing}(1+\varnothing^2)$ 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 جا θ) وبعد فترة زمنية لاحقة (ز) تصبح إزاحته ص = ل جا $(\omega + \theta)$



شكل (٢١)

وإذا نظرنا إلى الموجتين المرسومتين في الشكلين (٢٠، ٢١) نجد أن أحدهما متقدمة على الأخرى التي في الشكل (٢٠) بفرق في الطور مقداره $[\theta]$. إذا كان فرق الطور $\Delta\theta$ بين الموجتين مقداره π^2 ، π^4 ، π^6 ، ... π^2 راديان أي الفرق بينهما عدد صحيح (ص) من الدورات (حيث π^2 «راديان» يمثل دورة كاملة)، تكون الحركتان الاهتزازيتان فيهما متماثلتين أي فرق المسير بينهما λ ، λ^2 ، λ^3 ... λ حيث (ص) عدد صحيح من الأطوال الموجية في هذه الحالة تكون قمم الموجة الأولى تقابل القمم للموجة الثانية والقيعان للموجة الأولى تقابل القيعان للثانية كما هو مبين في الشكل (٢٢).

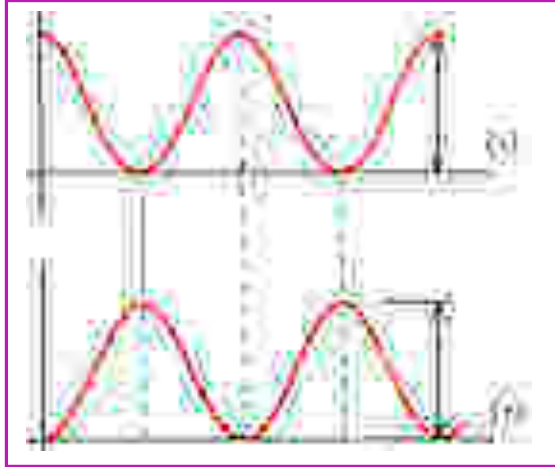
وإذا كان فرق الطور $(\Delta\theta)$ بين الموجتين هو

$$\pi$$
، π^3 ، π^5 ، π^7 ،، $\pi(1+\varnothing^2)$

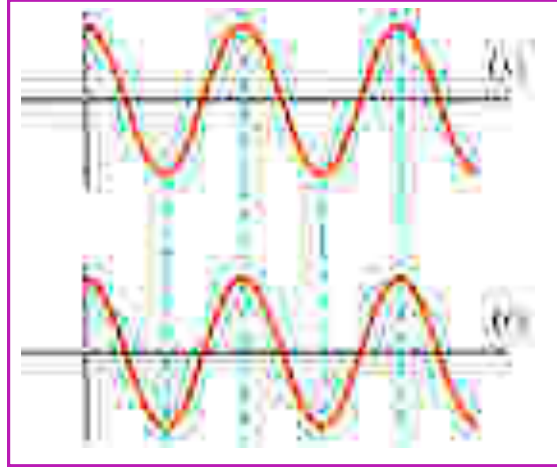
(حيث $\varnothing = \text{صفر}$ ، ١، ٢، ٣.... عدد صحيح موجب) يقابل ذلك فرق في المسير بين الموجتين مقداره

$$\frac{\lambda}{\varnothing}$$
، $\frac{\lambda^3}{\varnothing}$ ، $\frac{\lambda^5}{\varnothing}$ ، $\frac{\pi^7}{\varnothing}$ ، $\frac{\lambda}{\varnothing}(1+\varnothing^2)$

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)



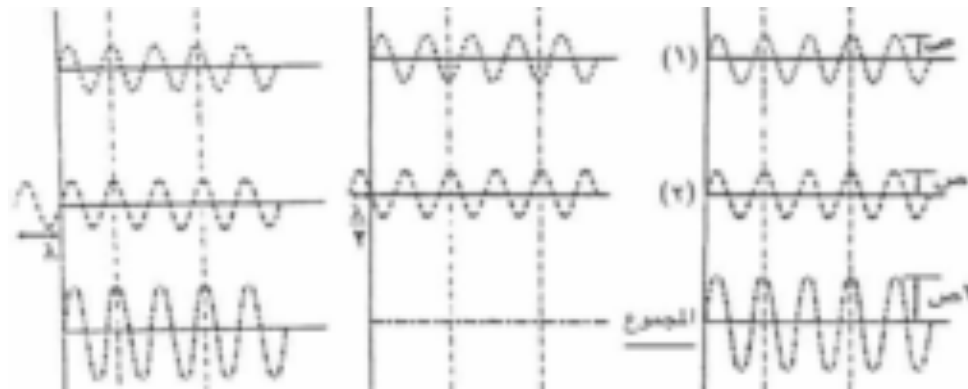
شكل (٢٢)

تداخل الأمواج (Interference)

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

عملية التداخل:

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



شكل (٢٤)

(ج) الموجتان متفاوتتان في الطور بمقدار π والمسير بمقدار λ

(ب) الموجتان متفاوتتان في الطور بمقدار π والمسير بمقدار $\frac{\lambda}{2}$

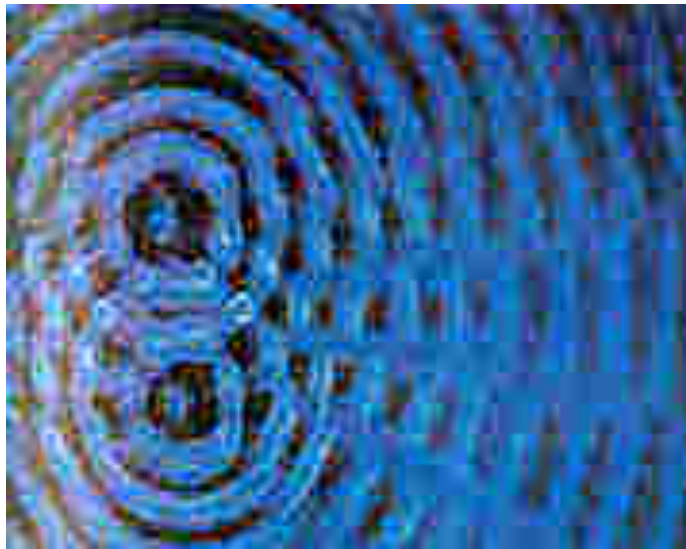
(أ) الموجتان متفقتان في الطور

فكل منهما تقوى 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 تقوى كل منهما الأخرى بالتداخل البناء (Constructive Interference).

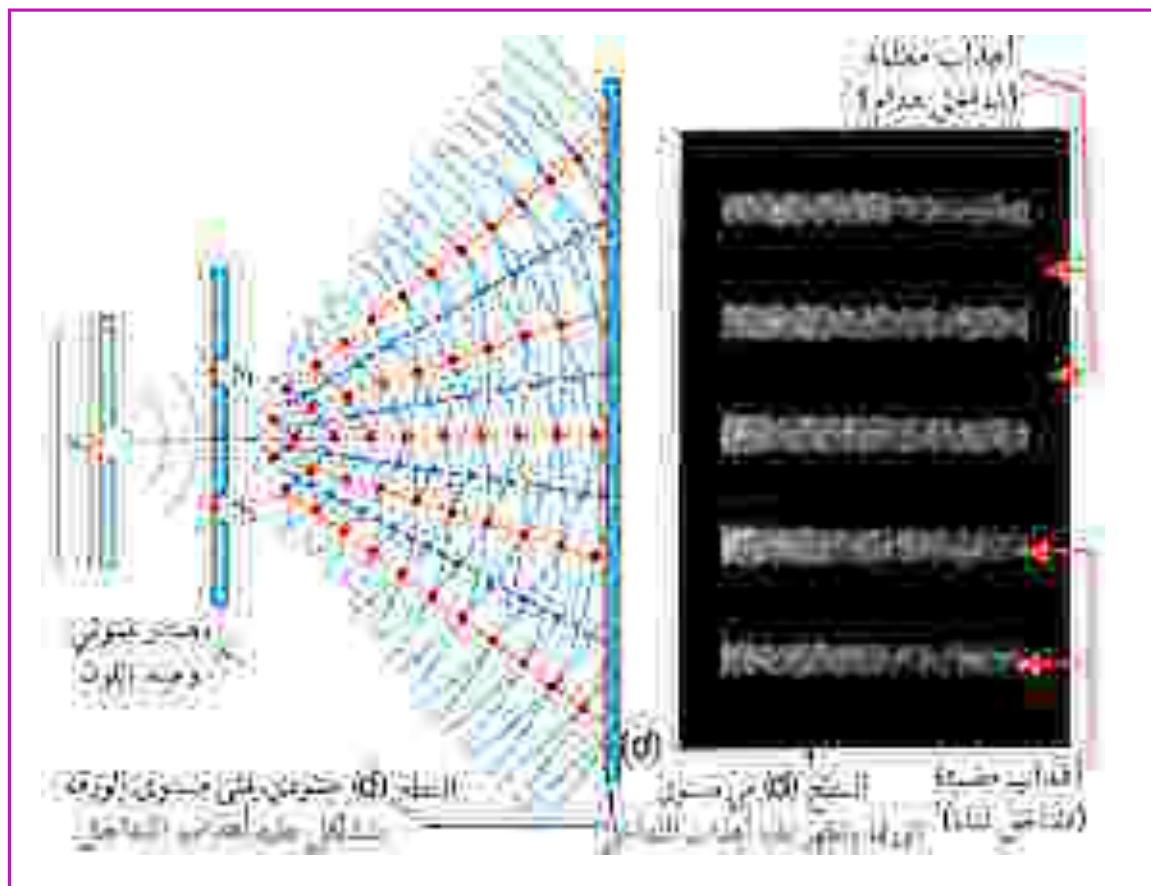
وإذا حركنا المصدر الثاني (٢) إلى اليسار مسافة قدرها نصف طول موجي $\frac{\lambda}{2}$ ، يقابله فرق في الطور بين الموجتين (١) ، (٢) مقداره $\pi = 180^\circ$ أي تصبحا متعاكستين في الطور، كما هو مبين في الشكل (٢٤ ب)، فإن جمع الموجتين يكون الآن قمة الموجة (١) مع قاع الموجة (٢)، ونتيجة لذلك فإن الموجتين (١) و (٢) تلاشي كل منهما الأخرى ويكون مجموعهما = صفر إذا كانتا متساويتين في المقدار (في الشدة) أما إذا كانتا مختلفتان 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 (2π) راديان، كما هو مبين في الشكل (٢٤ ج)، وهنا تتحد الموجتان مرة ثانية بحيث إذا جمعتا معاً فإنهما سوف تقويان كل منهما الأخرى.

ويتبين لنا من هذا التحليل أن الموجتان المختلفتان في الطور بمقدار 2π أو بفرق في المسير مقدار (λ) من الأطوال الموجية (حيث $2\pi =$ صفر ، ١ ، ٢ ، ٣ عدد صحيح موجب) فإن تداخلهما يكون بناء بينما إذا اختلفتا في الطور بمقدار $(2\pi + \pi)$ راديان أو بفرق مسير مقداره $(2 + 1)\frac{\lambda}{2}$ 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.



شكل (٢٥).



شكل (٢٦).

حيث أن s_1 و s_2 هما فتحتين صغيرتين يمثلان منبعين ضوئيين تنتشر منهما الأمواج الضوئية على شكل سطوح كروية ثم تتداخلان.

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.
- ج - 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، ج - 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 الخاطئة:

- 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. ()
- ج - 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. ()

تابع تقويم الوحدة

٨- اختر الإجابة الصحيحة:

- أ - العوامل التي تحدد الزمن الدوري للبذول البسيط هي:
 ١ - كتلته ، ٢ - طوله ، ٣ - سعة ذبذبته.
 ب - من شروط التداخل البناء أن يكون فرق الطور (θ) بين الموجتين المتداخلتين
 (١) $(\pi/2)$ ، (٢) $(\lambda/2)$ ، (٣) $(\pi/2 + 1)$ [حيث ϕ عدد صحيح موجب و (λ) الطول الموجي].
 ج - من شروط التداخل الهدام أن يكون فرق المسير (Δs) بين الموجتين المتداخلتين
 يساوي:

$$(1) (\lambda/2) ، (2) (1 + \frac{\lambda}{2}) ، (3) (\pi/2 + \lambda)$$

٩- عرف كل من:

- أ - الراديان ب - السرعة الزاوية، ج - 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. أحسب ما يلي:
 أ - السرعة الزاوية للسيارة، ب - عجلة الجذب المركزية للسيارة واتجاهها.
 ١١ - يدور قرص نصف قطره (٨) سم حول محوره ويعمل (١٢٠٠) دوره/دقيقة. كما في الشكل (٢٧) أوجد ما يلي:

أ - تردد القرص وزمنه الدوري.

ب - سرعته الزاوية.

ج - سرعته الخطية لنقطة على حافته.

١٢ - يتحرك قمر اصطناعي حول الأرض في مسار دائري

نصف قطره (٥٥٥٠ كم) بسرعة خطية (مدارية)

مقدارها 15×10^3 كم/ساعة.

احسب ما يلي:

أ - زمن الدورة الكاملة للقمر الاصطناعي.

ب - عجلة الجاذبية الأرضية على هذا الارتفاع.



شكل (٢٧)

تابع تقويم الوحدة

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

أ - سرعته الخطية. ب - زمنه الدوري.

ج - عجلة الجذب المركزية للتابع الأرضي.

١٤- إذا كان الزمن الدوري للأرض حول الشمس هو (١٥٦, ٣ × ١٠^٧) ثانية أي حوالي (٣٦٥ يوماً) وبُعدها عن الشمس مقداره ١, ٤٩٦ × ١٠^{١٢} متر وكتلتها

(ك_ر) = (٩٨, ٥ × ١٠^{٢٤} كجم). فأحسب ما يلي:

أ - عجلة الجذب المركزية للأرض نحو الشمس.

ب - قوة الجذب المركزية المؤثرة على الأرض.

ج - كتلة الشمس

(حيث ج = ٦٧٣, ٦ × ١٠^{-١١} نيوتن.م^٢/كجم^٢ ثابت الجذب العام).

١٥- نابض حلزوني مثبت رأسياً من أعلاه. إذا علقت في طرفه

السفلى كتلة (ك) مقدارها (٢٠٠ جم) استطال النابض (١٠ سم)

واستقرت الكتلة في وضع توازن

جديد (م). ثم إذا سحبت من موضع توازنها الجديد (م)

مسافة (٢٠ سم) كما في الشكل (٢٨) وتركت تتذبذب فإنها

تعمل (١٦) ذبذبة في أربع ثوان.

احسب ما يلي:

أ - ثابت النابض (هـ).

ب - تردد الكتلة وزمنها الدوري.

ج - سعتها ، (علماً بأن ٩, ٨ = ٥ م/ث^٢).



شكل (٢٨)

تابع تقويم الوحدة

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

احسب ما يلي:

أ - ثابت النابض (ه).

ب - ترددها وزمنها الدوري.

ج - سعة الذبذبة.

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

١٧- بندول بسيط كتلته (٤) كجم شدت كتلته إلى الموضع (٢) على ارتفاع (١٠ سم) من موضع توازنها (م) ثم تركت تتذبذب حول موضع توازنها (م) محدثة ذبذبة واحدة في الثانية شكل (٢٩).

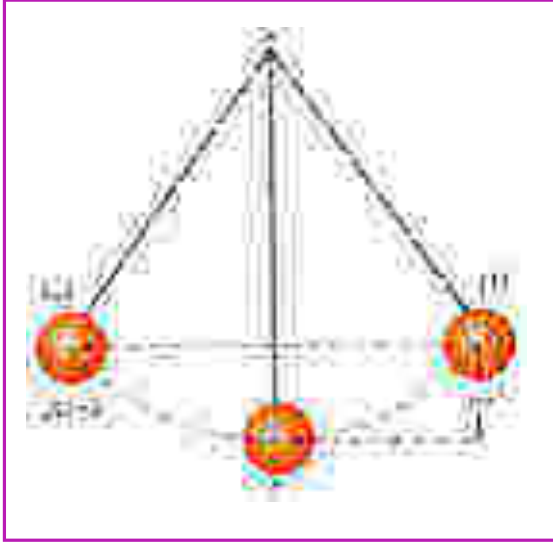
احسب ما يلي:

أ - الزمن الدوري للبندول.

ب - تردده.

ج - طوله.

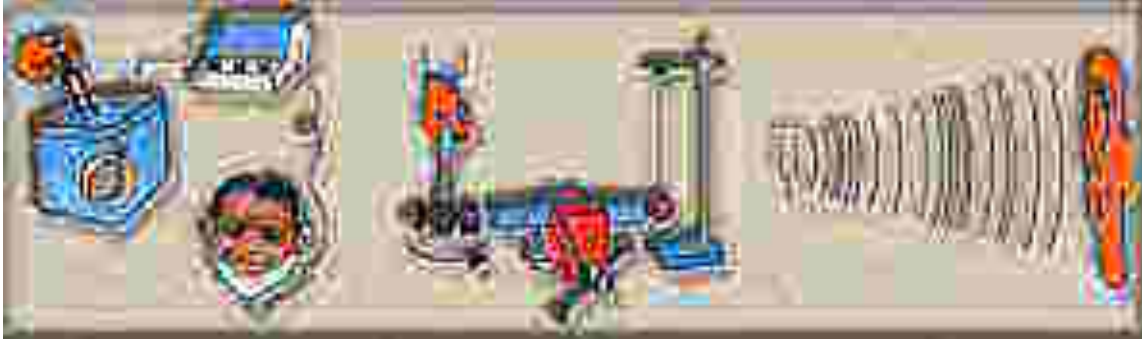
د - سرعة كتلته في الموضع (م).



شكل (٢٩)

الموجات الصوتية (Sound waves)

الوحدة الثالثة



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 ومسابئلة رياضية على خواص الصوت، وظواهره.
 - ١٠ - يتعرف على بعض التطبيقات والتقنيات للصوت، والظواهر الصوتية في الحياة العملية.

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 المادة، فعندما تهتز المصادر المادية؛ فإنها تصدر صوتاً، وعندما يتوقف الاهتزاز يندم 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 الأذن 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.

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

النشاط (١)

شد وترًا 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.

إذن 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:

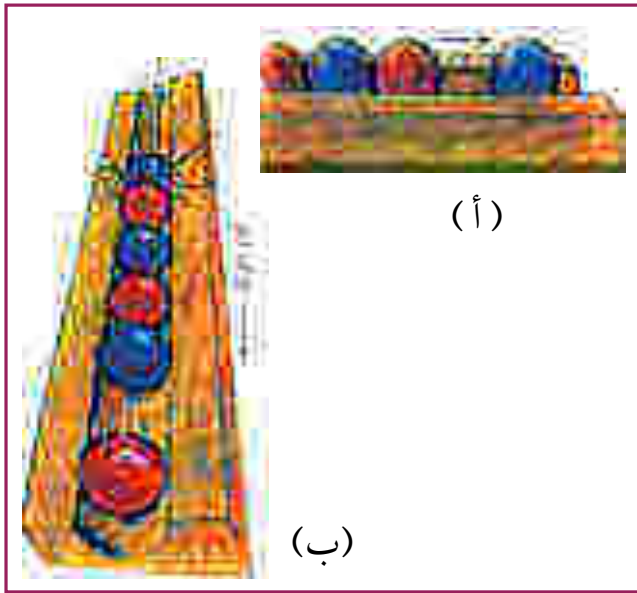
١- مصدر مهتز لإصدار موجات ميكانيكية صوتية.

٢- وسط مادي ناقل لهذه الموجات.

انتشار الصوت على شكل موجات طولية

عرفت من دراستك للحركة الموجية أنه في الحركة الموجية الطولية، تهتز جسيمات الوسط باتجاه انتقال الموجة. (وهذا ما يوضحه النشاط (٧) شكل (١٧)، (١٨) للموجات الطولية في الوحدة الثانية)

حيث تهتز لفات السلك الحلزوني المرن (الناض) مكونة سلسلة من التضاضعات والتخلخلات المتتالية على خط انتقال الموجة. وذلك ما يحدث للموجات الصوتية في الهواء. والنشاط التالي يوضح كيفية اهتزاز جزيئات الوسط المادي (الهواء) دون أن تنتقل هذه الجزيئات مما يؤدي إلى سماع الصوت.



(أ)

(ب)

شكل (١).

النشاط (٢)

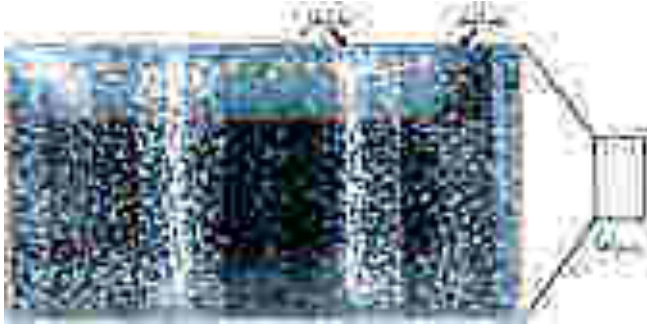
١ - خذ قطعة خشب ذات طول مناسب (متر واحد تقريباً)، واجعل بمنتصفها مجراً أملساً ناعماً مناسباً لعدد من الكرات الصغيرة التي يبلغ قطرها حوالي ٢ سم تقريباً، ثم أبعد الكرة الأولى قليلاً عن باقي الكرات كما في الشكل (١/أ).

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.

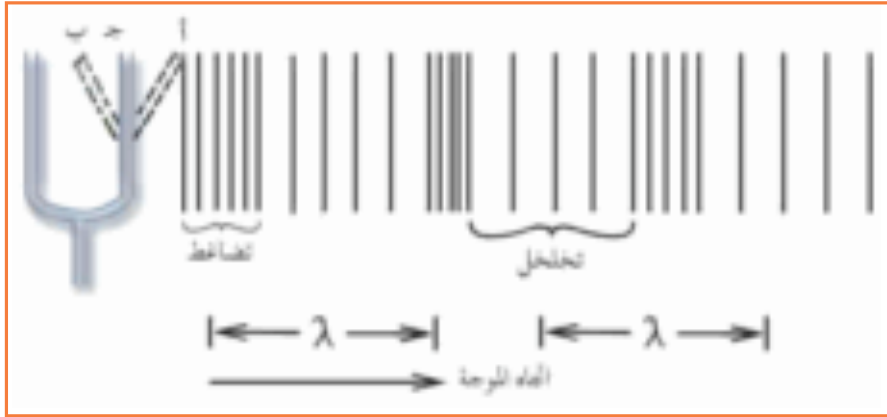
وبالمثل فإن الطاقة الاهتزازية لمصدر الصوت تنتقل من جزيء لآخر حتى تصل إلى جزيء الهواء الملامس لطبلة الأذن فيهتز مؤثراً على الأذن، وتسمع الصوت. وهكذا عندما يهتز مصدر الصوت في الهواء -مثلاً- فإنه يؤثر على طبقة الهواء المجاورة له بقوى دورية، مما ينتج عنه انتشار نوع من الاضطراب الدوري للهواء. ويوضح الشكلين (٢) و (٣) تكوّن التضامعات والتخلخلات أثناء انتقال الاضطراب الناتج عن اهتزاز الشوكة الرنانة.



شكل (٢)

ويلاحظ ما يأتي :

- فعند اهتزاز فرع الشوكة الرنانة؛ فإنها تتذبذب حول موضع سكونها (ج) وبالطريقة نفسها -أيضاً -



تتذبذب
جزيئات
الهواء حول
موضع
سكونها

شكل (٣)

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

- بما أن حركة جزيئات الوسط موازية لاتجاه الموجة، فتكوّن التضامعات، والتخلخلات بذلك موجة طولية. إذن الموجة الصوتية هي موجة طولية.

- الطول الموجي (Wavelength) (λ): هو المسافة بين مركزي تضامطين متتالين، أو مركزي تخلخين متتالين شكل (٣).

- تردد الموجة الصوتية يساوي تردد المصدر، ويساوي عدد الذبذبات، أو الاهتزازات التي يحدثها المصدر في الثانية.

- 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، والهواء، 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 الوسط الناقل للصوت:

إن زيادة كثافة مادة الوسط، تجعل جزيئات ذلك الوسط تتزاحم، وتستغرق وقتاً أطول لنقل حركة الاضطراب من جزء الآخر في الوسط، وبالتالي تقل سرعة انتشار

موجات 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:

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

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.

$$c \propto \sqrt{T} \quad (\text{حيث تُقاس } T \text{ بالدرجة المطلقة})$$

٤- اتجاه الرياح وسرعتها:

لقد ثبت 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 ١٩٣٤ م، 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.

ملاحظة:

يبرهن إن مقدار الزيادة في سرع الصوت في الهواء الساكن تعطى بالعلاقة الآتية:

$$c_t = c_0 + 0,6 \times t \quad \text{حيث } c_0 = 331 \text{ م/ث، } t \text{ درجة الحرار المئوية.}$$

ثانياً: سرعة الصوت في الماء:

أجريت تجارب لتعيين سرعة الصوت في الماء كانت نتيجتها أن سرعة الصوت في الماء عند درجة الصفر المئوي حوالي ١٤٣٠ م/ث. وبحسب 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.

$$\therefore \text{سرعة الصوت في الماء} = \sqrt{\frac{٢,٠٤٤ \times ١٠^٩}{١٠٠٠}} = ١٤٣٠ \text{ م/ث تقريباً.}$$

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 (٥٠٠٠ م/ث) تقريباً.

وفي النحاس تساوي (٣٨٠٠ م/ث)، وفي الخشب تساوي (٣٤٠٠ م/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).

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

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

جدول (١) سرعة الصوت في أوساط المختلفة:

الوسط	سرعة الصوت (م/ث)	درجة الحرارة (درجة مئوية)
الهواء	٣٣١	صفرًا
ثاني أكسيد الكربون	٢٥٨	صفرًا
الهيدروجين	١٢٦٩	صفرًا
الأكسجين	٣١٧	صفرًا
الألمنيوم	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

اطرق شوكة رنانة، وعندما يهتز فرع الشوكة من (ب) إلى (٢) تحدث نبضة تضغط في طبقة الهواء الملاصقة لفرع الشوكة، وعندما يهتز فرع الشوكة من (٢) إلى (ب)؛ تحدث نبضة تخلخل في طبقة الهواء الملاصقة للفرع، شكل (٥).



شكل (٥)

أي عندما يتم فرع الشوكة الرنانة اهتزازة كاملاً؛ يحدث في الوسط المجاور للشوكة موجة صوتية كاملة (λ) مكونة من تضغط ، ثم تخلخل متتاليين. ماذا تستنتج من ذلك؟

- 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 $\times$ طول الموجة الواحدة $= \lambda \times f$.
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 $\times$ طول الموجة ، وتكتب رياضياً على النحو التالي:

(٢)

$$\lambda \times f = c$$

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: $c = \lambda \times f$ ،

$$330 = \lambda \times 275$$

$$\therefore \lambda = \frac{330}{275} = 1,21 \text{ متراً} = 121 \text{ سم.}$$

مثال (٢):

أعلن مذيع إحدى المحطات أن المحطة تبث برامجها على موجات لا سلكية طول كل منها ٣٠ متراً، بذبذبة قدرها عشرة آلاف كيلو هيرتز، فما سرعة انتشار تلك الموجات؟

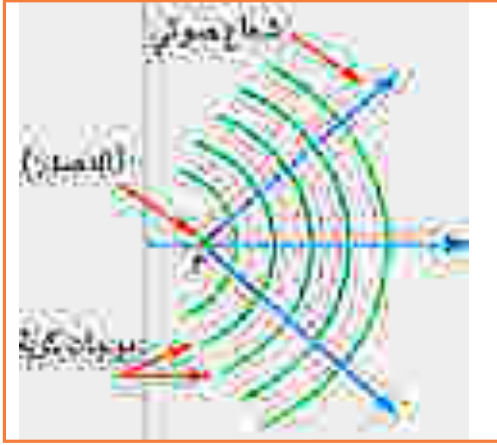
سرعة الصوت = التردد $\times$ الطول الموجي

$$f = 10000 \times 10^4 = 10^8 \text{ ذ/ث} ،$$

$$c = 30 \times 10^8 = 3 \times 10^9 \text{ م/ث.}$$

الموجات الكرية

تعلم أنه عندما يدق 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 كرية متزايدة الاتساع، ومركزها جميعاً هو مصدر الصوت. انظر الشكل (٦).



شكل (٦) (صدر الموجة).

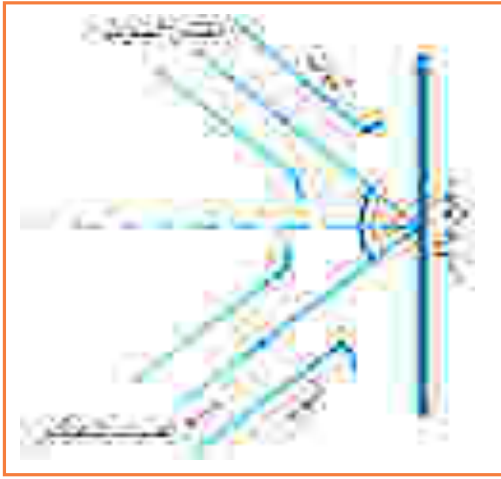
صدر الموجة:

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):

١- 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 عاكساً تصطدم به؛ وترتد 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، وتوضع موجات



شكل (٧)، انعكاس الموجات الصوتية.

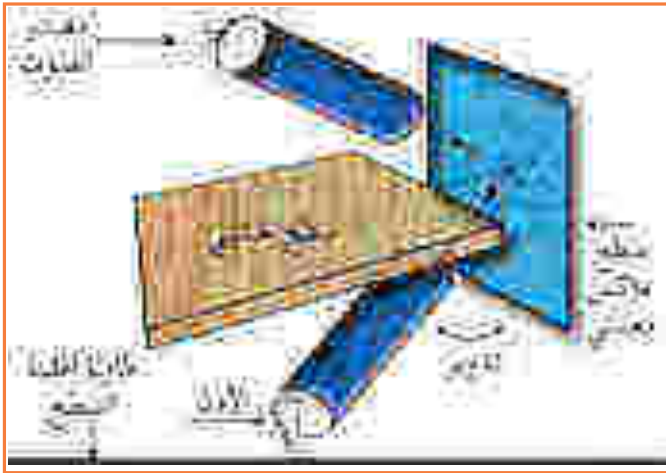
الصوت لنفس قوانين انعكاس الضوء التي سبق لك دراستها في المرحلة الأساسية والتي تنص على أن:

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.

تجربة: استنتاج قانوني الانعكاس للموجات الصوتية:

أحضِر 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 صرخت بصوت عال، وسمعت صوتك يعود إليك مرة ثانية، كذلك إذا وقفت أمام جبل في واد، ثم تكلمت بصوت عال فسوف

تسمع صوتك يتردد مرة ثانية. ماذا تسمى هذه الظاهرة.

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

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

تستغرقه الموجات الصوتية للانتقال من مصدر الصوت إلى الحاجز ذهاباً وإياباً. والاذن البشرية لا تستطيع أن تميز بين صوتين الفترة الزمنية بينهما أقل $\frac{1}{10}$ ثانية. فعندما تكون سرعة الصوت في الهواء (٣٤٠) متر/ الثانية، تكون المسافة التي يقطعها الصوت في زمن $\frac{1}{10}$ من

الثانية تساوي $34 \times \frac{1}{10} = 3.4$ متر ذهاباً وإياباً ، وفي هذه الحالة تكون المسافة بين مصدر

الصوت والسطح العاكس $= \frac{34}{2} = 17$ 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، وإذا 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 صده بعد عشر ثوان من إصداره، أوجد سرعة الصوت في الهواء في تلك اللحظة.

الحل:

بعد الجبل = ١٨٠٠ متراً

زمن ذهاب، وإياب الصوت = عشر ثوان،

∴ زمن ذهاب الصوت = $\frac{10}{2} = 5$ ثوان،

سرعة الصوت = $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} = \frac{1800}{5} = 360$ متراً / الثانية.

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

٢ - 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 -أيضاً-؟ عند انتقالها من وسط لآخر مختلف عنه في الكثافة؟

عند انتقال الموجات الصوتية من وسط ذي كثافة معينة إلى وسط آخر، يختلف

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. ويعرف 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 انحناء الموجات الصوتية من 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، كما يتضح من الشكل (٩) فإن حيود الموجات الصوتية يتوقف على علاقة الطول الموجي للصوت باتساع فتحة الباب (الحاجز).



شكل (٩)

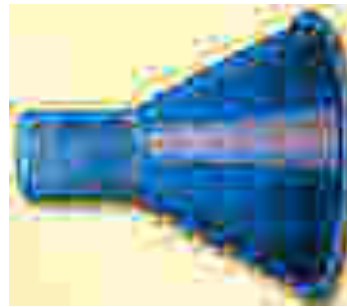
فكلما اتسعت الفتحة استطاعت الموجة
الحفاظ على شكلها، وكلما ضاقت الفتحة
أدى ذلك إلى انتشار الموجات في منطقة
أوسع خلف الحاجز.

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؟

٣- تَبَثُّ 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 المنشآت 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 بعد السحب عن الأرض يحدث التي يحدث فيها البرق والرعد في الوقت نفسه، ولكن لأن 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.

وباستخدام ساعة إيقاف يتم حساب الزمن (ز) بين 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.



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

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

- ١ - ما المقصود بحاصل ضرب التردد $\times$ الطول الموجي؟
أ - التداخل. ب - سرعة الصوت.
ج - الصدى. د - الحيود.
- ٢ - ماذا نعني بالمسافة بين مركزي تضاعطين متتالين، أو مركزي تخلخلين متتالين؟
أ - التردد. ب - انعكاس الموجات الصوتية.
ج - الطول الموجي. د - سرعة الموجات الصوتية.
- ٣ - ماذا نسمى ظاهرة إعادة سماع الصوت الأصلي بعد انعكاسه؟
أ - انكسار الموجات الصوتية. ب - حيود الموجات الصوتية.
ج - الموجة الطولية. د - الصدى.

السؤال الثالث: علل:

- ١ - يسمع الصدى في قاعة كبيرة، ولا يسمع 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 كرية مركزها مصدر الصوت.
- ٢ - كيفية انعكاس الموجات الصوتية.
- ٣ - حيود الموجات الصوتية يتغير بتغير اتساع فتحة الحاجز.

تابع تقويم الوحدة

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 .	معامل ينج نيوتن/م ^٢ .
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 $\lambda \times f$ تعني: أ - الطول الموجي. ب - سعة الاهتزازة.
ج - 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.
ج - (٠,٨) ذ/ث. د - (٠,٨) ذ/ث.
٣ - محطة إذاعية تبث برامجها على موجات لاسلكية طول كل منها (٣٠) متراً بذبذبة قدرها (٣١٠) كيلو هيرتز؛ فما سرعة انتشار تلك الموجات؟
أ - ٣×١٠^٧ م/ث. ب - ٣×١٠^٣ م/ث.
ج - ٣×١٠^٤ م/ث. د - ٣×١٠^٢ م/ث.

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.



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 (القشري - الرنيني - الحر) - الإضاءة - الديسبل - التلوث الضوضائي - الضربات - ظاهرة دوبلر.
 - 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.

- ٧ - يبين عملياً العوامل التي يعتمد عليها تردد الوتر المهتز.
- ٨ - يفرق بين النغمات الصوتية ونوع الصوت.
- ٩ - يصف مع الرسم الصندوق الرنان، والصونومتر.
- ١٠ - يجد 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 - يوجد سرعة الصوت في الهواء باستخدام الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة والمفتوحة.
- ١٤ - يذكر أنواع الآلات الموسيقية.
- ١٥ - يحل المسائل المتعلقة بهذه الوحدة.

مميزات النغمات الصوتية

عند طرق شوكة رنانة يهتز فرعها 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.

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

١ - درجة الصوت

٢ - شدة الصوت

٣ - نوع الصوت

النشاط (١)

١ - أحضر خيطاً بلاستيكياً (وتر)، ثم اربطه بين مسمارين بحيث يكون مرتخياً كما في الشكل (١/أ)، شكل (١).

- اجذبه من منتصفه ثم اتركه واستمع إلى النغمة الصوتية الصادرة.
- ٢ - أجعل الوتر مشدوداً بين المسمارين 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 أذكر 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: تردد نغمة الصوت تتناسب طردياً مع تردد مصدرها ويكون الصوت أرفع كلما زاد تردده.

٢- 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.



شكل (٢)

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

٢ - أطرق 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 تعبر 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:

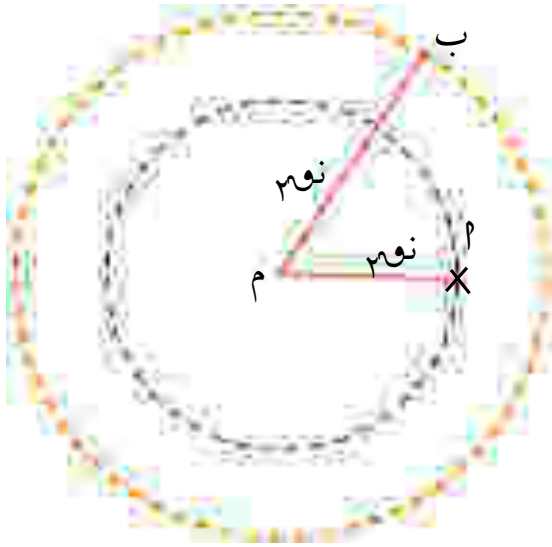
١ - المسافة بين مصدر الصوت والنقطة التي يصل إليها الصوت (السامع):

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(طا) كمية الطاقة الصوتية الساقطة في جميع الاتجاهات على سطح الكرة في الثانية الواحدة فإن:

شكل (٣)

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



وفي الشكل (٤) تتوزع الطاقة (طا) بانتظام على سطح كرة نصف قطرها = r_1

∴ شدة الصوت عند النقطة (٢)

$$ش_1 = \frac{طا}{4\pi r_1^2} \dots\dots\dots (١)$$

كما تتوزع الطاقة (طا) بانتظام على سطح كرة نصف قطرها = r_2

شدة الصوت (ش) عند النقطة (ب)

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

..... (٢)

$$ش_2 = \frac{طا}{4\pi r_2^2}$$

..... (٣)

$$\frac{ش_1}{ش_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

من (١، ٢) نجد أن:

فإذا كان (r_1) = ف بعد النقطة (٢) عن المصدر (م)

و (r_2) = ف بعد النقطة (ب) عن المصدر (م)

فإن:

..... (٤)

$$\frac{ش_1}{ش_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

ومن العلاقة (٤) نجد أن:

شدة الصوت تتناسب عكسياً مع مربع بعد النقطة عن المصدر

$$\therefore ش \propto \frac{1}{r^2} \dots\dots\dots (٥)$$

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).

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 توزيع الهواء. ما تفسيرك لذلك؟ وما علاقة ذلك بكثافة الهواء؟
ولتوضيح العلاقة بين شدة الصوت وكثافة الوسط الناقل نفذ النشاط التالي:



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



أجذب وترّاً 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.

وتفسير ذلك أنه كلما زادت سعة اهتزازة الجسم المهتز زاد مقدار الشغل أي الطاقة اللازمة لإحداث تلك الاهتزازة، ويتنقل 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 بُتَّ بالتجربة أن شدة الصوت تتناسب طردياً مع مربع سعة الاهتزازة.

٤- مساحة السطح المهتز:



أطرق شوكة رنانة واستمع إلى الصوت الصادر عنها، ثم أطرق 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؟

ونستنتج 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:

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

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

من العلاقة السابقة نجد أن

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

وات^٢م وهي الوحدة العملية لقياس شدة الصوت. وتقاس شدة الأصوات العادية بوحدة أصغر هي الميكرووات لكل متر مربع (واحد وات = ١٠^٦ ميكرووات) 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 = $\frac{1}{10}$ (بل)، وهي وحدة قياس علو الصوت نسبة إلى العالم جراهام بل.
جدول يوضح شدة الصوت ومنسوبه لمصادر مختلفة.

مصدر الصوت	شدة الصوت (واط/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

٢- 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 ستعرف عليها لاحقاً) فقط بل تعطي أيضاً عدداً من النغمات التوافقية. وهذه النغمات هي التي تميز بين النغمات الأساسية المتماثلة في الدرجة والشدة. على ذلك فإن نوع الصوت يعتمد على شدة وطبيعة وعدد النغمات التوافقية المصاحبة للنغمة الأساسية.

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

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 الصغير الاتصال بالعالم الجديد من حوله.

ويختلف الناس في قدرتهم على سماع الأصوات، فإذا ضعف السمع لدى البعض لأي سبب من الأسباب قلت حساسية آذانهم لسماع الأصوات بدرجة أقل من الشخص العادي، ولكن معظم الناس يتفقدون تقريباً في شدة الصوت الذي يمكن أن يسمع بالكاد، وكذلك في شدة الصوت الذي يسبب الألم للأذن. إذن 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.

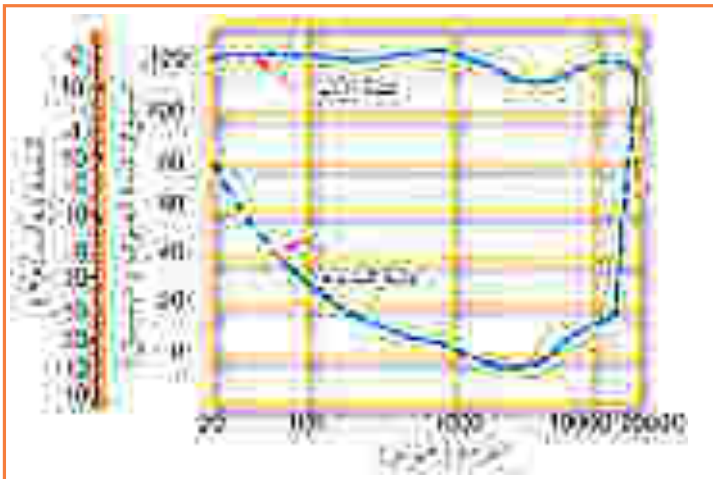
ومعظم الناس لا يستطيعون سماع الموجات الصوتية في الهواء التي يزيد ترددها عن حوالي (٢٠٠٠٠) هيرتز وتسمى الموجات التي يزيد ترددها عن هذه القيمة بالموجات فوق السمعية، ويتم توليدها بطرق معينة.



شكل (٥) مدى الموجات المسموعة للأذن البشرية

وبالمثل لا تستطيع الإذن 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 التردد مع شدة الصوت



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 (10^{-12}) وات/م² وهو أضعف الأصوات التي تحس بها الأذن البشرية. وتكون حساسية الأذن للأصوات أكبر ما يمكن عندما تقع الترددات في المدى المحصور بين (٦٠٠-٧٠٠) 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 (٨) جهاز الموجات فوق الصوتية



شكل (٧) كلى أخذت بجهاز 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.

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.

نشاط إضافي :

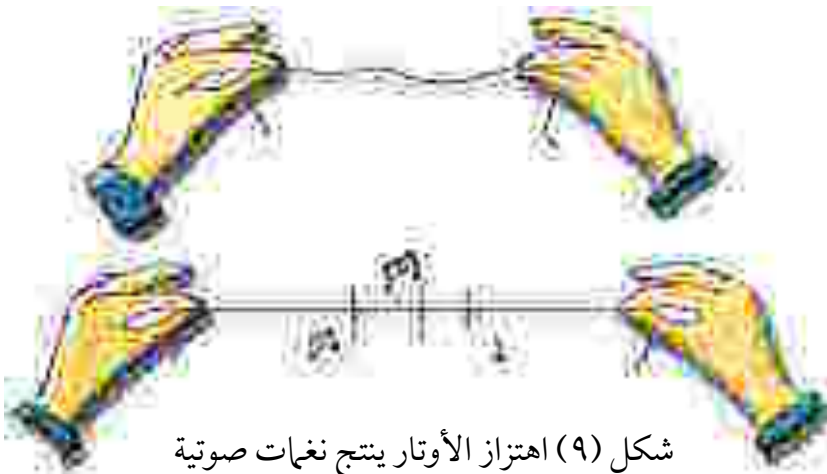
قم بزيارة إلى إحدى المستشفيات أو العيادات أو المراكز الصحية للتعرف على الجهاز الذي يولد الموجات فوق السمعية وعلى مجالات استخدامه في الطب.

الضربات : 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.



- 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 الققط.

الموجات الموقوفة أو الساكنة: Standing or Stationary Waves

لتوضيح معنى الموجات الموقوفة نفذ النشاط التالي:

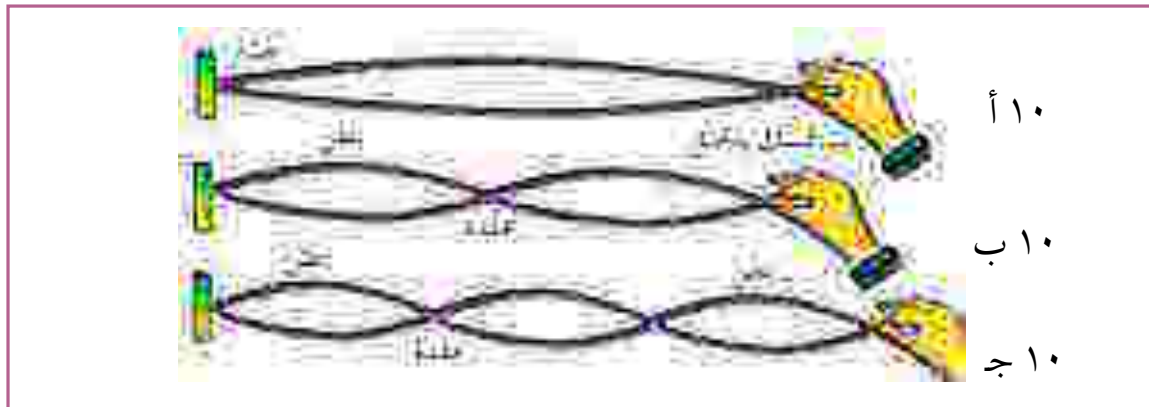


- أحضر حبلاً طويلاً (حوالي ٤ متر) وثبت أحد طرفية في جدار، ثم شده من الطرف الآخر أفقياً.

- 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، أنظر الشكل (١٠ أ).

- غير سرعة حركة يدك ولاحظ شكل الحبل ثم قارنه بالشكل (١٠ ب ثم ١٠ ج).

- تلاحظ أن الحبل ينقسم إلى مجموعة من البطون يفصل بينها نقاط ثابتة تسمى عقد. ويمكن الحصول على نفس النمط من الموجات في زنبك مشدود أو وتر مهتز.



شكل (١٠)

أنواع الموجات الصادرة عن اهتزاز الوتر:



شكل (١٢)

ج

شكل (١١)



عند ضرب الوتر من منتصفه (ج) 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 متساويتان في التردد ومتعاكستان في الاتجاه فينتج عن تداخلهما موجات ساكنة (أو موقوفة) شكل (١٢) وتتكون البطون (Antinodes) نتيجة التداخل البناء في حين تتكون العقد (Nodes) نتيجة التداخل الهدام وعندما يكون طول الوتر مساوياً لنصف طول الموجه 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:



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

شكل (١٣) المصوات (الصونومتر)

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).

تجربة (١): لدراسة 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.

أي أن: $f \propto \frac{1}{L}$

$\therefore f \times L = \text{مقدار ثابت أو}$ $\frac{f_1 L_1}{f_2 L_2} = 1$

$\therefore f_1 L_1 = f_2 L_2 \dots\dots (٧)$

شكل (١٤)

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

(قم بإجراء التجربة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية).

تدل التجربة بأن العلاقة البيانية بين قوة الشد (س) ومربع تردد الوتر (f^2)

هي علاقة خطية طردية كما يوضحها الشكل (١٥)

أي أن: $f^2 \propto S$ ومنه $f \propto \sqrt{S}$

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

$\therefore \frac{f_1^2}{f_2^2} = \frac{S_1}{S_2} \dots\dots\dots (٨)$

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

(قم بإجراء التجربة في كراس الأنشطة والتجارب العملية).

فقد وجد أن العلاقة البيانية بين (f^2) و $\frac{1}{L}$ هي علاقة خطية (طرديّة)

شكل (١٦)

كما يوضحها الشكل (١٦).

$$\frac{1}{L} \propto f^2$$

أو $f \propto \sqrt{L}$ = مقدار ثابت.

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

(٩)

$$\therefore \frac{1}{L} \propto f^2 \Rightarrow \frac{1}{L} = \frac{f^2}{K}$$

القانون العام لاهتزاز الأوتار :

بما أن $f \propto \frac{1}{L}$ عند ثبوت S ، K . و $f \propto \sqrt{S}$ عند ثبوت L ، K

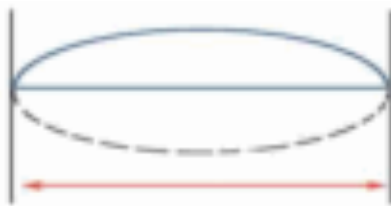
وكذلك $f \propto \sqrt{\frac{1}{L}}$ عند ثبوت L ، S

$$\therefore f \propto \frac{1}{L} \sqrt{S}$$

$$f = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{S}{K}} \times \text{مقدار ثابت}$$

ولقد وجد أن هذا المقدار الثابت $= \frac{1}{4}$ وذلك عندما يصدر الوتر نغمته الأساسية والتي

تكون من بطن (واحد) عند منتصفه وعقدتين عند نهايته، والبعد بين العقدتين يساوي نصف طول موجه. أي أن:



شكل (١٧) $L = \lambda$

(١٠)

$$f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{S}{K}}$$

(حيث $L = \lambda$ انظر الشكل ١٧)

أمثلة محلولة

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

الحل:

$$\therefore f_1 \times L_1 = f_2 \times L_2$$

$$\therefore 500 \times 50 = 100 \times f_2$$

$$\therefore f_2 = \frac{50 \times 500}{100} = 250 \text{ هيرتز}$$

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

الحل:

$$\therefore \frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \quad \therefore \frac{256}{768} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

باستخدام الآلة الحاسبة

$$\therefore L_2 = \frac{768 \times 256}{20} = 9830.4 \text{ نيوتن}$$

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

الحل:

$$f_1 \sqrt{\frac{L_1}{K_1}} = f_2 \sqrt{\frac{L_2}{K_2}}$$

$$\therefore f_1 = f_2 \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} \quad \therefore 200 = f_2 \sqrt{\frac{0.02}{0.08}} \quad \therefore f_2 = 400 \text{ ذ/ث}$$

مثال (٤): وتر طوله ٨ متر وكتلته ٠,٠٠٥ كجم شد بتعليق كتلة في أحد طرفيه مقدارها ٥ كجم.

أحسب تردد النغمة الأساسية التي يصدرها الوتر.

الحل: $L = 8 \text{ م}$ ، $K = 5 \text{ كجم}$

كتلة الوتر = $10 \times 5^{-4} \text{ كجم}$

$$= \text{كتلة وحدة الأطوال منه (ك)} = \frac{5 \times 10^{-4}}{8} = \frac{5}{8} \times 10^{-3} \text{ كجم/م}$$

قوة الشد (س) = $9,8 \times 5 = 49,0$ نيوتن
 (حيث $9,8$ = عجلة السقوط الحر) وقوة الشد (س) = $ك \times g$
 من القانون العام لاهتزاز الأوتار:

$$\sqrt{\frac{49 \times 8 \times 49}{50}} \sqrt{\frac{1}{1,6}} = \sqrt{\frac{49}{3 - 10 \times \frac{5}{8}}} \sqrt{\frac{1}{2 \times 8}} = \sqrt{\frac{س}{ك}} \sqrt{\frac{1}{ل}} = f$$

هيرتز ١٧٥ =

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.
 ولتوضيح أكثر قم بالنشاط الآتي:

النشاط (٧)

تحتاج لإجراء هذا النشاط إلى شوكة رنانة وكرة البيلسان معلقة في حامل.
 ١ - أطرق الشوكة الرنانة ولامس أحد فرعيها كرة البيلسان المعلقة في الحامل كما في الشكل (١٨).



شكل (١٨)

- ماذا تسمع؟ وماذا تشاهد؟

٢ - أمسك فرعي الشوكة الرنانة المهتزة.

- هل تسمع صوتاً؟

- ماذا يحدث لكرة البيلسان؟

إن اهتزاز الشوكة الرنانة أحدث صوتاً بسبب اهتزاز كرة نخاع البيلسان وهذا ما يعرف بالرنين أو الاهتزاز الرنيني.

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 آخر لحدوث الرنين هو الأرجوحة فإذا أردنا أن ندفع طفلاً في أرجوحة فإننا لا نحتاج إلى قوة كبيرة لدفع الأرجوحة بل في الامكان 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:

النشاط (٨)

١ - الاهتزاز القسري: Forced Vibration

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؟

أنك 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 مضطربة 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: Resonant Vibration

النشاط (٩)

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

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).
 ٣- أطرق الشوكة الرنانة (أ). ماذا تلاحظ؟
 ٤- أمسك فرعي الشوكة الرنانة (أ) لتوقفها من الاهتزاز.
 ماذا حدث للشوكة الثانية (ب)؟

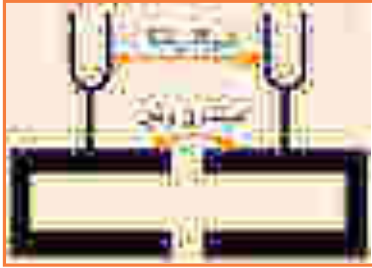


شكل (١٩)

تلاحظ أن الشوكة الثانية (ب) 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: Closed Air Columns

٢- الأعمدة الهوائية المفتوحة: Open Air Columns

وسنبدأ هنا بدراسة الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة أولاً والأعمدة المغلقة هي

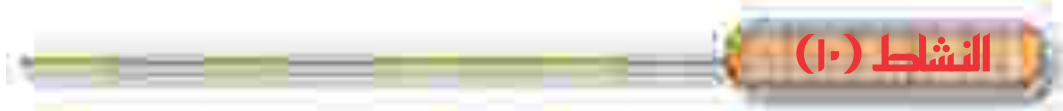


أعمدة هوائية تكون مغلقة من أحد الطرفين ومفتوحة من الطرف الآخر وتصمم بتصاميم مختلفة لدراسة الرنين. حيث يمكن التحكم في طول العمود الهوائي وذلك عن طريق التحكم في مستوى سطح الماء أو أي سائل آخر داخل الأنبوب المستخدم شكل (٢١).

شكل (٢١) أنابيب هوائية مغلقة من أحد الطرفين

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:



تحتاج لتنفيذ هذا النشاط الأدوات الآتية:

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

١ - أطرق 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؟

أنك 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 وجد العلاقة

بين تردد العمود المهتز وطوله عملياً.



شكل (٢٢)

-تفسير حدوث الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة.

لتفسير حدوث الرنين أنظر إلى الشكل (٢٣ / أ) فعند تقريب فرع الشوكة إلى



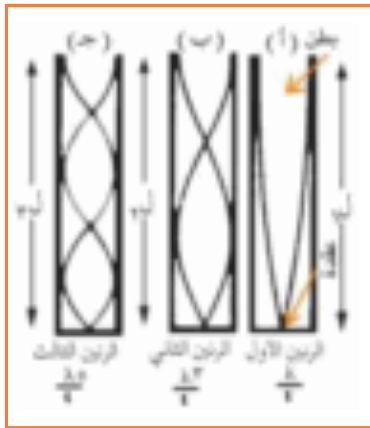
شكل (٢٣).

الفوهة فإن فرعها (س) يضغط على الهواء بالقرب من الفوهة فيولد نبضة تضغط تسري خلال الأنبوبة إلى قعرها فتعكس هذه النبضة إلى أعلى حتى تصل إلى الفوهة فتندفع جزيئات الهواء إلى الخارج ويحدث تخلخل في طبقات

الهواء عند الفوهة شكل (٢٣ ب)، 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 (٢٣ ج).

النفقات الأساسية والنفقات التوافقية: Fundamental and Harmonic Tones

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 التضغط في الأنبوب ذهاباً وإياباً كما في الموجات الموقوفة. فإذا كان طول العمود الهوائي الذي أحدث الرنين = (ل)، وطول الموجه الصادرة عن الشوكة الرنانة هي (ل) فإن:



شكل (٢٤) .

$$ل = \frac{١\lambda}{٤}$$

$$\therefore ٤ل = ١\lambda \dots\dots\dots (١١)$$

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

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

$$L = \frac{2\lambda_3}{4} \dots\dots\dots (21).$$

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

$$L = \frac{3\lambda_5}{4} \dots\dots\dots (13).$$

وهكذا فبشكل عام يحسب طول العمود الهوائي (لن) داخل الأنابيب المغلقة في حالة الرنين من العلاقة:

$$L = \frac{\lambda_n}{4} (2n - 1) \dots\dots\dots (14).$$

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

فمن أجل ن = ١ نحصل على المعادلة (١١)

من أجل ن = ٢ نحصل على المعادلة (١٢)

وباعطى (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 = ١٥ سم ، $\lambda = ?$

من أجل الرنين الأول يكون ن = ١ وبالتعويض في العلاقة (١٤) نجد أن:

$$L = \frac{\lambda}{4} \text{ ومنه}$$

$$\lambda = 4L \text{ لأن العمود مغلق.}$$

$$\therefore \lambda = 4 \times 15 \text{ سم}$$

$$= 60 \text{ سم.}$$

تصحيح النهاية في قياس الأعمدة الهوائية المغلقة:

لقد أوجدنا العلاقة بين طول العمود الهوائي المغلق الذي يحدث عنده الصوت

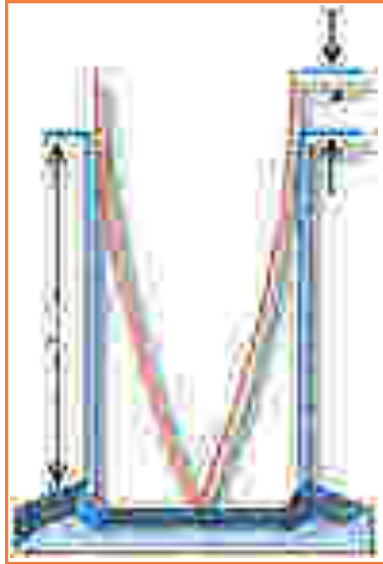
والطول الموجي، وتردد النغمة الأساسية إلا أن هذا الحساب ليس دقيقاً إذ أنه عند الطرف المفتوح للأنبوبة تندفع جزيئات الهواء نحو الخارج قليلاً أي أن البطن تتكون خارج الطرف لمسافة صغيرة (هـ) شكل (٢٥) وقد وجد عملياً أن مقدار الخطأ هذا يتناسب طردياً مع قطر العمود المستخدم في التجربة وقد وجد أنه يساوي ٠,٦ من نصف قطر العمود . وكلما صغر نصف قطر الأنبوبة كلما قل مقدار تصحيح النهاية وعلى ذلك يكون:

$$\frac{\lambda}{4} = \text{الطول الصحيح للعمود الهوائي المغلق} = (ل + ٠,٦ \text{ نو})$$

$$\therefore \lambda = 4 \times \text{الطول الصحيح للعمود الهوائي المغلق}$$

$$\therefore \lambda = 4(ل + ٠,٦ \text{ نو}) \dots\dots\dots (١٥)$$

ويمكن التخلص من الخطأ بإيجاد الفرق بين طولي عمود الهواء في رنينين متتاليين كالآتي:



∴ طول العمود الهوائي المغلق للرنين الأول بعد

$$\text{التصحيح} = ل + ٠,٦ \text{ نو} = \frac{\lambda}{4} \dots\dots\dots (١٦)$$

حيث هـ = ٠,٦ نو ،

طول العمود الهوائي المغلق للرنين الثاني بعد

$$\text{التصحيح} = ل + ٢,٦ \text{ نو} = \frac{3\lambda}{4} \dots\dots\dots (١٧)$$

وبطرح المعادلة (١٦) من المعادلة (١٧)

$$\therefore (ل + ٢,٦ \text{ نو}) - (ل + ٠,٦ \text{ نو}) = \frac{3\lambda}{4} - \frac{\lambda}{4}$$

$$٢ \text{ نو} = \frac{2\lambda}{4}$$

$$\therefore \lambda = ٢(٢ \text{ نو}) \dots\dots\dots (١٨)$$

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، ولتوضيح الآلية لهذا العمل قم بالنشاط التالي:

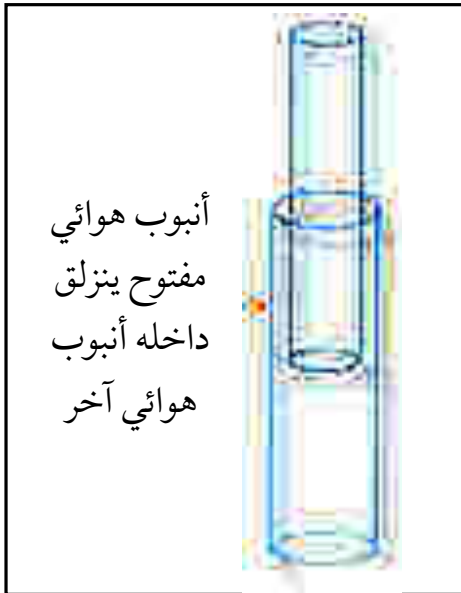


شكل (٢٦)

- ١- املأ المخبر بالماء حتى حافته.
 - ٢- ضع الأنبوبة المفتوحة الطرفين داخل المخبر.
 - ٣- أغمر الأنبوبة حتى يصبح طرفها (٢) قريباً من سطح الماء في المخبر.
 - ٤- اطرق الشوكة الرنانة وقربها من فوهة الأنبوبة.
 - ٥- ارفع الأنبوبة تدريجياً حتى يحدث أقوى رنين.
 - ٦- قس طول العمود الهوائي وليكن L .
 - ٧- قس قطر المخبر بالمسطرة ومنه عين نصف القطر (نو).
 - ٨- أوجد الطول الصحيح لأقصر عمود هوائي مغلق من الآتي:
الطول الصحيح لأقصر عمود هوائي $(L + \frac{1}{2} \lambda, 0, \lambda)$.
 - ٩- أوجد سرعة الصوت من القانون $v = \lambda f$ (التردد) $\times \lambda$ (نو).
- ويمكن حساب سرعة الصوت أو حساب التردد (باهمال تصحيح النهاية لأنه مقداراً صغيراً) كالآتي:

$$\lambda \times f = v \quad \therefore \quad 2 \times f = v \quad \therefore \quad f = \frac{v}{2} \quad \therefore \quad f = \frac{v}{2(L - \frac{1}{2}\lambda)}$$

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).

العلاقة بين تردد العمود الهوائي المفتوح وطوله:

النشاط (١٢)

- لإيجاد العلاقة بين تردد العمود الهوائي المفتوح وطوله فإنك تحتاج الأدوات الآتية:
أنبوبتين مفتوحتي الطرفين تنزلق إحداهما بالآخرى، ومسطرة، وشوكة رنانة وحامل.
١ - أدخل الأنبوبة الصغرى في الأنبوبة الكبرى بحيث يصير العمود الهوائي المفتوح أقصر ما يمكن وثبتهما على حامل كما في الشكل: (٢٨).
٢ - أطرق شوكة رنانة معلومة التردد (f) وقربها من فتحة الأنبوبة ثم اسحب الأنبوبة



شكل (٢٨)

- الكبرى تدريجياً ليزداد طول العمود الهوائي حتى تسمع أقوى صوت ماذا تسمي هذه الظاهرة؟
٣ - قس بالمسطرة طول العمود الهوائي (ل). ويكون تردد العمود الهوائي المفتوح يساوي تردد الشوكة الرنانة.
الآن عد إلى كراس التجارب العملية وجد العلاقة بين تردد العمود الهوائي المغلق 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 (٢٩ ب) نحو الفوهة القريبة من فرع الشوكة الرنانة فينعكس على شكل نبضة تضاغط شكل (٢٩ ج)

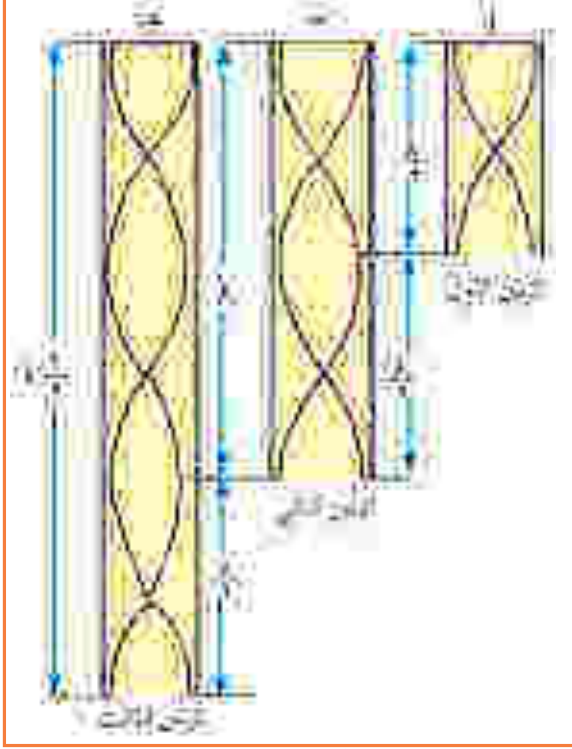


شكل (٢٩)

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 فيحدث الرنين.

النفقات الأساسية والنفقات 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 الشبكة الرنانة ذبذبة كاملة. فإذا كان طول العمود الهوائي الذي أحدث الرنين هو l ، فإن المسافة بين بطنين متتاليين تساوي ضعف طول الموجه أي أن:



شكل (٣٠)

$$\frac{\lambda}{2} = l \quad \therefore \boxed{\lambda = 2l} \quad \dots\dots (١٩)$$

وأما النغمة التوافقية الأولى (الرنين الثاني) فإنه يحدث عندما يتكون داخل العمود الهوائي عقدتان وثلاث بطون شكل (٣٠-ب) أي:

$$\frac{2\lambda}{2} = l \quad \therefore \boxed{\lambda = l} \quad \dots\dots (٢٠)$$

ويحدث الرنين الثالث (النغمة التوافقية الثانية) عندما يتكون داخل العمود الهوائي ثلاث عقد وأربعة

بطون كما في الشكل (٣٠-ج) وفي هذه الحالة فإن: $l = \frac{3\lambda}{2}$

$$\therefore \boxed{\lambda = \frac{2}{3}l} \quad \dots\dots (٢١)$$

وبشكل عام يحدث الرنين داخل الأعمدة الهوائية المفتوحة عندما يكون طول العمود

$$l = n \frac{\lambda}{2} \quad \dots\dots (٢٢) \quad \text{الهوائي (ل)}$$

(حيث n عدد صحيح موجب).

ويحسب عدد الموجات الواقفة داخل الأنبوب من العلاقة:

$$\lambda_n = \frac{2l}{n} \quad \dots\dots (٢٣)$$

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 = ٦, ٠ نو، ؛
وعلى ذلك يكون الطول الصحيح للعمود الهوائي المفتوح للرنين الأول:

$$ل = هـ + ١, ٠ نو$$

$$ل = ٦, ٠ نو + ٦, ٠ نو$$

$$ل = ١, ٢ نو$$

∴ $ل = ١, ٢ نو$ (حيث ل الطول الصحيح للعمود الهوائي المفتوح للرنين الأول)

$$∴ ٢ = ١, ٢ نو + ل \quad (٢٤) \dots \dots \dots$$

حيث (نو) نصف القطر الداخلي للعمود الهوائي المفتوح.



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:

$$∴ ٢ \times \text{الطول الصحيح لأقصر عمود هوائي مفتوح} = \lambda$$

$$∴ ٢ = \lambda \quad (ل + ١, ٢ نو)$$

$$∴ ع = \lambda \times f$$

$$∴ ع = \lambda \times f \quad (ل + ١, ٢ نو) \quad (٢٤) \dots \dots \dots$$

مثال (٦): حدث الرنين الأول في عمود هوائي مغلق عندما كان طوله ٤٦ سم، وحدث

الرنين الثاني عندما أصبح طول العمود الهوائي ٩٦ سم. فإذا كان تردد الشوكة

المستخدمة في التجربة في الحالتين ٣٢٠ ذ/ث. أحسب سرعة الصوت في

الهواء دون العودة لحساب تصحيح النهاية.

الحل:

$$\begin{aligned} \lambda &= 320 \text{ ذ/ث} , \quad \lambda = 96 \text{ سم} , \quad \lambda = 46 \text{ سم} , \quad \lambda = 96 \text{ سم} , \quad \lambda = 46 \text{ سم} \\ \therefore f &= \frac{v}{\lambda} = \frac{320}{96 - 46} = 10 \text{ سم/ث} \end{aligned}$$

$$320 \times 2 = (96 - 46) \times 2 = 100 \text{ سم/ث} = 320 \text{ م/ث}.$$

الألات الموسيقية Musical Instruments

يوجد أربعة أنواع من الآلات الموسيقية وهي:

الوترية، وآلات النفخ، والقرع، والآلات الالكترونية وهذه الآلات تنتج اهتزازات بأشكال منتظمة، تحصل الآلات الالكترونية 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.



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

شكل (٣١) صورة للكمنجة الصغيرة والكبيرة والجيتار.

الترددات لذلك من الممكن إصدار رنين نغمات موسيقية مختلفة.

يعتمد درجة صوت أو تردد الصوت الحادث بواسطة اهتزاز الوتر على طول وسمك ودرجة الوتر. فنجد مثلاً أن الكمنجة أو الجيتار أو الكمنجة الكبيرة شكل (٣١) لها أوتار ذات سمك مختلف فتصدر النغمة الحقيقية تصدر من أكبر الأوتار سمكاً والنغمات العالية تصدر بواسطة أدق وتر.

إن شد الوتر بقوة يجعله يصدر أصواتاً مرتفعة، والإرخاء يجعله يصدر أصواتاً منخفضة، ولجعل الجيتار أو أي آلة أخرى موسيقية تصدر نغمة معينة فإن العازف

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 طويلاً كلما كان الصوت منخفضاً، وكلما كان العمود الهوائي قصيراً كلما كانت الصوت مرتفعاً. وتساعد مفاتيح غلق وفتح الثقوب الموجودة على البوق العازف على التحكم في طول العمود الهوائي كما في الشكل (٣٢). أما آلات النفخ الأخرى كالربوب 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 الطبل والأكسيلوفون شكل (٣٣).

أما الآلات الموسيقية الإلكترونية فهي أنواع حديثة من الآلات اخترعت 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 (٣٤)



شكل (٣٢)



شكل (٣٣)

تقويم الوحدة

س ١: 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

س ٢: أي العبارات التالية صواب وأيها خطأ - حدد ذلك بين القوسين:

- ١- تهتز جزيئات الوسط الناقل للأمواج الصوتية بحركة 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 ()

س ٣: أختَر الإجابة الصحيحة بوضع الإشارة (✓) أمامها

- ١- ما تردد وتر طوله متران مع العلم أنه يصدر نغمة ترددها ٢٥٠ هيرتز عندما كان طوله ١٠٠ سم:

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| (أ) ٢٥٠ هيرتز . () | (ج) ٢٠٠ هيرتز . () |
| (ب) ٢٢٥ هيرتز . () | (د) ١٢٥ هيرتز . () |

- ٢- وتر طوله ١٠٠ سم وكتلته ٤ جم ، ومشدود بقوة مقدارها ٩ ثقل كيلوجرام . أحسب تردد نغمته الأساسية، مع العلم أن عجلة الجاذبية الأرضية = ١٠ م/ث^٢ :

- | | |
|---------------------|---------------------|
| (أ) ١٥٠ ذ/ث . () | (ب) ١٠٠ ذ/ث . () |
| (ج) ٧٥ ذ/ث . () | (د) ٥٠ ذ/ث . () |

- س ٤: ما معنى قولنا أن النسبة بين شدة الصوت للحديث العادي وأدنى حد للصوت المسموع تساوي (٧٠) ديسيبل .

- س ٥: ما العوامل التي يعتمد عليها تردد الوتر المهتز مع إثبات ذلك عملياً ورياضياً .

تابع تقويم الوحدة

- س٦: وضح معنى الموجات الموقوفة مع الرسم.
- س٧: مما يتركب الصونومتر وفيما يستخدم وضح ذلك عملياً.
- س٨: اختر الإجابة الصحيحة بين الإجابات:
- ١ - اهتزاز الجسم بتردده الطبيعي يعرف بـ:
- أ) الاهتزاز الرنيني () . ب) الاهتزاز القسري () .
- ج) الاهتزاز الحر () . د) لا شيء مما سبق () .
- ٢ - إذا تكوّن داخل العمود الهوائي المغلق بطنان وعقدتان فإن النغمة تكون:
- أ) أساسية () . ب) توافقية أولى () .
- ج) توافقية ثانية () . د) جميع ما ذكر () .
- ٣ - إذا كان طول العمود الهوائي المغلق الذي يحدث النغمة التوافقية الثالثة هو ١٥ سم فإن طول الموجة تساوي:
- أ) ١٢ سم () . ب) ٤/٣ سم () .
- ج) ٦٠ سم () . د) ٥ سم () .
- س٩: أ - أحسب طول أقصر عمود هوائي مغلق ثم مفتوح يحدث رنيناً مع شوكة رنانة ترددها ٣٢٠ ذ/ث علماً بأن سرعة الصوت في الهواء ٣٢٠ م/ث.
- ب - أحسب طول العمود في الحالتين عندما يكون نصف قطر الأنبوبة ٥ سم.
- ج - أحسب الطول المقاس لأقصر عمود هوائي مغلق يحدث رنيناً مع شوكة رنانة ترددها ٥١٢ ذ/ث علماً بأن قطر العمود الهوائي ٥ سم وأن سرعة الصوت في الهواء ٣٢٠ م/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؟

الضوء وأجهزة الإبصار

Light and Optic Sets

الوحدة الخامسة



أهداف الوحدة

- ١- 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 انعكاس الضوء عند سقوطه على الأجسام، وبذكر 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- يعرف كلاً من معامل الانكسار النسبي، والمطلق، وقانون سنل.
 - ٩- يجري تجربة عملية باستخدام المنشور الزجاجي؛ لتحديد زواياه، وكذلك استخدام متوازي الأضلاع الزجاجي؛ لتحديد 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، والعكس.
 - ١٢- يفسر ظاهرة رؤية الأشياء من حوله بألوان مختلفة.

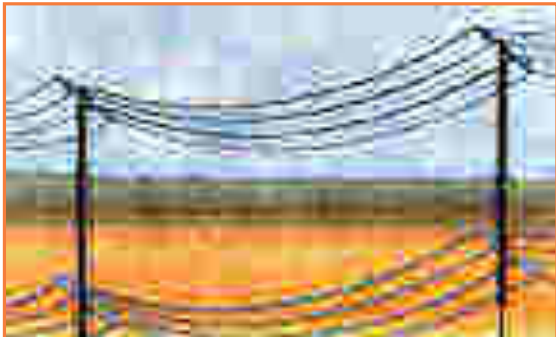
الضوء (Light)

- ما المصدر الرئيس للضوء؟
 - هل يمكن أن تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية؟ كيف يمكن ذلك؟
 - أذكر 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 :



شكل (٢).

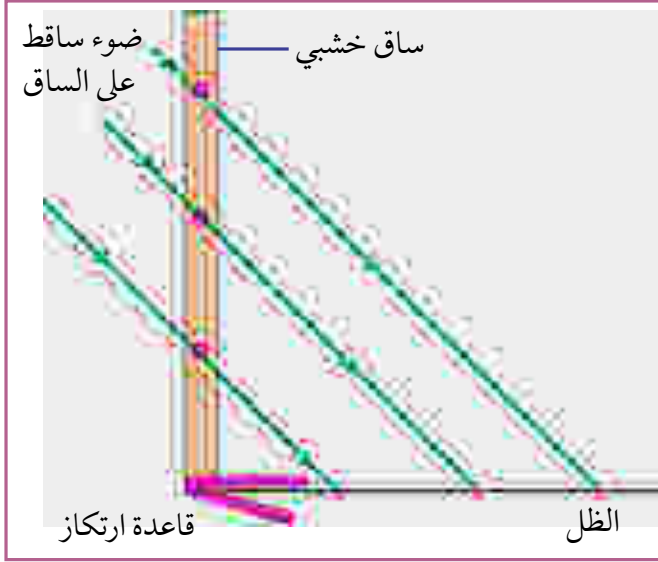


شكل (٣).

- 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؟

قد علمت من دراستك السابقة في الصف الثامن - أن أشعة الضوء تنتشر في خطوط مستقيمة، وأن تكوّن الظل للأجسام خلال يوم مشمس خير دليل على ذلك. وللتأكد من هذا أجر النشاط التالي:

النشاط (١)



شكل (٣)

- ١ - خذ ساقاً خشبياً مستقيماً عليه عدة علامات (مثل مسامير صغيرة) وثبته في وضع رأسي ثم سلط عليه ضوءاً شاملاً شكل (٣).
- ٢ - ثم صل بين العلامات الموجودة على الساق والنقاط المناظرة لها الموجودة في الظل.
- ٣ - النتيجة تحصل على خطوط مستقيمة متوازية (تقريباً).

نستنتج من ذلك إن الضوء يسير في خطوط مستقيمة. وقد اثبت العلماء بأن سرعته تصل إلى حوالي (3×10^8) متر/ث) وهو صورة من صورة الطاقة، وتوصلوا إلى أن له طبيعة مزدوجة، فهو يسلك في مساره سلوك الجسيمات، وسلوكاً موجياً آخر 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 تكوّن خطوطه ظلالاً عند سقوطها على بعض الأجسام، وتنعكس أو تنكسر عندما تسقط على أجسام أخرى، وبعض الأجسام تمتصها؛ فترتفع درجة حرارتها بدرجات متفاوتة.

أمّا أشعة الشمس فلها أطيايف مختلفة الألوان، وقد أمكن تحليلها.

وإذا سألنا السؤال التالي: ممّ 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:

نظرية الجسيمات لنيوتن

أجرى نيوتن العديد من التجارب حول معرفته بسلوك الضوء، وتوصل في اعتقاده 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، وتحرك 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، ولا يزال البحث مستمراً في سلوك الضوء حتى يومنا هذا، ومما سبق استعراضه.

نستنتج أن الضوء له طبيعة مزدوجة فهو يسلك سلوكاً جسيمياً، وسلوكاً موجياً، وهذه الجسيمات الصغيرة جداً تسير بسرعة منتظمة، ولها طاقة حركة، وكمية تحرك، وأنها تتلاشي عندما يوقفها جسم تصطدم به، وتتحول إلى طاقة حرارية، أن الأشعة تطلق سبلاً من الجسيمات الصغيرة جداً تنتقل في خطوط مستقيمة بسرعة تساوي حوالي $(3 \times 10^8 \text{ م/ث})$ ، ولها أطوال موجية مختلفة، وهذا يفسر لنا ما نشاهده من انتقال الضوء في خطوط مستقيمة، وانعكاسه، وانكساره، وتداخله، وحيوده.. إلخ.

الطاقة الضوئية المرئية

عرفنا أن الضوء صورة من صور الطاقة. وينقسم إلى نوعين من الطاقة هما: طاقة مرئية، وطاقة غير مرئية.

والطاقة المرئية هي الضوء المرئي 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، وتردداتها
بوحدة النانومتر؛ حيث (واحد نانومتر = 10^{-9} متر).

جدول (١) يبين ألوان الطيف المرئية، وأطوالها الموجية مقدرة بوحدة (نانومتر).

نوع الاشعاع	مدى (التردد Hz)	ألوان الطيف المرئي		وحدة القياس
		من	إلى	
- أشعة جاما.	٢٤١٠ - ٢٠١٠	٤٠٠	نانومتر	منطقة الأشعة المرئية
- أشعة إكس X	٢٠١٠ - ١٧١٠	٤٥٠	نانومتر	
- فوق البنفسجية.	١٧١٠ - ١٥١٠	٥٥٠	نانومتر	
- الطيف المرئي.	١٤١٠ × ٧, ٥ ١٤١٠ × ٤, ٢	٥٥٠	نانومتر	
- الأشعة تحت الحمراء.	١٤١٠ - ١٣١٠	٦٠٠	نانومتر	
- الموجات المتوسطة.	١٣١٠ - ١٠١٠	٦٥٠	نانومتر	
- موجات الراديو القصيرة.	١١١٠ × ٣ >	٦٥٠	نانومتر	
- موجات الراديو الطويلة.	١١١٠ × ٣ <	٧٠٠	نانومتر	

ويمكن تحليل الضوء الأبيض أو ضوء
الشمس باستخدام المنشور الزجاجي،
وسوف نتناول ذلك لاحقاً.

ملاحظة: يمكن أن يكون كل لون مكون من عدة ألوان مختلفة، ولها أطوال موجية مختلفة؛ إذا
وجدت أجهزة تحليل دقيقة، مثل الأسبكترومتر، وغيره، فقد أمكن تحليل كل لون
لألوان متعددة كل على حدة.
أما الألوان الوحيدة اللون فلا يمكن تحليلها.

شدة الإضاءة، وحدة 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 في أثناء
الظهيرة، وتقلّ هذه الشدة عند الغروب، أو الشروق.

أو الشروق. ويمكن أن نعرّف شدة إضاءة سطح بأنها:

تساوي عدد الجسيمات الضوئية التي تسقط عمودياً على وحدة المساحة من السطح خلال الثانية الواحدة.

ويعبر عن ذلك بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$\text{شدة الإضاءة} = \frac{\text{الفيض الضوئي}}{\text{المساحة}} \quad \text{ليومن/م}^2$$

$$= \frac{\pi \epsilon \text{ ق}}{\pi \epsilon \text{ نو}^2} = \frac{\text{ق}}{\text{نو}^2} \quad \text{ليومن/م}^2 \text{ أو (قنديلة/م}^2 \text{)}$$

$$\therefore \text{ش} = \frac{\text{ق}}{\text{ف}} \dots\dots\dots (1)$$

حيث: (ق) قوة إستضاءة المصدر الضوئي، (ش) شدة الإضاءة ، ف = نو = 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 يعتبر خلية كهروضوئية (Photo-electric cell)، حساسة تتأثر



شكل (٥)

بالضوء، ويتناسب تأثرها ، الذي يبينه المؤشر الرقمي على شاشة الجهاز الشكل (٥)، مع شدة استضاءة سطحها.

يلاحظ من العلاقة (١) أن شدة الاستضاءة (ش) تتناسب طردياً مع قوة المصدر الضوئي، وعكسياً مع مربع المسافة الفاصلة بين المصدر الضوئي، والسطح المضاء.

الوحدة العيارية لقياس قوة إضاءة مصدر

تقاس قوة مصدر ضوئي (ق) بوحدة يطلق عليها «الشمعة» العيارية، أو القنديلة (The Candel).

تعريف الشمعة: هي مصدر ضوئي يتكون من جسم أسود مثالي مساحته $\frac{1}{5 \times 10^6}$

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 واحدة 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 لمعانهم في كبد سماء سوداء مظلمة. وقد أكد ذلك رجال الفضاء في أثناء رحلاتهم إلى الفضاء، وسطح القمر حول الأرض؛ فقد رأوا أن السماء سوداء مظلمة بسبب عدم وجود مادة تسبب تشتت الأشعة الضوئية.

النشاط (٢)

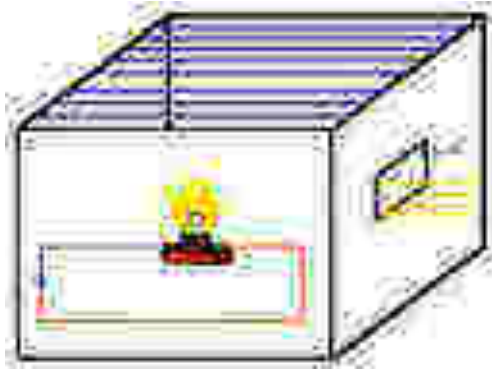
اكتب تقريراً علمياً عن سبب رؤيتنا للأشياء من حولنا من خلال دراستك، ثم ألقه على زملائك في كلمة طابور الصباح، أو انشره في المجلة العلمية الحائطية في المدرسة.

أحضِر 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 التي توضع على شبابيك البيوت، والمنازل اليمينية).

ثم أحضر مصدراً ضوئياً وليكن مصباح كهربائي صغيراً.

١ - ضع المصباح المضيء بداخل الكرتون الورقي شكل (٦)، واثقب في أحد جانبي الكرتون ثقباً مناسباً يسمح بخروج ضوء المصباح، بحيث تكون مساحته مساوية لمساحة الألواح الزجاجية السابقة.

٢ - ضع اللوح الزجاجي الشفاف على الثقب ولاحظ ضوء المصباح.



شكل (٦).

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؟

من النشاط السابق يمكن أن نستنتج ما يلي:

تختلف الأجسام المادية من حيث نفاذيتها 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 ولا تسمح للجزء الآخر بالنفاذ، مثل: الألواح الزجاجية الزهرية، أو الورق المطلي بقليل من الزيت.

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 قزح)، والآن أجب عن السؤال التالي:

- كيف يمكنك الحصول على ضوء أحادي اللون؟
الأجسام التي نستخدمها للحصول على ضوء أحادي اللون، نسميها المرشحات الضوئية.

ربما أنك قد شاهدت أشعة ضوء الشمس إذا نظرت إلى إحدى القمریات المركبة على شبابيك المنازل؛ 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- أحضر 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 الأزرق فإنك ترى باللون الأزرق..

وهذا يدل أن اللوح الأحمر ينتزع كل شيء 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 من الضوء الأبيض ما عدا لونها فتسمح له بالنفاذ خلالها.

- 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 ولتكن 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 (أرتدت)، وجزءاً بسيطاً من الضوء تم امتصاصه.
- وتستغل 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.

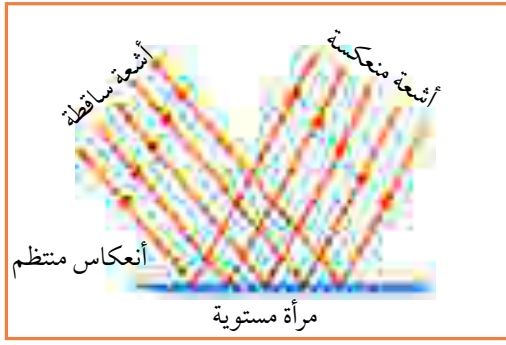
انعكاس الضوء Reflection of Light

مر معنا في السابق بأنه عندما تسقط الأشعة الضوئية على سطوح بعض الأجسام، فإن جزءاً منها يمتص، والجزء الآخر يرتد من على 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 رأينا من حولنا 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 سواء جزئياً أو كلياً بحسب نوع مادة الجسم. والانعكاس نوعان هما:

١- 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).



شكل (٦).



شكل (٧) انعكاس غير منتظم.

وهذا الانعكاس هو الأساس في الرؤية للأشياء.

٢- الانعكاس غير المنتظم (Diffuse Reflection)

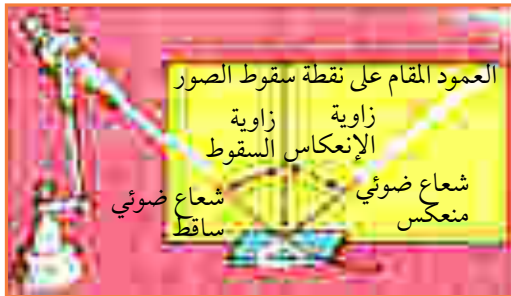
ويحدث هذا النوع من الانعكاس عند سقوط الأشعة الضوئية على سطوح الأجسام الخشنة (غير مصقولة)، مثل: الورق، وسطوح الألواح الخشبية، والجدران... إلخ.

لأن السطح الخشن يتكون من عدة سطوح صغيرة جداً؛ بحيث يحصر كل سطحين متجاورين زاوية معينة؛ ولهذا السبب فالانعكاس الذي يحدث عن هذه السطوح هو انعكاس غير منتظم (متشتت)، والشكل (٧) يبين ذلك.

قانون الانعكاس

القانون الأول:

لاحظ الشكل (٨)



شكل (٨).

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، والشعاع المنعكس تسمى زاوية الانعكاس، وهاتين الزاويتين متساويتين. وهذا يسمى القانون الأول للانعكاس. [أي أن: زاوية السقوط = زاوية الانعكاس].

القانون الثاني:

الشعاع الساقط، والشعاع المنعكس، والعمود على السطح تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس.

- ولإثبات صحة القانونين السابقين: (أنظر دليل الأنشطة، والتجارب 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:



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.

الانعكاس على السطوح الكروية (المرايا الكروية)

ذكر - 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 صفرًا، وزاوية الانعكاس تساوي صفرًا كذلك ولهذا فالشعاع الساقط عمودياً ينعكس على نفسه.

والآن نستعرض انعكاس الضوء الساقط على المرايا الكروية، وندرس القانون العام للمرايا. وتكوّن الصور.

● القانون العام للمرايا الكروية:

المرايا الكرية 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 المرايا المحدبة



شكل (١١) المرآة المحدبة (مشتتة).



شكل (١٠) المرآة المقعرة (اللامعة).

استنتاج القانون العام للمرايا الكروية رياضياً

قبل أن نبدأ باستنتاج القانون لابد لنا من عرض بعض التعاريف الخاصة بالمرايا والأشعة
الضوئية الساقطة عليها، والمنعكسة، ومن هذه التعاريف ما يلي:

- 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.
ارجع إلى الشكل (٨) السابق؛ لاستيعاب التعاريف المذكورة.

استنتاج القانون للمرايا المقعرة (لامعة) رياضياً

من الشكل (١٢)، يسمى (ق) قطب المرآة، الخط (م ق) هو نصف قطر تكور المرآة (نوه)،
(٢ ج) طول الجسم (ل)، (١ ج) طول الصورة (ل) المتكونة للجسم.
والرقم (١) زاوية السقوط للشعاع الضوئي الساقط، (٢) زاوية انعكاس الشعاع، (ص)
بعد الصورة المتكونة عن قطب المرآة (ق)، (س) بعد الجسم عن قطب المرآة.



شكل (١٢).

والآن نفترض أن الشعاع (١ 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 (١ ق) يسقط عند قطب المرآة، وينعكس طبقاً لقانون

الانعكاس في الاتجاه ق ١ بزواوية متساوية مع زاوية سقوطه، كما هو مبين بالشكل (١٢) فنحصل على أشكال هندسية، ومن هذه الأشكال: المثلثين ١ ج ق ، ١ ج ق وهما مثلثان متشابهان، ومن التشابه نجد أن : $\frac{١ ج (ل)}{١ ج (ل)} = \frac{ص}{س}$ (٢).

ومن تشابه المثلثين ١ ج م ، ١ ج م ، فإن : $\frac{ل}{س - نوه} = \frac{نوه - ص}{س - نوه}$ (٣)،

ومن العلاقتين : (٢ ، ٣) نحصل على العلاقة الآتية:

$\frac{ص}{س} = \frac{نوه - ص}{س - نوه}$ (٤)، وبما أن حاصل ضرب الطرفين = حاصل ضرب الوسطين، فالعلاقة: (٤) تصبح كما يلي:

$$س ص - نوه ص = س نوه - س ص ،$$

٢ س ص = نوه ص + س نوه ، وبقسمة طرفي المعادلة على (س ص نوه) ينتج الآتي:

$$\frac{١}{ص} + \frac{١}{س} = \frac{٢}{نوه} \text{ (٥) ،}$$

وبما أن نصف قطر تكور المرآة نوه = ضعف البعد البؤري للمرايا (ع)،

أي نوه = ٢ ع وبعد التعويض عن قيمة (نوه) في العلاقة (٥) نجد أن:

$$\frac{١}{ص} + \frac{١}{س} = \frac{٢}{٢ ع} \text{ ومنها}$$

$$\frac{١}{ص} + \frac{١}{س} = \frac{١}{ع} \text{ (٦)}$$

وهذا هو القانون العام للمرايا والذي نعين منه البعد البؤري للمرايا، وبعد الجسم

(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.

حالات تكون الصورة في المرايا الكروية توضح في جدول (٣)

جدول (٣)

الحالة	توقع الجسم	موقع الصورة	صاات الصورة	التكامل الموضح للمعدلة
١	قرب من مركز انحناء المرآة	المركز لا الفعالة	حقيقية وقوية ومعتدلة	
٢	بعد من مركز انحناء المرآة	بين المركز والفعالة	حقيقية صغيرة ومعتدلة	
٣	بين مركز انحناء المرآة والفعالة	في مركز الفعالة	حقيقية مساوية للحجم	
٤	بين الفعالة والمركز	عندما مركز الفعالة	حقيقية مكبرة ومعتدلة	
٥	في البؤرة	في اللانهاية	لا تتكون الصورة	
٦	بين الفعالة والمركز	عندما الفعالة	تكون صورة	



قوة التكبير في المرايا:

ويقصد بها النسبة بين طول الصورة المتكونة للجسم وطول الجسم أي أن: التكبير

(٧).....

$$(ت) = \frac{\text{طول الصورة}}{\text{طول الجسم}} = \frac{ل}{ص} = \frac{ل}{س}$$

أو أن طول الصورة المتكونة إلى طول الجسم يساوي بعد الصورة عن قطب المرآة إلى بعد الجسم عنها .

النشاط (٧)

أثبت رياضياً أن $\frac{ل}{ص} = \frac{ل}{س}$ كما مر معك سابقاً.

قوة المرآة: هي مقلوب البعد البؤري للمرآة مقدراً بالمتر
قوة المرآة تحسب من العلاقة الآتية:

$$\text{قوة المرآة} = \frac{1}{\text{البعد البؤري مقاساً بالمتر}} \quad (٨).....$$

وتقاس قوة المرآة بوحدة تسمى «الديوبتر» ويرمز لها بالرمز (Δ).

- **ملاحظة:** قوة المرآة المقعرة (اللامعة) 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 لكل منهما على سطح ورق أبيض مقوى في غرفة مظلمة، ولاحظ الأشعة المنعكسة من كل منهما، ثم أجب عن السؤال التالي:

لماذا سميت المرايا المقعرة باللامعة، 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

مثال (١): وضع جسم على بعد (٣٠) سم، أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري (١٢) سم. أوجد بعد الصورة الناتجة، والتكبير لها، مع وصف لحالة الصورة المتكونة.

الحل:

$$\therefore \frac{1}{ع} = \frac{1}{س} + \frac{1}{ص} \quad \text{وبالتعويض عن القيم المعطاة فإن:}$$

$$\frac{1}{١٢} = \frac{1}{٣٠} + \frac{1}{ص} \quad \text{ومنها ص} = ٢٠ \text{ سم}$$

وطالما وأن قيمة (ص) موجبة؛ فإن الصورة حالتها حقيقية.

$$\text{التكبير (ت)} = \frac{ل}{ل} = \frac{ص}{س} \quad \therefore \text{ت} = \frac{ص}{س} = \frac{٢٠}{٣٠} = \frac{٢}{٣}$$

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)

أحضِر حوضاً زجاجياً شفافاً، وصب فيه كمية من الماء النقي، وأحضِر ساقاً لأية مادة، أو قلم رصاص، وأغمر 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.

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 جيب زاوية السقوط وزاوية الانكسار = مقداراً ثابتاً، وهذه النسبة الثابتة تسمى (بمعامل انكسار الوسطين)، ويرمز لها بالرمز اللاتيني (μ) .

$$\text{أي أن: } \mu = \frac{\text{جيب زاوية السقوط}}{\text{جيب زاوية الانكسار}} \dots\dots\dots (٩)$$

لاحظ الشكل (١٤) عندما يسقط

شعاعاً من وسط أقل كثافة ضوئية مثل

الهواء إلى وسط آخر أكبر كثافة ضوئية

مثل الماء؛ فإن معامل الانكسار بين

هذين الوسطين نرمز له بالرمز

(هواء μ ماء) ويساوي:

θ_1
وسط أقل كثافة

θ_2
وسط أكبر كثافة

شكل (١٤)

.....(١٠)

$$\mu_{\text{هواء}} = \frac{\text{جيب زاوية السقوط في الهواء}}{\text{جيب زاوية إنكسار في الماء}}$$

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 (فراغ μ وسط) ويساوي :

.....(١١)

$$\text{معامل انكسار الوسط} = \frac{\text{معامل انكسار الفراغ}}{\text{فراغ } \mu \text{ وسط}}$$

(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 (θ_1) ، وزاوية انكسار الشعاع في الزجاج (الوسط الثاني) هي (θ_2) فإن:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1} \quad \text{ومنه:} \quad \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

.....(١٢)

$$\mu_1 \sin \theta_1 = \mu_2 \sin \theta_2$$

وهذا هو 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

من الزجاج إلى الماء - مثلاً - فإن معامل انكسارهما النسبي نعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$\frac{\mu_{\text{ماء}}}{\mu_{\text{هواء}}} = \mu_{\text{زجاج}}^{\mu_{\text{ماء}}}$$

(٣١)

$$\mu_{\text{زجاج}}^{\mu_{\text{ماء}}} = \frac{\mu_{\text{ماء}}}{\mu_{\text{زجاج}}}$$

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:

$$\therefore \mu_{\text{ماء}}^{\mu_{\text{ز}}} = \frac{\mu_{\text{ز}}}{\mu_{\text{ماء}}} = \frac{١,٥}{١,٣٣} = ١,١٣$$

معامل الانكسار النسبي بين الزجاج والماء

$$\mu_{\text{ز}}^{\mu_{\text{ماء}}} = \frac{\mu_{\text{ماء}}}{\mu_{\text{ز}}} = \frac{١,٣٣}{١,٥} = ٠,٨٨٧$$

مثال (٣): إذا كان معامل انكسار الجلوسرين (١,٤٧)، ومعامل انكسار الكحول الإيثيلي (١,٣٦)، احسب معامل الانكسار النسبي بين الجلوسرين والكحول الإيثيلي، والعكس.

الحل:

$$\mu_{\text{جلوسرين}}^{\mu_{\text{كحول}}} = \frac{\mu_{\text{كحول}}}{\mu_{\text{جلوسرين}}} = \frac{١,٣٦}{١,٤٧}$$

أما معامل الانكسار النسبي بين الكحول والجلوسرين: $(\mu_{\text{كحول}}^{\mu_{\text{جلوسرين}}}) = \frac{\mu_{\text{جلوسرين}}}{\mu_{\text{كحول}}} = \frac{١,٤٧}{١,٣٦}$

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؟

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.



وهذا يعني أن الشعاع الضوئي اقترب من العمود المقام على السطح بزاوية محددة عند انكساره من الهواء

شكل (١٥).

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 (هـ μ_z) = $\frac{J_1}{J_2}$ ، بطريقة عملية (انظر دليل التجارب والأنشطة).

انكسار الضوء في المنشور الثلاثي (Refraction By A prism):

إذا سقط شعاع من الضوء على أحد أوجه المنشور الزجاجي (أ ب ج) بزاوية السقوط، ولتكن (ϕ)؛ هذا الشعاع سيعاني انكساراً، وعندما يصل إلى الوجه الآخر للمنشور سوف يعاني انكساراً آخر، ويخرج هذا الشعاع من الجانب الآخر، ويصنع



شكل (١٧).



شكل (١٦).

زاوية ($\varnothing$) وهي زاوية الخروج، وتسمى الزاوية المحصورة بين امتداد الشعاع الساقط، وامتداد الشعاع الخارج بزاوية الانحراف (ح)، والشكلين (١٦) و (١٧) يوضحان هذه العملية، ومنها فإننا نطرح السؤال الآتي:

- ما العلاقة بين زاوية السقوط $\varnothing_1$ ، وزاوية الخروج $\varnothing_2$ ، 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:

$$\begin{aligned} \hat{م} + \hat{ل} + \hat{ر} + \hat{س} &= 360^\circ \text{ (مجموع زوايا الشكل الرباعي (م ن ل س))} \\ \text{ولكن } \hat{م} &= \hat{ل} = 90^\circ \\ \therefore \hat{ر} + \hat{س} &= 180^\circ \\ \text{في المثلث (ل ن م): } \hat{\theta}_1 + \hat{\theta}_2 + \hat{س} &= 180^\circ \\ \therefore \text{من العلاقتين السابقتين نحصل على} \end{aligned}$$

(١٤).....

$$\hat{\theta}_1 + \hat{\theta}_2 = \hat{ر}$$

وفي المثلث (م ص ل) $\hat{ح} = \hat{١} + \hat{٢}$ (زاوية خارجية)
ولكن $\hat{١} = \hat{\phi}_1 - \hat{\theta}_1$ (بالتقابل بالرأس في النقطة ل)
 $\hat{٢} = \hat{\phi}_2 - \hat{\theta}_2$ (بالتقابل بالرأس في النقطة م)
بالتعويض في العلاقة (ح) نجد أن:

$$\begin{aligned} \hat{ح} &= \hat{\phi}_1 - \hat{\theta}_1 + \hat{\phi}_2 - \hat{\theta}_2 \\ &= (\hat{\phi}_1 + \hat{\phi}_2) - (\hat{\theta}_1 + \hat{\theta}_2) \\ \text{من العلاقة (١٤) نستنتج أن:} \end{aligned}$$

(١٥).....

$$\hat{ح} = \hat{\phi}_1 + \hat{\phi}_2 - \hat{ر}$$

مثال (٤): منشور ثلاثي زاوية رأسه = (٦٠°)، ومعامل انكسار مادته $(\frac{3}{2})$ ، سقط عليه شعاع بزاوية سقوط مقدارها = (٣٠°). احسب زاوية خروج الشعاع، ومقدار زاوية الانحراف.

الحل:

$$\begin{aligned} \therefore \mu &= \frac{\text{جا } 1\theta}{\text{جا } 2\theta} = \frac{3}{2} \therefore \frac{\text{جا } 30^\circ}{\text{جا } 2\theta} = \frac{3}{2} \text{ ، ومنها } 2\theta = 19^\circ 28' . \\ \text{زاوية رأس المنشور: (ر) } 2\theta + 1\theta &= 60^\circ \therefore 2\theta = 60^\circ - 19^\circ 28' = 40^\circ 32' \\ \therefore \mu &= \frac{\text{جا } 2\theta}{\text{جا } 1\theta} = \frac{3}{2} \therefore \frac{\text{جا } 40^\circ 32'}{\text{جا } 1\theta} = \frac{3}{2} \text{ ، ومنها: } 1\theta = 19^\circ 28' \text{ وهي زاوية خروج الشعاع.} \\ \text{مقدار زاوية الانحراف: (ح) } 1\theta + 2\theta - 60^\circ &= 19^\circ 28' + 40^\circ 32' - 60^\circ = 0^\circ \\ \text{ومنها: (ح) } 1\theta &= 19^\circ 28' . \end{aligned}$$

■ 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:



- 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- غير 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.



شكل (١٨)

أحضّر منشوراً آخرًا، 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.

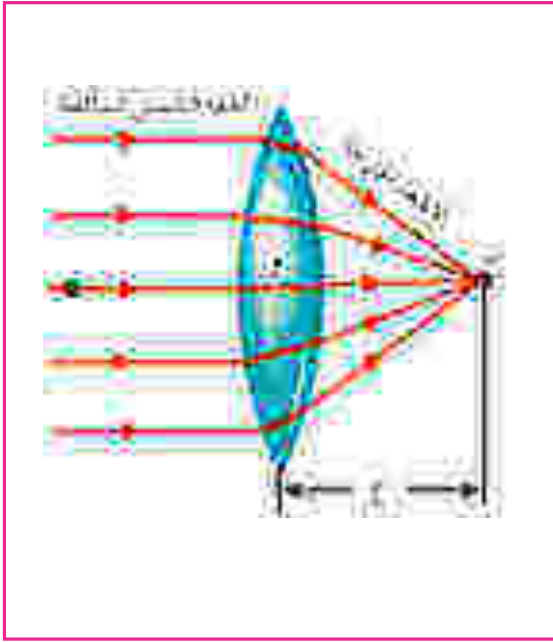
- ماذا تستنتج من نتائج النشاطين السابقين؟

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.

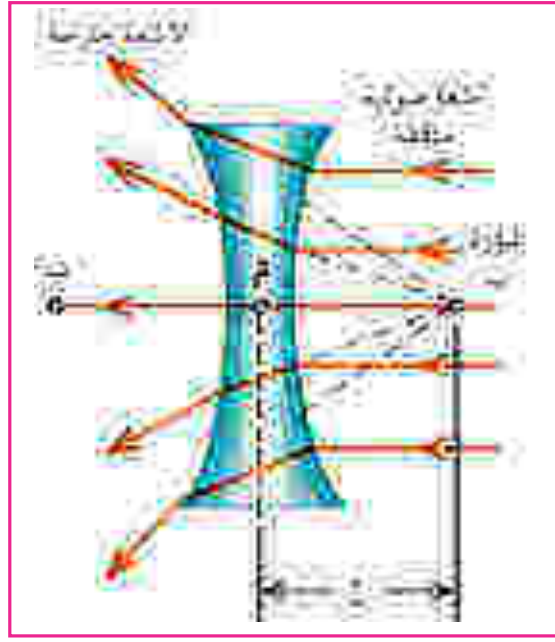
العدسات الرقيقة «الخفيفة» وقوانينها

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 يركونها قريباً أو بعداً، من حاجز حتى يحصلون على نقطة مضيئة يستقبلونها على ورقة بيضاء لفترة حتى تحترق، ومثل هذه العدسات تسمى بالعدسة اللامة أو المحدبة.



شكل (٢٠) عدسة محدبة (لامعة).



شكل (١٩) عدسة مقعرة (مفرقة).

انظر إلى الشكلين السابقين: لماذا سميت العدسة المحدبة بالعدسة اللامعة؟
ولماذا سميت المقعرة بالمفرقة؟

تعريف خاصة لمصطلحات العدسة المحدبة والمقعرة

- من خلال الشكلين السابقين يمكن أن نعرّف 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 الموازية لمحور العدسة بعد انكسارها.
- **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.
- **محور العدسة:** هو الخط المستقيم الوهمي الذي يصل بين مركزي تكور سطحي العدسة ممتداً من الجهتين.

■ حالات تكون الصور في العدسة المحدبة (اللامعة):

لاحظ حالات تكون الصور في العدسة المحدبة والتي يوضحها الجدول (٥) التالي:

الحالة	موقع الجسم	موقع الصورة	صفات الصورة	الشكل الموضح للصورة
١	في مكان بعيد نسبياً ما لا نهاية	في بؤرة العدسة	حقيقية مقلوبة، ومصغرة جداً	أ
٢	أبعد من مركز التكور	بين البؤرة، ومركز التكور	حقيقية، مقلوبة مصغرة	ب
٣	في مركز التكور	في مركز التكور للعدسة	حقيقية، مقلوبة، طولها يساوي طول الجسم	ج
٤	بين مركز التكور، وبؤرتها الأصلية	خلف مركز تكورها	حقيقية، مقلوبة، مكبرة	د
٥	في البؤرة الأصلية للعدسة	في اللانهاية	صفات غير معروفة	هـ
٦	بين قطب العدسة، وبؤرتها الأصلية	نفس الجهة التي بها الجسم	خيالية، معتدلة، مكبرة	و

■ حالات تكون الصور في العدسة المقعرة (المفرقة):



شكل (٢٢)

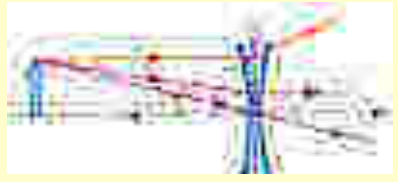
يلزم لتحديد موقع صورة الجسم يوضع أمام عدسة مفرقة، أن نسقط أشعة ضوئية من الجسم ماراً في العدسة. كما يوضحه الشكل (٢٢)، والأشعة الساقطة تأخذ أشكالاً هي:

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)

موقع الجسم	موقع الصورة	صفات الصورة	الشكل الموضح للصورة
أمام الجسم	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، هو ينطبق نفسه على العدسات، ويربط بين البعد البؤري للعدسة (ع)، وبعد الجسم عن مركز العدسة (س)، وبعد الصورة المتكونة للجسم عن المركز البصري للعدسة (ص)، وصورته كما يلي:

$$(١٦) \quad \frac{1}{ع} + \frac{1}{س} = \frac{1}{ص}$$

وهو القانون العام للعدسات.

أما قوة التكبير في العدسات، فهو يشابه قانون التكبير في المرايا الكرية كما يلي:

$$\frac{\text{بعد الصورة (ص)}}{\text{بعد الجسم (س)}} = \frac{\text{طول الصورة}}{\text{طول الجسم}}, \text{ أي أن:}$$

$$(١٧) \quad \frac{ص}{س} = \frac{ل}{ل'}$$

وهذا القانون يحكم التكبير في العدسات ويوضحه جدول (٧).

جدول (٧)

س < ٠	س > ٠	ص < ٠	ص > ٠	ت > ١	ت = ١	ت < ١	ت > ٠	ت < ٠
للجسم وجود للصورة الحقيقية	للجسم وجود للصورة الحقيقية	الصورة الحقيقية	الصورة الحقيقية	تقديرية	مصغرة	للجسم = الصورة	مكبدة	مقلوبة

البعد البؤري (ع)

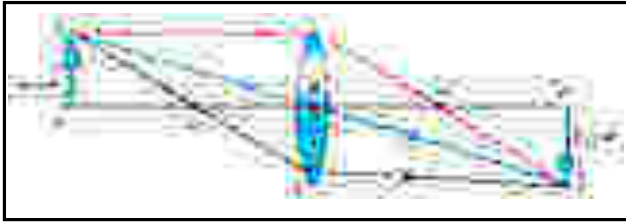
ع < صفر العدسة لامة.

ع > صفر العدسة مفرقة.

قاعدة الإشارات:

- ١ - البعد البؤري يكون موجباً للعدسة اللامة، وسالباً للعدسة المفرقة.
- ٢ - بعد الصورة: يكون موجباً للصورة، الحقيقية، 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 (٢٤)، ثم استنتج القانون العام للعدسات رياضياً، كما في حالة المرايا.

مثال (٥): عدسة محدبة بعدها البؤري: (ع) = ٨ سم.

أين يجب أن يوضع الجسم أمام العدسة، حتى تتكون للصورة على النحو التالي؟:

أ - حقيقية مكبرة (٤) مرات. ب - خيالية مكبرة (٤) مرات أيضاً.

الحل:

• قانون التكبير في العدسات هو $\frac{ل}{ص} = \frac{ل}{س}$

∴ ص = ٤ س. ، بالتعويض في القانون العام كما يأتي:

$$\frac{1}{ع} = \frac{1}{ص} + \frac{1}{س}$$

$$\frac{1}{8} = \frac{1}{4\text{سم}} + \frac{1}{\text{سم}}$$

$$\frac{1}{8} = \frac{1+4}{4\text{سم}} \therefore \frac{1}{8} = \frac{5}{4\text{سم}} \text{ ، ومنها } 40 = 4\text{سم}$$

∴ موضع الجسم أمام العدسة: (س) = ١٠ سم.

ب- أما عندما تكون الصورة خيالية، فإن:

$$\frac{1}{8} = \frac{1}{4\text{سم}} - \frac{1}{\text{سم}} \quad (\text{لأن الصورة خيالية})$$

$$\frac{1}{8} = \frac{1-4}{4\text{سم}} \text{ ومنها: } \frac{1}{8} = \frac{3}{4\text{سم}}$$

$$\therefore \text{بعد الجسم (س)} = \frac{24}{4} = 6\text{سم}.$$

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.

$$\text{قوة العدسة} = \frac{1}{\text{مقاس بالمتر (ع)}} \quad \dots\dots\dots (18)$$

ووحدة القياس هي الديوبتر.

مثال (٦): عدسة مقعرة (مفرقة) بعدها البؤري (٢٠) سم، وضع جسم طوله (٣) سم يبعد عن مركز العدسة مسافة (٤٠) سم. أوجد بعد الصورة، وطولها، وحالتها.

الحل:

$$\therefore \frac{1}{\text{ع}} = \frac{1}{\text{س}} + \frac{1}{\text{ص}} \text{ ، وبما أن العدسة مفرقة؛ فإن ع} = -20\text{سم}$$

$$\frac{1}{-20} = \frac{1}{\text{ص}} + \frac{1}{40} \therefore \frac{1}{\text{ص}} = \frac{1}{-20} - \frac{1}{40}$$

$$\therefore \frac{1}{\text{ص}} = \frac{1-2}{40} = \frac{-1}{40} \text{ ومنها ص} = -40\text{سم}.$$

بما أن قيمة: (ص) سالبة، فإن الصورة المتكونة تقديرية. ولمعرفة وضع الصورة.

$$ت = \frac{ل}{ل} = \frac{ص}{س} . \text{ إذا: } ت = \frac{٤٠}{٤٠ \times ٣} = - \frac{١}{٣}$$

بما أن قيمة: (ت > صفر) فإن الصورة تكون معتدلة.

بما أن: $ت = \frac{١}{٣}$ ، وهذا المقدار لقيمة $ت > ١$ الصورة تكون مصغرة

طول الصورة (ص) = التكبير × طول الجسم

$$١ \text{ سم} = ٣ \times \frac{١}{٣} =$$



شكل (٢٥)

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 (٢٥).

حاول مع مجموعة من زملائك، التنسيق مع مدرس المادة، وإدارة المدرسة القيام بزيارة لإحدى المراكز الصحية، أو المستشفيات في المكان الذي تعيش فيه، وحاول، وزملائك 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:

$$\text{قوة تكبير المجهر} = \text{قوة تكبير العدسة الشيئية} \times \text{قوة تكبير العدسة العينية} \dots\dots\dots (١٩)$$

عندما تكون الصورة النهائية في مالا نهاية .
ويمكن وضع العلاقة السابقة بصورة كما يلي:

.....(٢٠)

$$\text{قوة التكبير: (ت)} = \frac{\text{ص} ١}{\text{س} ١} \times \frac{٢٥}{\text{البعد البؤري العدسة العينية (ع)}}$$

حيث:

- ١ - المقدار: (٢٥ سم)، 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:



لمعرفة معنى الزاوية البصرية، وقوة التكبير قم بالنشاط التالي:

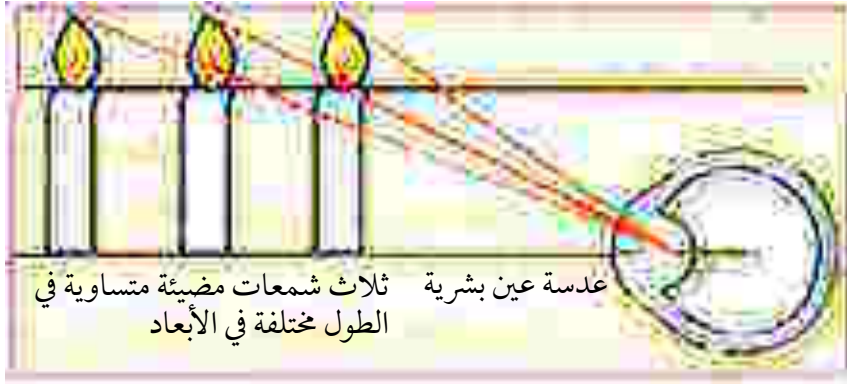
- ١ - اطلب من أحد زملائك أن يقف في آخر الفصل، وأنت في الطرف المقابل له.
- ٢ - أغلق إحدى عينيك، وأنظر إلى زميلك من خلال العين الأخرى.
- ٣ - ضع أحد أصابعك على بعد (٥) سم تقريباً من عينك، وفي طريق الأشعة الضوئية المنعكسة من زميلك الواصلة إلى عينك. هل ترى كامل جسم زميلك؟
- ٤ - قرب اصبعك إلى عينك. ماذا تلاحظ؟

لا بد أنك لاحظت اختفاء زميلك عندما قربت اصبعك من عينك، هل هذا يعني

أن حجم اصبعك أكبر من حجم جسم زميلك؟

ستكون الإجابة لا، فسر سبب ذلك.

يمكن تفسير ذلك من المثال الموضح بالشكل (٢٦)، 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.



شكل (٢٦).

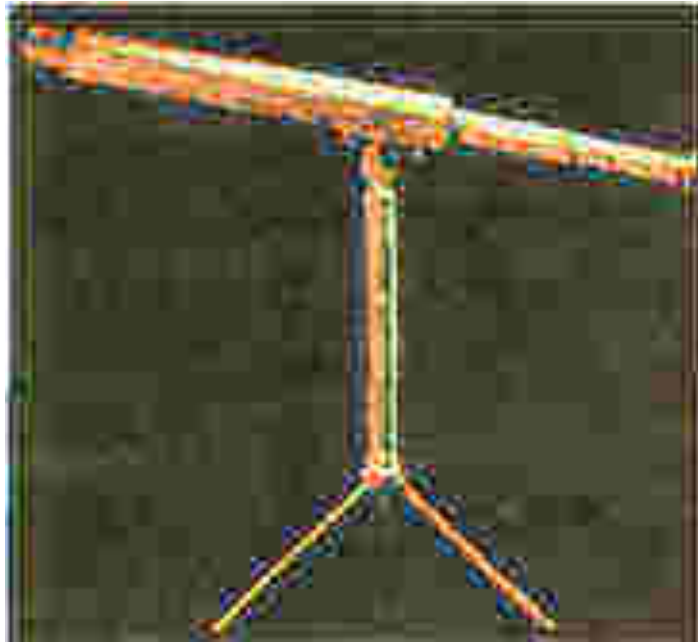
وهذه الزاوية يطلق عليها اسم «الزاوية البصرية»، وتعرف بأنها: «الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط من الجسم، والمركز البصري لعدسة العين».

ونستنتج مما سبق أنه لكي يزداد الجسم وضوحاً للعين يلزم تقريبه من العين حتى تزداد الزاوية البصرية، وبذلك 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: (٢٧).

نعرف أن هذا الجهاز يستخدم لرؤية الأجسام البعيدة التي لا ترى العين المجردة هذه الأجسام بوضوح بسبب بعدها الكبير عنا، مثل: الكواكب، والنجوم، وغيرها، ويتركب من:
١ - عدسة بعدها البؤري صغير نسبياً، ويطلق عليها العدسة العينية.

٢- عدسة بعدها البؤري كبير نسبياً، مقارنة مع البعد البؤري للعدسة العينية، وتسمى بالعدسة الشيئية؛ لأنها تقع في مواجهة الجسم المراد رؤيته.

طريقة عمله:

يوجه الجهاز إلى الجسم المراد مشاهدته في الفضاء، والأشعة الساقطة منه للجهاز تكون متوازية بسبب بعدها عن الجسم، وتكون صورة حقيقية مقلوبة مصغرة للجسم عند بؤرة العدسة الشيئية، وتعد هذه الصورة جسماً بالنسبة للعدسة العينية، وعند تغيير البعد بين العدستين (طول الماسورة) المتحركة؛ بحيث تقع تلك الصورة على بعد أقل بقليل من البعد البؤري للعدسة العينية وتكون 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:

$$\text{قوة تكبير المنظار (ت) = } \frac{\text{البعد البؤري للعدسة الشيئية}}{\text{البعد البؤري للعدسة العينية}} \dots\dots\dots (٢١)$$

وطول الماسورة المتحركة للمنظار يحسب من العلاقة،

$$(ل) = \text{البعد البؤري للعدسة الشيئية} + \text{البعد البؤري للعدسة العينية}.$$

مثال (٧): تلسكوب البعد البؤري لعدسته الشيئية (١٠٠) سم، والبعد البؤري لعدسته

العينية (٥) سم، ما قوة تكبيره. وما طول ماسورته المتحركة؟

$$\text{الحل: قوة تكبيره (ق) = } \frac{\text{(ع) للعدسة الشيئية}}{\text{(ع) للعدسة العينية}} = \frac{١٠٠}{٥} = ٢٠ \text{ مرة.}$$

$$\text{طول ماسورته المتحركة (ل) = } ١٠٠ + ٥ = ١٠٥ \text{ سم.}$$

تقويم الوحدة

أجب عن جميع الأسئلة الآتية:

١ - أكمل الفراغات التالية بما يناسبها من كلمات:

- أ - ينتشر الضوء في، وسرعتها تصل حوالي: م/ث.
 ب - تكون ظلال للأجسام التي تسقط عليها الأشعة الضوئية يدل أن الضوء في مستقيمة، وانعكاس الضوء الساقط على الأجسام اللامعة، يدل أن الضوء عبارة عن مادية لها كتلة، وطاقة حركة.
 ج - اعتقد نيوتن من خلال أبحاثه أن الضوء عبارة عن مادية، بينما هيكتز توصل إلى الضوء يسلك سلوك:

د - أمكن تحليل الضوء الأبيض إلى عدة ألوان هي اللون البنفسجي و..... و..... و..... و..... وهذا يدل أن الضوء الأبيض عبارة عن ضوء

٢ - ضع علامة: (✓) أمام الفقرة الصحيحة، وعلامة: (X) أمام الفقرة الخطأ فيما يأتي:

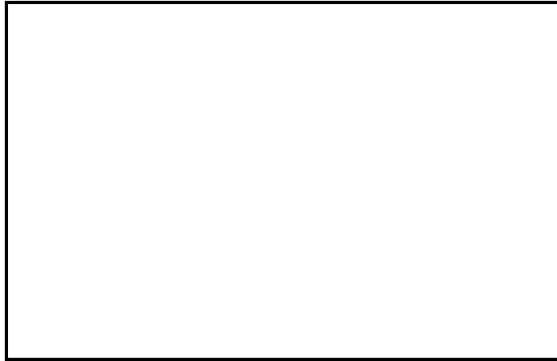
- أ - اللون الطيفي الأزرق لا يمكن تحليله إلى ألوان أخرى. ()
 ب - توصل العلماء في بحثهم لمعرفة سلوك الضوء بأن له طبيعة جسيمية فقط. ()
 ج - كمية الأشعة المرئية التي تصلنا من ضوء الشمس كميتها أكبر من الأشعة غير المرئية. ()
 د - وحدة قياس شدة الاستضاءة النيوتن. ()
 هـ - المصدر الضوئي المتكون من جسم أسود مثالي مساحته (6×10^{-5}) م² تحت درجة حرارة تجمد البلاتين، وتحت الضغط الجوي المعياري يسمى «الشمعة». ()

٣ - اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المحتملة لل فقرات الآتية:

- أ - عندما يسقط الشعاع الضوئي المرئي على لوح زجاجي أحمر؛ فإن اللوح: - (يضيف للشعاع لون أحمر).
 - (يسحب من الشعاع اللون الأحمر). - (الإجابتان معاً).
 ب - يمكننا الحصول على شعاع ضوئي أحادي اللون، وذلك بتعريض المرشحات الضوئية إلى: - (حرارة الأشعة). - (سقوط الأشعة الضوئية عليها). - (لا شيء مما ذكر).

تابع تقويم الوحدة

- ج - 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 درجة حرارة الجسم:
 - (الأبيض كبيرة). - (الأسود كبيرة). - (الشفاف كبيرة).
 هـ - إذا تعرض الجسم الأسود لأشعة الشمس لفترة من الزمن؛ فإن درجة حرارته ترتفع، وهذا يدل على أنه:
 - (يعكس الأشعة الساقطة عليه). - (يمتص الأشعة الساقطة عليه).
 - (يمتص جميع الأشعة الساقطة، ولا يعكس منها أي شعاع).
 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 - من الأشكال التالية (انقلها لدفتر إجابتك):



شكل (٢٨)

أ - انظر إلى الشكل المقابل، وأجب عما يلي:

- (أحسب قيمة الزاوية (١، ٢، ٣))
 علماً بأن الزاوية $٤ = ٦٠^\circ$.
 - (ماذا تستنتج من ذلك؟)



شكل (٢٩)

ب - لاحظ الشكل: (٢٩) سقط شعاع ضوئي عمودي على السطح المستوي المصقول من الشكل حدد اتجاه انعكاس الشعاع الضوئي.

تابع تقويم الوحدة



شكل (٣٠)

ج - سقط شعاع ضوئي على مرآة مقعرة ماراً بمركزها، ووصل إلى قطبها، كما في الشكل (٣٠) والمطلوب: تحديد اتجاه انعكاسه.

- ٥- كيف يمكنك إثبات القانون العام للمرايا الكروية، وقانون التكبير بطريقة رياضية موضحاً إجابتك بالرسم.
- ٦- أشرح تجربة عملية لتعيين معامل الانكسار باستخدام متوازي الأضلاع الزجاجي.
- ٧- ما المقصود بكل من:
 - معامل الانكسار النسبي - ومعامل الانكسار المطلق - الشعاع المنعكس عن السطح العاكس - عمود الانعكاس - زاوية السقوط - وزاوية 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 بعد الصورة المتكونة، وصفاتها إذا كان الجسم موضوع أمامها متعامداً مع محورها الرئيسي، ويبعد عنها:
 - أ) ٧٥ سم ، ب) ٥٠ سم ، ج) ٣٧,٥ سم ، د) ١٨,٧٥ سم.

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 (٦٠)، وزاوية الانكسار (٣٠). احسب معامل الانكسار من الوسط الأول إلى الثاني، $(\frac{3}{2})$.

١٦ - سقط شعاع ضوئي على منشور ثلاثي مقطعه متساوي الأضلاع بزاوية سقوط (٣٠) عيناً زاوية انحراف هذا الشعاع في المنشور علماً بأن معامل انكسار مادة المنشور الزجاجي $\frac{3}{2}$.

١٧ - عدسة لامة بعدها البؤري (١٠) سم. احسب بعد الصورة عنها، وصفاتها لجسم وضع أمامها متعامداً مع محورها الرئيسي، ويبعد عنها كما يلي:
أ - ٣٠ سم. ب - ٢٠ سم. ج - ١٥ سم. د - ٥ سم.

١٨ - عدسة محدبة الوجهين بعدها البؤري (١٠) سم، استخدمت للحصول على صورة معتدلة لجسم، وكان طول الصورة قدر طول الجسم مرتين، أوجد موضع الجسم من العدسة (٥ سم).

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 لشيئته (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، ٠ 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.

الديناميكا الحرارية

Thermodynamics

الوحدة

السادسة



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 (الأيزوثرمية)، والعملية ثابتة الضغط (الأيزوبارية)، والعملية ثابتة الحجم (الأيزوكورية)، 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.

- 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، معلماً 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 وتعريفها:

■ **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، والملاحظات، والظواهر الطبيعية.

■ **النظام الديناميكي الحراري (Thermodynamics system) :**

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 عندئذ 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، إلا في حالة السريان المستقر.

● 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.

● النظام المعزول (Isolated system): هو النظام الذي لا يسمح بتبادل كل من المادة والطاقة (الشغل والحرارة) مع الوسط الخارجي المحيط به.

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 فقدته حرارة، أو شغل؛ يقال عنه: إن 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

أنظر 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؟

شكل رقم (١)

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 الأسطوانة) 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.

- 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 (ح_١، ض_١)؛ حيث الضغط مرتفع (ض_١)، والحجم يساوي (ح_١)، إلى الحالة الثانية (ح_٢، ض_٢)؛ حيث الضغط قلّ، وأصبح (ض_٢)، والحجم زاد، وأصبح يساوي ح_٢، كما يتبين من الشكل (١) أن العلاقة بين الحجم، والضغط تناسبية عكسية، أي: أنه إذا قلّ الضغط زاد الحجم، وإذا زاد الضغط قلّ الحجم عند ثبوت درجة حرارة النظام.

إن العملية الديناميكية الحرارية التي تحدث على النظام بحيث يتغير خلالها حجمه بتغير ضغطه، (أو الضغط الواقع عليه) عند ثبوت درجة حرارته، تسمى: (العملية ثابتة درجة الحرارة).

العملية ثابتة الضغط : Isobaric Process

أنظر 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؟

شكل رقم (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_١، ح_١) حيث درجة الحرارة منخفضة، والحجم أقل إلى الحالة (T_٢، ح_٢)؛ حيث درجة الحرارة مرتفعة، والحجم أكبر. كما يبين الشكل (٢) أن العلاقة بين درجة حرارة النظام

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).

العملية ثابتة الحجم : Iso choric Process



شكل رقم (٣)

أنظر 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 حدد الحالة الابتدائية، والحالة النهائية التي

وصل إليها النظام بدلالة كل من درجة حرارة النظام، وضغطه.
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 ، ض_١) التي فيها درجة الحرارة منخفضة، والضغط منخفض، إلى الحالة النهائية للنظام (T_2 ، ض_٢) 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.

مثل تسخين الطنجرة المغطاه ففيها يكون الحجم ثابت بينما الضغط ودرجة الحرارة يتغيران.

العملية الكظمية : Adiabatic Process



شكل رقم (٤)

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 - أنظر إلى الشكل (٤) .. تسمى بالعملية الأديباتيكية (الكظمية)، وهي تتم بسرعة كبيرة جداً.

اعتماد على اتجاه السهم على الخط البياني في هذا الشكل حدد الحالة الابتدائية، والحالة النهائية للنظام، وبين نوع العلاقة بين الحجم، والضغط لهذا النظام.

كيف توجد الشغل في العمليات الديناميكية الحرارية بيانياً وجبرياً؟

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 أسطوانة مزودة بمكبس قابل للحركة)، وأن هذا النظام قد انتقل من حالة إلى حالة أخرى نتيجة حدوث عملية من العمليات الديناميكية الحرارية.

- عين 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 لإيجاد الشغل في العمليات الديناميكية الحرارية بيانياً، وجبرياً كل على حده:

أولاً - بيانياً (Graphically):

ارجع النظر إلى الرسم البياني في الشكل (١)، الذي يبين تحول النظام (تغيره) من حالة إلى أخرى في العملية ثابتة درجة الحرارة، فإذا ظلَّت المساحة المحصورة بين الخط البياني، والمحور الأفقي الذي يمثل حجم النظام بين (ح ١ وح ٢) فإنك ستحصل على المساحة المظللة، والموضحة في الشكل (٥).

شكل رقم (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 الحجم.

ثانياً - جبرياً : (By Algebraic Equation)

عرفت بأنه لإيجاد مقدار الشغل في العملية ثابتة درجة الحرارة بيانياً ، نقوم بتظليل المساحة المحصورة بين الخط البياني، والمحور الأفقي الذي يمثل الحجم، كما في الشكل (٥)، فيكون مقدار الشغل (شغ) = مقدار المساحة المظللة. أما إذا أردت أن تحسب مقدار الشغل في هذه العملية جبرياً بدلالة حجم ، وضغط النظام؛ فإنه يمكنك استخدام إحدى العلاقتين الرياضيتين:

$$\text{شغ} = \text{ح} \times \text{ض} \times \left[\frac{\text{لو} \frac{\text{ح} 2}{\text{ح} 1}}{\frac{\text{ح} 2}{\text{ح} 1}} \right] \dots\dots\dots (١)$$

$$\text{أو: شغ} = \text{ح} \times \text{ض} \times \left[\frac{\text{لو} 2,303}{\frac{\text{ح} 2}{\text{ح} 1}} \right] \dots\dots\dots (٢)$$

حيث (لو) هو اللوغارتم الطبيعي، ويمكن إيجاده باستخدام الآلة الحاسبة العلمية ورمزه عليها (Ln) أو (لو) وهو اللوغارتم العشري، ويمكن إيجاده إما باستخدام الآلة الحاسبة، ورمزه عليها (Log)، أو باستخدام الجداول الرياضية.

اطلب من معلمك أن يوضح لك طريقة إيجاد (لو)، و (لو) باستخدام الجداول الرياضية، وكذلك باستخدام الآلة الحاسبة.

وحيث أن النسبة بين (لو) و (لو) للمقدار الواحد = $\frac{2303}{1000}$ تقريباً

أي أن: $\frac{2303}{1000} = \frac{لو}{لو}$ تقريباً،

ملاحظة: $\frac{2303}{1000} = \frac{لو}{لو}$

س = عدد معين

∴ $لو = \frac{2303}{1000} لو$ أو $لو = 2,303 لو$

وبما أن قانون بويل هو $(ح \times 1 = ض \times 2)$ ، ومنه $\frac{2}{ض} = \frac{ح}{ض}$ وبالتعويض عن هذا المقدار في العلاقتين (١) ، (٢) نحصل على أن:

$$شغ = ح \times 1 = ض \times 1 \left[\frac{لو}{ض} \right] \dots \dots \dots (٣)$$

$$أو شغ = ح \times 1 = ض \times 2,303 \left[\frac{لو}{ض} \right] \dots \dots \dots (٤)$$

وهاتان المعادلتان تمثلان صيغة أخرى لحساب الشغل في العملية ثابتة درجة الحرارة.

مثال (١): تحتوي اسطوانة بها مكبس على غاز حجمه (٢٥, ٠ م^٣)، عند ضغط يساوي (١٠ 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.

$$شغ = ح \times 1 = ض \times 1 \left[\frac{لو}{ض} \right] ، ∴ شغ = 25,0 \times 10 \left[\frac{لو}{25,0} \right]$$

ولإيجاد قيمة المقدار $\left[\frac{لو}{25,0} \right]$ باستخدام الآلة الحاسبة اتبع ما يأتي:

• توجد قيمة [25,0] والذي يساوي (٤) فتكون العلاقة السابقة

$$شغ = 25,0 \times 10 \left[\frac{لو}{4} \right]$$

• اضغط على الرقم [4] ثم اضغط على الزر (Ln) فينتج لديك الرقم ١,٣٨٦

فيكون e لو $= 1,386$ ، فتصبح العلاقة السابقة:

$$\text{شغ} = 25 = 1,386 \times 10^0 \times 0,3465 = 10^0 \times 0,3465 = 10^0 \times 3465 \times 10^{-4} \text{ جول،}$$

أو باستخدام العلاقة الآتية:

$$\text{شغ} = 1 \text{ ح} \times 1 \text{ ض} = [2,303 \text{ لو } \frac{2 \text{ ح}}{1 \text{ ح}}] .$$

$$\therefore \text{شغ} = 1 \text{ ح} \times 1 \text{ ض} = [2,303 \text{ لو } \frac{1}{25}] .$$

ولإيجاد قيمة المقدار $[2,303 \text{ لو } \frac{1}{25}]$ باستخدام الآلة الحاسبة اتبع ما يأتي:

• توجد قيمة $\frac{1}{25}$ ، والذي يساوي e فتكون العلاقة السابقة:

$$\text{شغ} = 1 \text{ ح} \times 1 \text{ ض} = (2,303 \text{ لو } e)$$

• أوجد قيمة لو e وذلك بضغط الرقم $[4]$ ، ثم بضغط الزر (Log) فينتج لديك الرقم

$$(0,6021) \text{ الذي هو قيمة (لو } e \text{)} .$$

• اضرب الرقمين $(2,303 \times 0,6021)$ ينتج لديك $(1,386)$ تقريباً فتصبح العلاقة

$$\text{السابقة: شغ} = 1 \text{ ح} \times 1 \text{ ض} = 1,386$$

وبالتعويض عن قيم (1 ح) ، و (1 ض) ؛ تحصل على

$$\text{شغ} = 25 = 1,386 \times 10^0 \times 0,3465 = 10^0 \times 0,3465 \text{ جول، وهي النتيجة السابقة نفسها.}$$

• حاول أن تحل هذا المثال باستخدام إحدى العلاقتين الآتيتين:

$$\text{شغ} = 1 \text{ ح} \times 1 \text{ ض} = [2,303 \text{ لو } \frac{1 \text{ ض}}{2 \text{ ض}}] \text{ ، أو شغ} = 1 \text{ ح} \times 1 \text{ ض} = [2,303 \text{ لو } \frac{1 \text{ ض}}{2 \text{ ض}}]$$

الشغل في العملية ثابتة الضغط : Work in Isobaric process

أولاً- بيانياً :

الخط البياني

الضغط

ض

بما أن التغير في حالة النظام، أو انتقاله من

حالة إلى أخرى يتم في هذه العملية عند ضغط

ثابت ولكن حجم النظام يتغير من 1 ح إلى 2 ح ،

فإذا رسمنا العلاقة البيانية بين الحجم والضغط في

هذه العملية؛ سنحصل على الخط البياني الموضح

في الشكل (٦).

الحجم

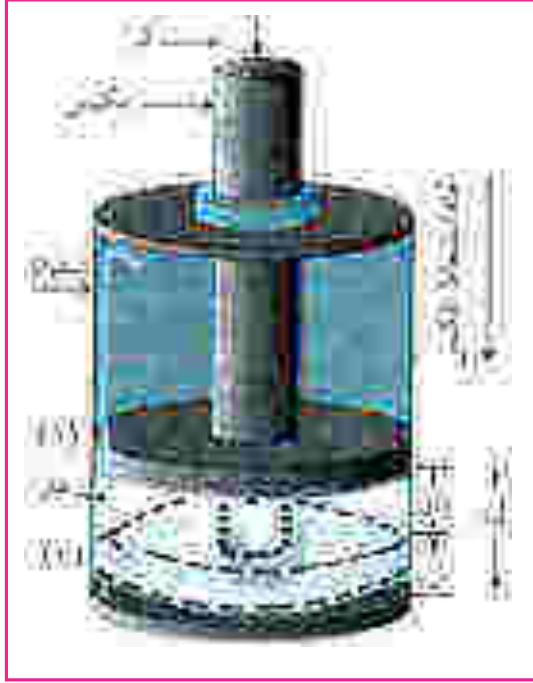
1 ح

2 ح

شكل رقم (٦)

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 :



شكل رقم (٧)

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) أنظر 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 مقدرة بالدرجة المطلقة (K).

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 (ΔL) أي:

$$\text{شغ} = \text{ق} \times \Delta L \quad (٥) \dots\dots\dots$$

حيث أن $\text{ق} = \text{ض} \times \text{س}$ ، و(ض) الضغط الواقع على الغاز، و(س) مساحة قاعدة المكبس.

$$\therefore \text{شغ} = \text{ض} \times \text{س} \times \Delta L \quad (٦) \dots\dots\dots$$

ولكن (س) مساحة قاعدة المكبس $\times (\Delta L)$ إزاحة المكبس = $\Delta \text{ح}$ ؛ حيث $\Delta \text{ح}$ 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: $\Delta \text{ح} = \text{ح}_٢ - \text{ح}_١$ ،

وبالتعويض عن $(\Delta \times \text{س})$ في المعادلة (٦)، نحصل على العلاقة الآتية:

$$\text{شغ} = \text{ض} \times \Delta \text{ح} , \dots\dots\dots (٧)$$

$$\text{أو شغ} = \text{ض} \times (\text{ح}_٢ - \text{ح}_١) \dots\dots\dots (٨).$$

والعلاقة (٨) هي العلاقة الرياضية التي تستخدم في حساب الشغل في هذه العملية جبرياً، وبما أن الضغط كمية ثابتة في هذه العملية، وأن $(\text{ح}_٢ > \text{ح}_١)$ ؛ لأن الغاز انكبس، أي: أن حجمه قل (انكمش)؛ فإن الشغل في هذه العملية (في هذه الحالة) يكون كمية سالبة.. لماذا؟؛ لأن المقدار $(\text{ح}_٢ - \text{ح}_١)$ سالب، فإذا عوضنا هذا المقدار في العلاقة: (٨)؛ نحصل على:

$$\text{شغ} = - \text{ض} \cdot (\Delta \text{ح}) \dots\dots\dots (٩).$$

وهذا يوضح أن الشغل يكون كمية سالبة؛ إذا بذل على النظام (أي إذا حدث انكماش لحجم الغاز).

أما في حالة تحرك المكبس إلى الخارج؛ فإن $(\text{ح}_٢ > \text{ح}_١)$ ؛ حيث يكبر حجم الغاز (يتمدد) عن حجمه الابتدائي، فيكون الشغل في هذه الحالة كمية موجبة. أثبت ذلك.

مثال (٢):

احسب الشغل المبذول على غاز موضوع في أسطوانة ذات مكبس متحرك؛ إذا انكمش الغاز بعد الكبس من $(٣٠٠٠ \text{ سم}^٣)$ ، إلى $(٢٠٠٠ \text{ سم}^٣)$ باستخدام ضغط مقداره $(٥ \text{ نيوتن} / \text{سم}^٢)$.

$$\begin{aligned} \text{الحل: ض} &= ٥ \text{ نيوتن} / \text{سم}^٢ = ٥٠٠٠٠ \text{ نيوتن} / \text{م}^٢ , \\ \text{ح}_٢ - \text{ح}_١ &= ٢٠٠٠ \text{ سم}^٣ - ٣٠٠٠ \text{ سم}^٣ = - ١٠٠٠ \text{ سم}^٣ . \\ \text{ح}_٢ - \text{ح}_١ &= ١٠٠٠ \text{ سم}^٣ - ٣٠٠٠ \text{ سم}^٣ = - ٢٠٠٠ \text{ سم}^٣ . \end{aligned}$$

وبما أنه حصل انكباس للغاز (أي قل حجمه)؛ فإن الشغل يكون كمية سالبة
 $\therefore \text{شغ} = \text{ض} (\text{ح}_٢ - \text{ح}_١) = ٥٠٠٠٠ \times - ١٠ - ٣ = - ٥٠٠ \text{ جول}$ ، وهذا مقدار الشغل المبذول.

مثال (٣):

حرك شخص مكبس أسطوانة إلى الخارج، فزاد حجم الهواء المحبوس فيها بمقدار (١٠٠٠ سم^٣)، فإذا كان ضغط الهواء داخل الأسطوانة (١٠×٢°) نيوتن/م^٢، فكم يكون مقدار الشغل المبذول في هذه الحالة؟

الحل:

حيث $\Delta H = 10 \times 2 = 20$ نيوتن/م^٢ ، والزيادة في حجم الهواء $\Delta H = H_2 - H_1 = 1000$ سم^٣ أي أن $\Delta H = 1000 \times 10^{-6}$ م^٣ ،
وحيث إن الضغط ثابت في هذه العملية (الأيروبارية)؛
فإن الشغل (شغ) = $\Delta H = (H_2 - H_1) \times \Delta H = 20 \times 1000 \times 10^{-6} = 200$ جول.

الشغل في العملية ثابتة الحجم : Work in Isochoric process

الضغط

ض_١

ض_٢

الحجم (ح) ح

شكل رقم (٨)

أولاً - بيانياً:

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 الخط المنحني 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.

الشغل في العملية الكظمية : Work in Adiabatic process

الضغط
ض_١

أولاً - بيانياً :

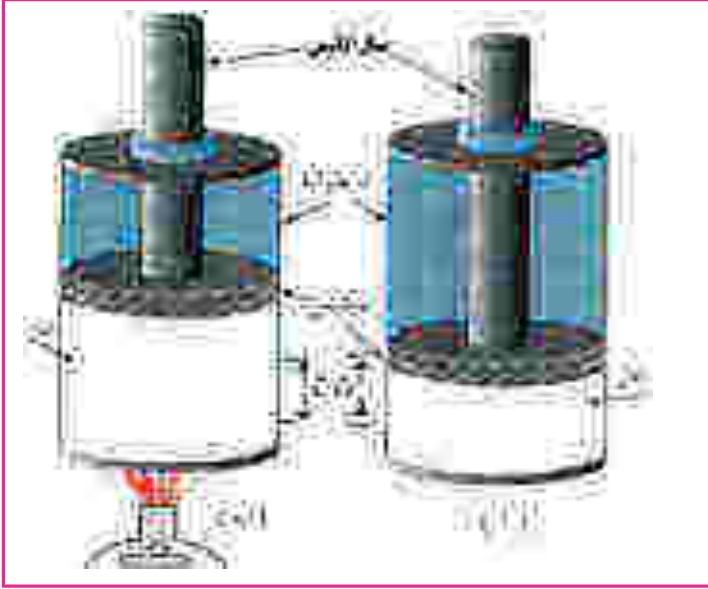
ض_٢

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. الحجم ح_٢ ح_١ شكل رقم (٩)

ولكي توجد مقدار الشغل في هذه العملية؛ ظلل 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 رقم (١٠)

للدديناميكا الحرارية ثلاثة قوانين تعرف بالقانون الأول، والقانون الثاني، والقانون الثالث للدديناميكا الحرارية. وستناول في هذه الوحدة القانون الأول، وفي الوحدة التالية القانون الثاني. أما بالنسبة للقانون الثالث فسوف تدرسه في السنوات القادمة، 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؟ وفيما يختص هذا القانون؟

لكي تتعرف على ذلك.. افترض أن لديك نظام ديناميكي حراري مكون من أسطوانة بها كمية من الغاز مزودة بمكبس يمكن تحريكه - أنظر الشكل (١٠ - ٢).

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 مقدار الشغل 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 ($\Delta ط$).. والصورة الرياضية للقانون الأول للديناميكا الحرارية هي:

$$\text{حر} = \text{شغ} + \Delta ط \quad \dots\dots\dots (١٠)،$$

$$\Delta ط = \text{حر} - \text{شغ} \quad \dots\dots\dots (١١).$$

$$\therefore \text{شغ} = 1,013 \times 10^\circ \times 0,002 = 2,026 \text{ جول.}$$

$$\therefore \text{التغير في الطاقة الداخلية } (\Delta \text{ ط د}) = \text{حر} - \text{شغ}.$$

$$\therefore \Delta \text{ ط د} = 2,026 - 4200 = 3997,4 \text{ جول.}$$

مثال (٥): بُذل شغل على غاز موضوع في أسطوانة بها مكبس، فكان التغير في الطاقة الداخلية للغاز (٢٠٠٠ جول)، فكم يكون مقدار الشغل الذي بذل، إذا علمت أن هذه العملية تمت دون تبادل حراري بين الغاز الوسط الخارجي المحيط به؟ .

الحل: بما أن هذه العملية تمت دون تبادل حراري، فإنها تكون عملية أديباتيكية (كظمية).
 $\therefore \text{حر} = \text{صفرًا}.$

$$\therefore \Delta \text{ ط د} = \text{حر} - \text{شغ} \text{ (القانون الأول).}$$

$$\therefore \Delta \text{ ط د} = \text{صفر} - \text{شغ}.$$

$$\therefore \Delta \text{ ط د} = - \text{شغ} \text{ وبما أن الشغل المبذول على النظام يكون كمية سالبة.}$$

$$\therefore 2000 = - (- \text{شغ}) \therefore \text{مقدار الشغل المبذول (شغ)} = 2000 \text{ جول.}$$

— ماذا تتعلم من هذا المثال؟

تطبيقات القانون الأول للديناميكا الحرارية (First Law Applications):

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:

$$\Delta \text{ ط د} = \text{صفرًا} ، \text{ وإذا عوضنا هذا في العلاقة الرياضية للقانون الأول؛ فإننا}$$

نحصل على الآتي:

$$\Delta \text{ ط د} = \text{حر} - \text{شغ} ، \text{ (القانون الأول).}$$

$$\text{صفر} = \text{حر} - \text{شغ}$$

$$\therefore \boxed{\text{شغ} = \text{حر}} \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{أي أن الشغل المبذول} = \text{كمية الحرارة (الطاقة الحرارية).} \left[\frac{2}{1} \right] \text{ ح} ،$$

$$\text{ولكن الشغل في هذه العملية - كما مر معك، شغ} = \text{ح}_1 \times \text{ض}_1$$

$$\text{أو شغ} = \text{ح}_1 \times \text{ض}_1 \left[\frac{\text{ض}_2}{\text{ض}_1} \right] \cdot$$

وبالتعويض عن (شغ) في العلاقتين السابقتين بالكمية (حر) ينتج أن:

$$\text{حر} = \text{ح}_1 \times \text{ض}_1 \left[\frac{\text{ح}_2}{\text{ح}_1} \right] \text{لو} \left[\frac{\text{ض}_2}{\text{ض}_1} \right] \text{..... (١٣)}$$

■ في العملية ثابتة الضغط: بما أن تغير النظام، أو انتقاله يتم في هذه العملية تحت ضغط ثابت، فإن الشغل المبذول فيها يكون:

$$\text{شغ} = \text{ض} (\text{ح}_2 - \text{ح}_1)؛ \text{وحيث إن العلاقة الرياضية للقانون الأول هي:}$$

$$\Delta \text{ط}_د = \text{حر} - \text{شغ}، \text{وبالتعويض عن (شغ) في هذه العملية نجد أن:}$$

$$\Delta \text{ط}_د = \text{حر} - \text{ض} (\text{ح}_2 - \text{ح}_1) \text{..... (١٤)}$$

وتتم هذه العملية عادة في الآلات البخارية.

مثال (٥): آلة بخارية تحتوي على كمية من الماء مقدارها (٥٠ جم)، سخنت إلى درجة حرارة (١٠٠ م°)، فتحولت نتيجة للتسخين إلى بخار حجمه (٨٣٥٥ سم^٣) عند ضغط جوي ثابت مقداره (١٠١٣، ١٠ × 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.

$$\text{وحيث إن } ٥٠ \text{ جم} = ٥٠ \text{ سم}^٣ = ١٠ \times ١٠^{-٦} \text{ م}^٣، \therefore \text{ح}_1 = ١٠ \times ١٠^{-٦} \text{ م}^٣.$$

$$\therefore \text{شغ} = ١٠١٣، ١٠ \times ١٠^{-٦} (٨٣٥٥ - ١٠ \times ١٠^{-٦})$$

$$\text{شغ} = ١٠١٣، ١٠ \times ١٠^{-٦} \times ٨٣٠٥ = ٨٤١، ٣ \text{ جول.}$$

وحيث إن الشغل كمية موجبة، فهذا يعني أنه حصلت زيادة في حجم النظام (الغاز).

$$\text{ب - } \therefore \Delta \text{ط}_د = \text{حر} - \text{شغ}؛$$

$$(\text{حيث إن حر} = ١٠٧٨٠ \text{ سعراً} = ٤، ٢ \times ١٠٧٨٠ = ٤٥٢٧٦ \text{ جول})$$

$$(\text{علماً بأن: } ١ \text{ سعراً} = ٤، ٢ \text{ جول})$$

$$\therefore \Delta \text{ط}_د = ٤٥٢٧٦ - ٨٤١، ٣ = ٤٤٤٣٤، ٧ \text{ جول.}$$

■ 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:

$$\Delta ط د = حر - شغ \quad \therefore \Delta ط د = حر - صفر$$

$$\therefore \Delta ط د = حر \quad \dots\dots\dots (١٥)$$

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 ومعزول 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 $\Delta ط د = حر - شغ$ ينتج أن:

$$\Delta ط د = - شغ \quad \dots\dots\dots (١٦)$$

وتوضح هذه العلاقة أن الطاقة الداخلية للنظام تزداد بمقدار الشغل المبذول على النظام.

مثال (٦): نظام معزول حرارياً يحتوي على غاز، فإذا بُذل شغل على الغاز مقداره: (١٥٠ جولاً).. فكم يكون مقدار التغير في الطاقة الداخلية للغاز؟

الحل:

$$\therefore \text{النظام معزول حرارياً} \quad \therefore حر = صفرًا.$$

$$\therefore \Delta ط د = حر - شغ \quad \therefore \Delta ط د = صفر - شغ$$

$$\text{أي أن: } \Delta ط د = - شغ \quad \text{وبما أن الشغل بذل على النظام شغ} = - ١٥٠ \text{ جولاً.}$$

$$\therefore \Delta ط د = - (- ١٥٠) = ١٥٠ \text{ جولاً.}$$

أي أن الطاقة الداخلية للغاز، تزداد بمقدار (١٥٠) جولاً.

ملاحظة: ١ سعر = ١٨, ٤ جول.

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)، فمثلاً 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 يرد أو يرجع الجسم الأبرد الحرارة نفسها التي اكتسبها من الجسم الأسخن عند الاتصال بدون بذل شغل، ومن هنا يمكن تعريف العملية اللاعكوسة 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.

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 فقدته، 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 فقدته حرارة أو شغل () .
- ٣- في العملية ثابتة درجة الحرارة يكون التناسب بين حجم كمية من الغاز، وضغطه تناسباً عكسياً () .

تابع تقويم الوحدة

- 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 بذل 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 . ج - المعزول . د - الكظمي .

٢ - تسمى العملية التي تتم على الغاز: بالنظام بحيث يتغير حجمه بتغير درجة حرارته عند ثبوت ضغطه بالعملية:

أ - ثابتة درجة الحرارة . ب - ثابتة الضغط .

ج - ثابتة الحجم . د - الكظمية .

تابع تقويم الوحدة

- ٣- في العملية (ثابتة الضغط) تكون العلاقة بين درجة الحرارة و..
أ - الضغط علاقة عكسية. ب - الحجم علاقة عكسية.
ج - الضغط علاقة طردية. د - الحجم علاقة طردية.
٤) يكون الشغل الميكانيكي مساوياً الصفر، عندما يكون النظام:
أ - ثابت الضغط. ب - ثابت الحجم.
ج - ثابت درجة الحرارة. د - معزولاً عزلاً حرارياً.
٥) يكون الشغل مساوياً التغير في الطاقة الداخلية للغاز، عندما تكون العملية الديناميكية الحرارية:

- أ - ثابتة درجة الحرارة. ب - ثابتة الضغط. ج - ثابتة الحجم. د - الكظمية.
٦- الصورة الرياضية للقانون الأول للديناميكا الحرارية هي:

أ - $\text{حر} = \text{شغ} - \Delta \text{ط د}$ ب - $\text{حر} = \text{شغ} + \Delta \text{ط د}$
ج - $\text{حر} = \text{شغ} \times \Delta \text{ط د}$ د - $\text{حر} = \text{شغ} \div \Delta \text{ط د}$

السؤال الرابع: عرّف 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
اللاعكوسة.

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.

تابع تقويم الوحدة

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

$= (0.04 \text{ م}^3)$ ، أثر على المكبس ضغط مقداره (700×10^3) نيوتن/م²، فتمدد

الغاز، وأصبح حجمه $= (0.044 \text{ م}^3)$ ، 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 =

(0.08 م^2) ؟.

السؤال الثاني عشر: احسب مقدار الشغل الذي يبذله غاز مثالي تمدد وفقاً لقانون بويل من

حجم $= (25000 \text{ سم}^3)$ إلى حجم $= (50000 \text{ سم}^3)$ ، وكان الضغط

(10^5 نيوتن/م^2) .

السؤال الثالث عشر: سلطت قوة مقدارها (200 نيوتن) على مكبس في أسطوانة تحتوي على

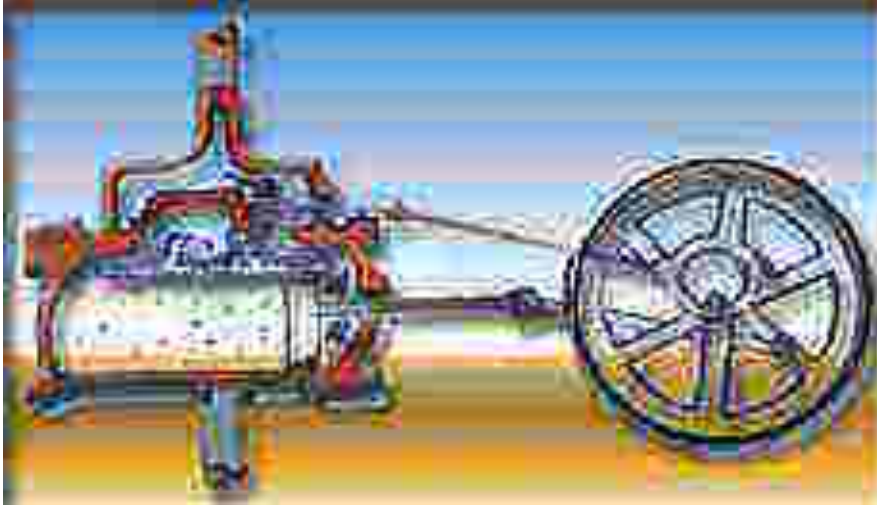
غاز، فنقص حجم الغاز من (5000 سم^3) إلى (3000 سم^3) .

احسب الشغل الذي أنجزته هذه القوة، إذا كانت مساحة قاعدة المكبس =

(100 سم^2) .

المحركات (الآلات) الحرارية والتلوث البيئي (Heat Engines And Environmental Pollution)

الوحدة السابعة



أهداف الوحدة

- ١- 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.

المحركات (الآلات) الحرارية والتلوث البيئي (Heat Engines' And Environmental Pollution)

المحركات (الآلات) الحرارية : (Heat Engines)



شكل (١)

- أنظر 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؟

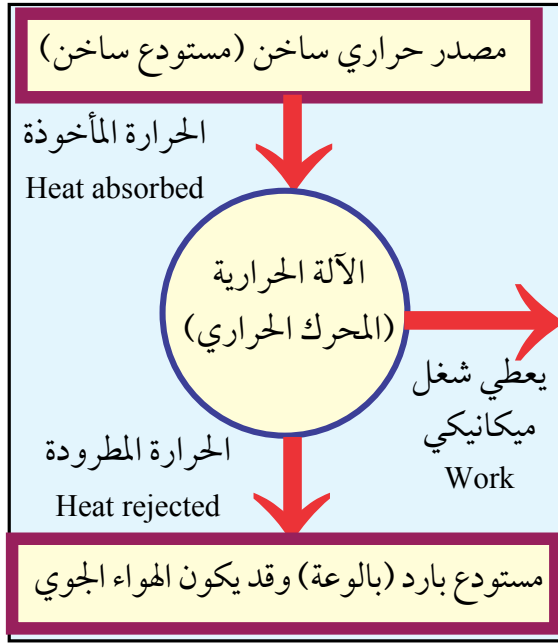
لتعرف على ذلك نفذ النشاط () في كراس الأنشطة، والتجارب العملية (المرفق بهذا الكتاب).

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). ومم 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.



شكل (٢)

والشكل (٢) يوضح رسماً تخطيطياً لفكرة عمل الآلة الحرارية حيث تمتص الحرارة اللازمة لعملها من المصدر الحراري الساخن، ثم تنجز شغلاً ميكانيكياً، 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 تستمدّها من المصدر الحراري في توليد

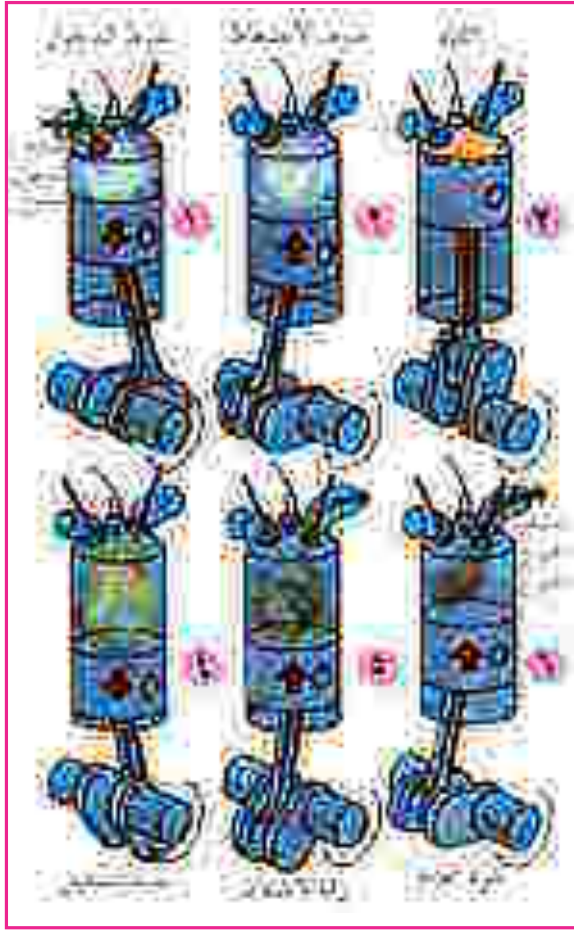
الشغل الميكانيكي، ولكن -فقط- جزءاً منها وتطرد الباقي كطاقة حرارية غير مستفاد منها (Unavailable Heat)، وهناك أنواع من الآلات (المحركات) الحرارية، مثل: (محرك البنزين، ومحرك الديزل، التوربين الغازي، الآلة (المحرك) البخاري، محرك الجازولين). وتعد جميع الآلات الحرارية أنظمة ديناميكية حرارية تأخذ الطاقة الحرارية من مصدرها الساخن، وتستغل جزءاً منها في إنتاج شغل ميكانيكي، وتطرد ما يتبقى منها إلى السمودع البارد (الهواء). وسنأخذ للدراسة المحرك الذي يعمل بالبنزين كمثال للآلات (المحركات) الحرارية.

محرك النفط (البنزين) petroleum(Benzine) Engine



شكل (٣)

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. أنظر الشكل (٣).



- كيف يقوم المحرك بعمله؟

لكي تتعرف على ذلك أنظر 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:

١- يهبط المكبس ساحباً معه الهواء وغاز

(الوقود) عبر صمام دخول الوقود

الذي يكون في هذه الحالة مفتوحاً بينما

يكون صمام خروج العادم مغلقاً.

شكل (٤) خطوات عمل محرك البنزين.

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 في أثناءه

الغاز المتمدد 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.

كفاءة المحرك الحراري : Heat Engine Efficiency

إن الشرط الأساسي 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 يستمدّها من المصدر الحراري الساخن خلال دورة كاملة.**

$$\text{أي أن: كفاءة المحرك} = \frac{\text{الشغل الناتج من المحرك}}{\text{الطاقة الحرارية الداخلة إلى المحرك}}.$$

فإذا افترضنا أن كمية الحرارة التي يستمدّها 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 ($\text{حر}_1 - \text{حر}_2$) وبذلك تصبح:

$$\text{كفاءة المحرك} = \frac{\text{شغل}}{\text{حر}_1} = \frac{\text{حر}_1 - \text{حر}_2}{\text{حر}_1} = 1 - \frac{\text{حر}_2}{\text{حر}_1} \dots (1)$$

حيث (شغل) 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 (1) على الصورة الآتية:

$$\text{كفاءة المحرك} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \text{ حيث } \frac{\text{حر}_2}{\text{حر}_1} = \frac{T_2}{T_1} \dots (2).$$

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 صفرًا عندما تكون ($T_2 = T_1$).

حاول أن تثبت ذلك.

ملاحظة: تقدر (T_1)، (T_2) بالدرجة المطلقة، وليس بالدرجة المئوية.

مثال (١): محرك حراري يأخذ كمية من الحرارة قدرها ٥٠٠ جول من مصدر حراري درجة حرارته ١٧°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:

$$\begin{aligned} \text{أ-} \quad & \therefore \text{كفاءة المحرك} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \text{ حر} \\ & \therefore \text{كفاءة المحرك} = 1 - \frac{350}{500} = 0.3 \text{ أو تساوي } 30\% \\ \text{ب-} \quad & \text{كفاءة المحرك} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \therefore \text{كفاءة المحرك} = 1 - \frac{T_2}{273+117} \\ & \therefore \text{كفاءة المحرك} = 1 - \frac{T_2}{390} \end{aligned}$$

$$\therefore 0.3 = 1 - \frac{T_2}{390} \therefore T_2 - 390 = 117 \text{ ، ومنها:}$$

$$T_2 = 273^\circ \text{K}$$

$\therefore$ درجة حرارة المستودع البارد مقدرة بالدرجة المطلقة 273°K .
وحيث إن العلاقة بين درجة الحرارة المطلقة، ودرجة الحرارة المئوية هي درجة الحرارة بالدرجة المطلقة = درجة الحرارة بالدرجة المئوية + ٢٧٣ .
أي $273 = \text{درجة الحرارة بالدرجة المئوية} + 273$ ،

$\therefore$ درجة حرارة المستودع البارد بالدرجة المئوية $273 - 273 = 0$ صفر م.

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، فأحسب:
أ - كمية الحرارة المطرودة. ب - الشغل الناتج من المحرك. ج - كفاءة المحرك.

الحل:

$$T_1 = 273 + 527 = 800^\circ \text{K}$$

$$T_2 = 273 + 7 = 280^\circ \text{K}$$

$$\therefore \frac{T_2}{T_1} = \frac{\text{حر}}{\text{حر}} \therefore \frac{280}{800} = \frac{\text{حر}}{3000} \text{ ، ومنها:}$$

$$\text{حر} = 1050 \text{ كيلو جول}$$

٢ - .: كمية الحرارة المطرودة = ١٠٥٠ كيلوجول.

ب - .: الشغل الناتج = حر_١ - حر_٢.

.: الشغل الناتج = ٣٠٠٠ - ١٠٥٠ = ١٩٥٠ كيلوجول.

ج - كفاءة المحرك = $1 - \frac{\text{حر}_2}{\text{حر}_1}$.

.: كفاءة المحرك = $1 - \frac{1050}{3000} = 1 - 0,35 = 0,65$ أو ٦٥٪،

أو كفاءة المحرك = $1 - \frac{T_2}{T_1}$.: كفاءة المحرك = $1 - \frac{280}{300} = 0,65$.
أو نحسبها من:

$$\text{كفاءة المحرك} = \frac{\text{الشغل}}{\text{حر}} = \frac{1950}{3000} = 0,65$$

وللعلم أن جميع المحركات (الآلات) الحرارية سواء أكانت ذات الاحتراق الخارجي، مثل: المحرك البخاري أم ذات الاحتراق الداخلي، مثل: محركات الديزل، والجازولين، 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 أنظر إلى الشكلين (٥)، (٦).



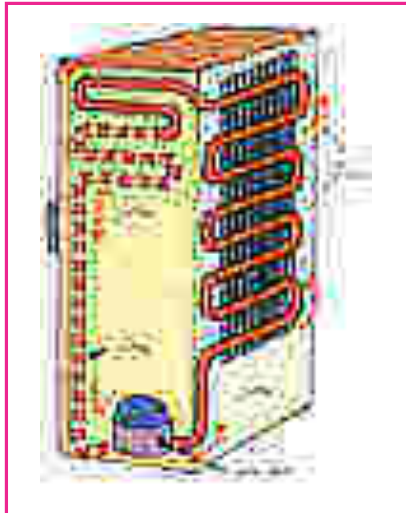
شكل (٦) آلة حرارية ممكنة (حسب نص كلاوزيوس).



شكل (٥) آلة حرارية مستحيلة (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.



شكل (٧)

الثلاجة (Refrigerator):

- ممّ 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.

تركب الثلاجة من ثلاثة أجزاء أساسية هي:

أ - المكبس (Piston).

ب - المكثف (Condenser).

ج - المبخر (Evaporator).

أنظر 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 مجمد الثلاجة (الفريزر Freezer) وبعدها يتبخر الغاز السائل، ويتحول إلى غاز (أي: يتحول إلى الحالة الغازية) يعود إلى المكبس، ويضغط 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 دورة كاملة، وتستمر الثلاجة في عملها.

ملاحظة: تمر أنبوبة المبخر على مجمد 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.

المحركات الحرارية والتلوث البيئي : (Heat Engines and Environmental Pollution)



أنظر إلى الصورة في الشكل (٨)، إنَّ هذا المنظر الذي يبدو في الصورة منظرٌ ليس مرغوباً فيه.. لماذا؟

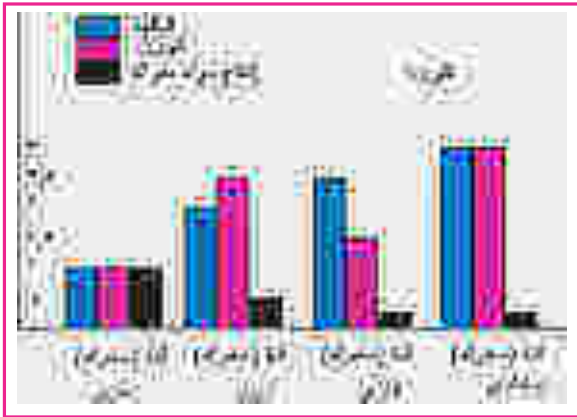
- في تصورك، كيف سيكون حال الهواء الجوي لمنطقتك، أو لمدينتك، أو لقريتك، أو لحارتك (حيك)؛ إذا ما زاد عدد مصادر الدخان (العام)؟

شكل (٨) مصادر التلوث البيئي الناتج عن المحركات الحرارية.

- ما الآثار السلبية الناتجة عن الدخان 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، والجازولين، 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)

أنظر 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.

- 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، فأأي 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.

المحرك (الآلة)	التلوث	الكلفة	الوزن
المحرك البخاري	٠,٢٥	٣	٣
المحرك (التربين) الغازي	٠,٢٥		
محرك الديزل	٠,٥		
محرك البنزين			

- من واقع الرسم البياني في الشكل (٩)؛ اكمل تملئة الجدول بنفس الطريقة التي أتبعته في الجدول الذي أمامك.

موضوع للبحث

أكتب مقالاً علمياً مبسطاً عن أثر المحركات الحرارية على سلامة البيئة (التلوث البيئي .. عواقبه السلبية والطرق العملية المقترحة للحد منه).

تقويم الوحدة

س ١: أكمل الفراغات الآتية بما يناسبها:

- أ - من الممكن تحويل الطاقة الحرارية إلى شغل ميكانيكي وذلك باستخدامالحرارية.
- ب - تعد جميع المحركات (الآلات) الحرارية أنظمةحرارية، تأخذ الطاقة الحرارية اللازمة لعملها من مصدرها الساخن، وتستغل جزءاً منها في توليد وتطرد ما يتبقى منها.
- ج - يتركب محرك البنزين في أبسط صورة من أسطوانة مزودة ب 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 الثلاثة من:و.....و.....

س ٢: 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) ().
- ج - لقد وجد أن الآلة الحرارية، أو المحرك الحراري يستخدم كل الطاقة الحرارية التي يستمدّها من المصدر الحراري في توليد الشغل الميكانيكي ().
- د - أن 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 ().

- 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 تطرد 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. ج - 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.
ج - مجموع الشغل الناتج من المحرك و الطاقة الحرارية الداخلة إلى المحرك.
د - الفرق بين الشغل الناتج من المحرك والطاقة الحرارية الداخلة إلى المحرك.

٣- تكون كفاءة المحرك مساوية للصفر، عندما تكون:

أ - $(T_2 = T_1)$. ب - $(T_1 = \text{صفرًا})$. ج - $(T_1 < T_2)$. د - $(T_2 > T_1)$.

٤- أي من الآلتين الحراريتين التاليتين تشابهان في عملهما:

أ - الثلاجة، ومحرك البنزين. ب - الثلاجة، والمحرك البخاري.

ج - الثلاجة، والمضخة الحرارية. د - المضخة الحرارية، ومحرك الديزل.

٥- أكثر المحركات الحرارية إنتاجاً للمواد الملوثة للبيئة هو:

أ - المحرك البخاري. ب - المحرك الغازي.

ج - 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 صفرًا إذا تساوت درجة حرارة المصدر الحراري

ودرجة حرارة المستودع البارد.

ج - 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، والجازولين، 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.

تابع تقويم الوحدة

س٨ : اذكر صيغة كلاوزيوس للقانون الثاني للديناميكا الحرارية ، ثم بين بالرسم التخطيطي الآلة الحرارية المستحيلة، والآلة الحرارية الممكنة حسب صيغة كلاوزيوس.

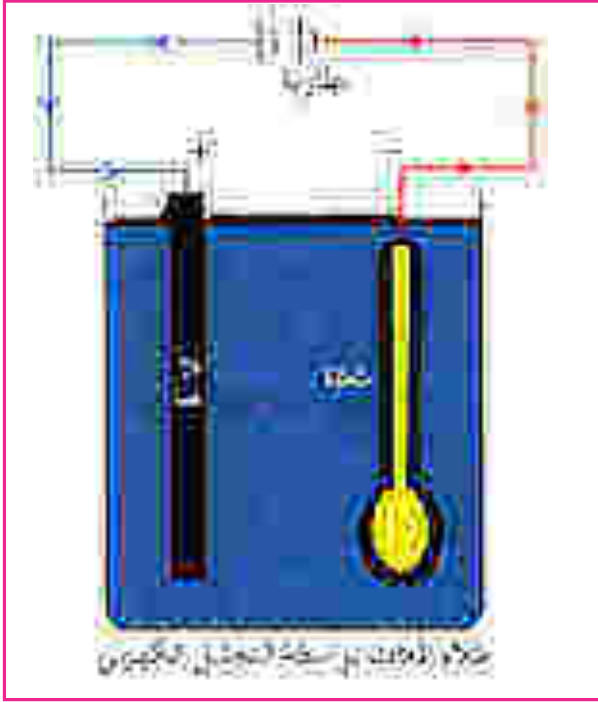
س٩ : محرك حراري يأخذ كمية من الحرارة من مصدر حراري درجة حرارته (٦٠٧°م)، ويطرد كمية من الحرارة إلى مستودع درجة حرارته (٥٧°م)، وفي أثناء ذلك ينتج شغلاً مقداره (٢٠٠ كيلو جول).. احسب:

أ - كفاءته الحرارية.

ب - مقدار الحرارة المأخوذة.

ج - مقدار الحرارة المطرودة.

س١٠ : يعمل محرك حراري بحيث يسحب كمية من الحرارة مقدارها (٣٠ كيلو جول) فإذا كانت درجة حرارة المصدر الحراري (١٤٧°م)، ويطرد كمية من الحرارة إلى مستودع درجة حرارته (٧°م) فأحسب مقدار الشغل الذي يبذله المحرك؟



أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد دراسته لهذه الوحدة أن يكون قادراً على أن:

١- يعرف كلاً من: القوة الدافعة

الكهربية - الطاقة الكهربية - القدرة

- عملية التحليل الكهربائي - الجول

- الكيلووات .ساعة.

٢- يذكر كلاً من القوانين الآتية:

قانون كيرشوف لدوائر التيار

المستمر.

قانون جول (للمقاومة المستهلكة).

قانون فاراداي (للتحليل الكهربائي).

٣- يحل مسائل تطبيقية على القوانين المذكورة أعلاه

٤- يحسب مقدار الطاقة الكهربية المستهلكة في دائرة بوحدات الجول والكيلووات.ساعة.

٥- يستخدم عملية التحليل الكهربائي في طلاء المعادن.

٦- يهتم بإجراءات السلامة المتبعة عند استهلاك الطاقة الكهربية.

سبق لك دراسة الطاقة الكهربائية والتيار الكهربائي عموماً، وعرفت أن هناك نوعان من التيار الكهربائي الناقل للطاقة الكهربائية، وهما: **التيار الكهربائي المستمر**، وهو الذي تكون شدته ثابتة مقداراً واتجهاً مع الزمن، ونحصل عليه من الأعمدة الكهربائية، أو من تقويم تيار الدينامو، ويستخدم في الأجهزة الإلكترونية عموماً، وفي عملية التحليل الكهربائي للسوائل. أما **التيار الكهربائي 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. وستابع في هذه الوحدة دراسة بعض القوانين والتطبيقات الخاصة بالتيار المستمر على أن يتم تناول التيار المتردد في المستقبل.

القوة الدافعة الكهربائية Electromotive force

كيف تتحرك الجسيمات المشحونة داخل الموصل الكهربائي؟.

هل ينطبق قانون نيوتن الأول على تلك الحركة؟.

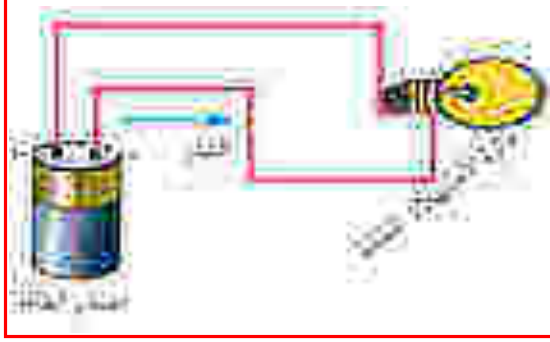
لكي تعلم ذلك تذكر الملاحظات التالية:

١ - الجهد الكهربائي على جسم مشحون موجود في مجال كهربائي: هو عبارة عن طاقة وضع كهربائية كامنة في الجسم يمكن للجسم أن يحولها إلى طاقة حركية عند وجود انحدار جهد وموصل كهربائي.

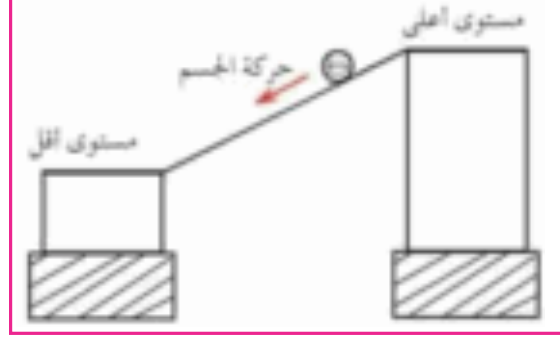
٢ - يمكن مقارنة الجهد الكهربائي على جسم بمقدار ارتفاع الجسم عن سطح البحر، وما يكتسبه من طاقة وضع عند رفعه إلى هذا المستوى انظر شكل (١)، وهذه الطاقة تتحول إلى طاقة حركية عند وجود اختلاف، في الجهد أو في الارتفاع.

٣ - إن مقدار الاختلاف في الجهد الكهربائي بين نقطتين والذي يسمى فرق الجهد الكهربائي (Potential difference): هو القوة المحركة أو الدافعة للجسيمات الكهربائية الناقلة للتيار الكهربائي بين النقطتين عند وجود موصل كهربائي يربط النقطتين.

٤ - يتطلب توليد هذا الفرق في الجهد الكهربائي بين نقطتين، تحول نوع من أنواع الطاقة إلى طاقة كهربائية، من أحد مصادر الطاقة الكهربائية كما هو موضح في الشكل (٢)، والذي يتم فيه هذا التحول، وتنشأ فيه نقطتان مختلفتان في الجهد، وتمتد الدائرة الكهربائية بالقوة الدافعة الكهربائية (ق.د.ك.) اللازمة؛ لتحريك التيار الكهربائي.



شكل (٢)



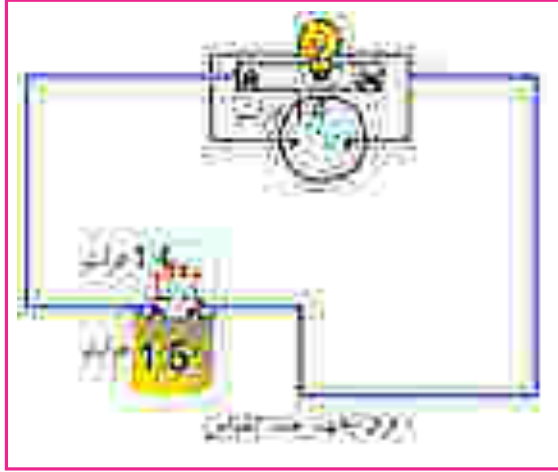
شكل (١)

٥ - مقدار طاقة الوضع التي يمتلكها الجسم يعتمد على مقدار فرق الجهد الكهربائي بين طرفي المصدر، ونستطيع أن نحصل على طاقة كهربائية نتيجة مرور التيار في الدائرة. ومقدار القوة الدافعة الكهربائية للمصدر تساوي مقدار الشغل الذي يبذل على تحريك الجسيمات المشحونة عند حركتها، وتغلبها على قوة المجال الكهربائي.

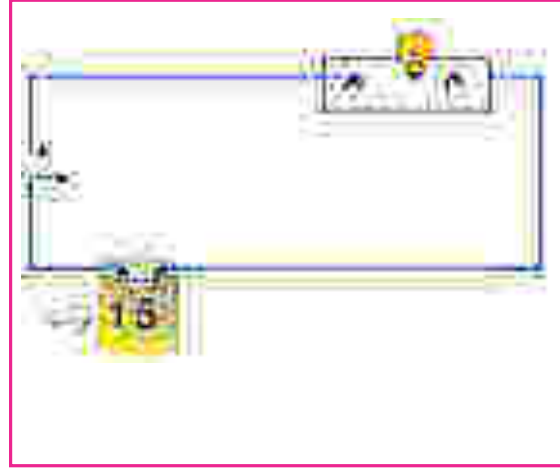
٦ - يكون مقدار القوة الدافعة الكهربائية للمصدر يساوي عددياً مقدار فرق الجهد بين طرفيه عندما تكون الدائرة الخارجية مفتوحة، ويقاس بوحدتي الفولت.

٧ - عند استخدام أجهزة القياس الكهربائية لقياس مقدار فرق الجهد الكهربائي بين طرفي المصدر فإن تياراً كهربائياً يمر في الدائرة، وهذا يعني أن جزءاً من الطاقة الكهربائية والقوة الدافعة قد استهلكت على شكل حرارة، وغيرها، وهذا يعني أن القراءة الظاهرة لجهاز القياس لا تعبر بدقة عن مقدار القوة الدافعة الكهربائية للمصدر، انظر الشكلين (٣)، (٤)، ولذلك يُعبر عن مقدار القوة الدافعة الكهربائية للمصدر بأنها مقدار فرق الجهد

الكهربائي (ج) بين طرفيه في دائرة مفتوحة، وهو يساوي عددياً مقدار الشغل المبذول في تحريك وحدة الشحنة بين نقطتين في مجال كهربائي: ج = $\frac{\text{الشغل}}{\text{مقدار الشحنة}}$



شكل (٤)



شكل (٣)

ملاحظة:

يكون اتجاه التيار من القطب الموجب إلى القطب السالب في الدائرة الخارجية ومن القطب السالب إلى الموجب داخل المصدر.
تجربة عملية: في دفتر العملي، ص (٢٧).
قياس القوة الدافعة الكهربائية: (ق.د.ك) لمولد، أو بطارية، ومقاومتها الداخلية عملياً.

قانونا كيرشوف لدوائر التيار المستمر Kirchhoffs laws for DC Circuits:

- ما الذي ينظم حركة الشحنات الكهربائية في الدوائر؟
- وما شكل توزيع طاقة الوضع (فرق الجهد) على الأحمال المختلفة في الدوائر الكهربائية؟
للإجابة عن تلك التساؤلات سنحاول التعرف على قانونا 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 الكهربائية في دوائر التيار المستمر، ومن تلك النتائج: قانوني كيرشوف الخاصين بدوائر التيار المستمر، وهما كما يلي:

القانون الأول لكيرشوف (Kirchhoff's 1st law)

ويسمى قانون حفظ الشحنة، (Charge Concervation law):
وأحياناً قانون كيرشوف لشدة التيار (Kirchhoff's Current law):



شكل (٥)

وفيه عالج العالم كيرشوف خاصية تفرع التيار الكهربائي في الدوائر الكهربائية إلى عدة فروع كما يظهر في الشكل (٥)، وكيفية التعامل مع تلك العملية، وينص القانون الأول لكيرشوف على ما يأتي:

«عند تفرع التيار الكهربائي عند نقطة في دائرة كهربائية مغلقة للتيار المستمر؛ فإن المجموع الجبري لشدة التيارات عند تلك النقطة = صفر»

ونعبر عنه رياضياً بالعلاقة التالية :

..... (١)

مجموع تيارات = صفر

(حيث $n = 1, 2, 3, \dots$ عدد صحيح موجب)

ويعتبر التيار الداخل للنقطة موجباً والتيار الخارج منها سالباً. أي أن: لا تراكم للشحنة الكهربائية عند نقاط التفرع في الدوائر الكهربائية للتيار المستمر.

فإذا مر تيار كهربائي شدته = I (أمبير) في جزء من دائرة، ثم تفرع عند نقطة ما إلى الفرعين: I_1 أمبير I_2 أمبير فإن: $I = I_1 + I_2$.
∴ $I = I_1 + I_2$ أنظر شكل (٥).



شكل (٦)

ففي الشكل (٦) يكون :

$I = I_1 + I_2 - I_3 - I_4$ صفر

ويسمى هذا المبدأ بمبدأ حفظ الشحنة

Charge Concervation

مثال (١): احسب في الدائرة المبينة في الشكل (٧) شدة التيارات المجهولة.

الحل:

نلاحظ في الدائرة المذكورة أن التيار (ت_٠) قد تفرع عند النقطة ١ إلى الفرعين ت_١، ت_٢، ثم تجمع الفرعان في نقطة ب إلى تيار موحد ت_٣، ومن قانون كيرشوف الأول لتفرع التيارات نجد أن:



شكل (٧)

$$I_1 = I_2 \quad \text{مبجأ تن = صفرأ (عند النقطة ١).}$$

$$\text{أي أن } I_0 = I_1 + I_2 = I_3 \quad \text{صفرأ.}$$

$$I_0 = I_1 + I_2 = I_3 \quad \text{صفرأ.}$$

$$I_0 = I_1 + I_2 = I_3 \quad \text{صفرأ.}$$

$$\therefore I_0 = I_1 + I_2 = I_3 \quad \text{صفرأ.}$$

وكذلك عند النقطة (ب) نجد أن:

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad \text{صفرأ.}$$

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad \text{صفرأ.}$$

$$\therefore I_0 = I_1 + I_2 = I_3 \quad \text{صفرأ.}$$

$$I_0 = I_1 + I_2 = I_3 \quad \text{صفرأ.}$$

نلاحظ إن التيار : ت_٠ = ت_٣ .

مثال (٢): أحسب مقدار كل من المقاومتين المجهولتين في الدائرة المقابلة في الشكل (٨).

الحل:

من الشكل (٨) نلاحظ أن شدة التيار الرئيسي ت_٠ = 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).

$$\text{ويكون } I_0 = I_1 + I_2 \quad \text{صفرأ. (قانون كيرشوف الأول).}$$

∴ ٥ - ٣ - ١ ت = صفراً. ومنه

١ ت = ٢ أمبير.

ومن قانون أوم يكون مقدار المقاومة المجهولة $\frac{3}{1} = \frac{6}{1} = ١٢$ أوم. ومقدار المقاومة $\frac{3}{2} = \frac{6}{2} = ٣$ 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.

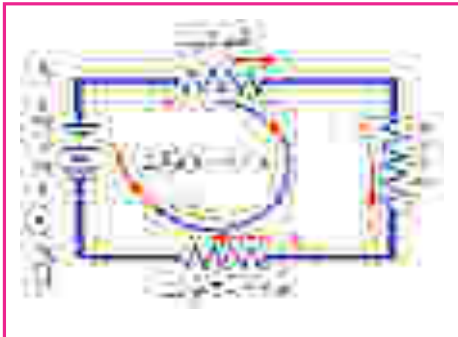
قانون كيرشوف الثاني

ويسمى أحياناً قانون كيرشوف للجهد (Kirchhoff Voltage Law):
ويعالج فروق الجهد (ج)، والقوى الدافعة الكهربائية (و) في الدوائر المغلقة، وينص القانون على أن:

«في أي دائرة مغلقة للتيار المستمر يكون المجموع الجبري لفروق الجهد والقوى الدافعة الكهربائية يساوي صفراً.

ويطلق عليه - أحياناً - قانون حفظ الجهد»، ونعبر عنه رياضياً بالعلاقة الآتية:

$$\text{مجم } و_n + \text{مجم } جن = \text{صفراً} \dots\dots\dots (٢)$$



شكل رقم (٩)

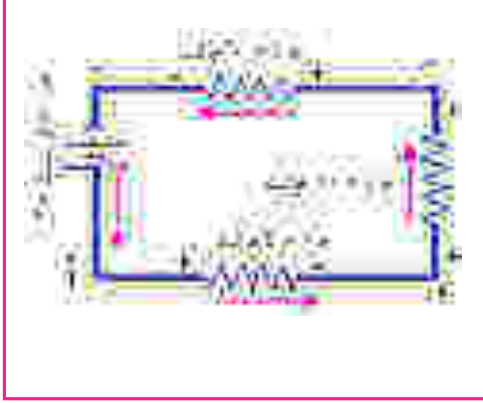
وكمثال على ذلك نعتبر الدائرة الكهربائية المغلقة المبينة في الشكل (٩)؛ ومع أخذ الاتجاه بعين الاعتبار وهو أن تكون إشارة الجهد أو القوة الدافعة الكربية موجبة عند الانتقال من القطب الموجب إلى السالب أو الانتقال في نفس جهة التيار والعكس صحيح:

$$\therefore \quad \text{و} - \text{ح}_1 - \text{ح}_2 - \text{ح}_3 = \text{صفرًا}.$$

$$120 - 30 - \text{ح}_2 - 40 = \text{صفرًا}.$$

$$\text{ح}_2 = 120 - 70,$$

$$\text{ح}_2 = 50 \text{ فولت}.$$



شكل (١٠)

مثال (٣): أحسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية للبطارية (و) في الدائرة الموضحة في الشكل (١٠).

الحل:

بتطبيق قانون كيرشوف الثاني على شكل (١٠) ونبدأ من نقطة (١) باتجاه النقطة (ب) نجد أن:

$$\text{و} - \text{ح}_1 - \text{ح}_2 - \text{ح}_3 = \text{صفرًا}.$$

$$\text{و} = \text{ح}_1 + \text{ح}_2 + \text{ح}_3$$

$$\text{و} = 6 + 10 + 4 = 20 \text{ فولتًا}.$$

الطاقة الكهربائية المستهلكة Electric Energy

ذكرنا سابقاً أن مرور تيار كهربائي في موصل ينتج عن وجود فرق جهد كهربائي بين طرفي الموصل، وهذا الفرق في الجهد يشكل بالنسبة للجسيمات المشحونة طاقة الوضع الكامنة في الجسيمات قبل حركتها، فإذا تحركت هذه الجسيمات في الموصل مشكّلة تيار كهربائي؛ فإن طاقة الوضع تتحول إلى طاقة حركية تتغلب بواسطتها الجسيمات على قوة المجال الكهربائي في الموصل، ويكون مقدار الطاقة الكهربائية المارة في موصل تساوي عددياً مقدار الشغل المبذول في التغلب على المجال الكهربائي في الموصل.

أي أن: الطاقة الكهربائية المستنفذة = مقدار الشغل المبذول لتحريك الشحنات داخل الموصل.

$$\text{الطاقة الكهربائية} = \text{فرق الجهد بين طرفي الموصل} \times \text{الشحنة الكهربائية}$$

(أرجع إلى موضوع القوة الدافعية الكهربائية ملاحظة (٧)) .

..... (٣). (حيث s_c مقدار الشحنة)

$$ط = ج \times س_c$$

ولكن $\frac{\text{الشحنة}}{\text{الزمن}} = ت$ ،
∴ $s_c = ت \times ز$ بالتعويض في (٣) نجد أن:

..... (٤)

$$ط = ج \times ت \times ز$$

وحيث أن: $ج = م \times ت$.

..... (٥)

$$∴ ط = م \times ت^2 \times ز$$

وتقاس الطاقة بوحدة الجول.

القدرة الكهربائية Electric Power :

تعرف القدرة الكهربائية (قد) للمولد بأنها المعدل الزمني لاستعمال الطاقة.

أي أن: $قد = \frac{\text{الطاقة}}{\text{الزمن}} = \frac{ط}{ز}$.
ومن العلاقتين (٤) و (٥) نجد أن:

..... (٦)

$$قد = م \times ت^2 = ج \times ت = \frac{ج^2}{م}$$

وتقاس (قد) بوحدة الوات. ويعرف الوات بأنه مقدار الطاقة الكهربائية المستنفذة من

سلك فرق الجهد بين طرفيه واحد فولت ويمر به تيار شدته ١ أمبير لمدة ثانية واحدة.

أي أن الوات = $\frac{\text{جول}}{\text{ثانية}}$.
∴ جول = وات × ثانية

تعريف الكيلووات. ساعة:

هي الوحدة العملية التجارية لقياس الطاقة الكهربائية المستهلكة بدلاً من الجول

وهي تساوي عددياً مقدار الطاقة الكهربائية المستهلكة من مصدر قدرته واحد

كيلووات لمدة زمنية مقدارها ساعة واحدة.

∴ كيلووات × ساعة = ٣٦٠٠٠٠٠ جول.

مثال (٤): أحسب بالجول وبالكيلووات. ساعة مقدار الطاقة الكهربائية المستهلكة لإضاءة مصباح قدرته (١٠٠) وات لمدة أربع ساعات.

الحل:

الطاقة الكهربائية المستخدمة في إضاءة المصباح = قدرة المصباح $\times$ الزمن
 $\text{طا} = \text{قد} \times \text{ز}$

$$= 100 \text{ وات} \times 4 \text{ ساعة} = (100) \text{ وات} \times 4 \text{ ساعات،}$$

$$= 100 \frac{\text{جول}}{\text{ثانية}} \times 4 \times 60 \times 60 \text{ ثانية}$$

$\therefore$ الطاقة المستهلكة = ١٤٤٠٠٠٠ جول.

$\therefore$ كيلو وات ساعة = ٣٦٠٠٠٠٠ جول

$\therefore$ الطاقة المستهلكة = $\frac{1440000}{3600000} = 0,4$ كيلو وات ساعة

مثال (٥): أحسب مقدار الطاقة الكهربائية بالجول والكيلووات. ساعة، والتي تستهلكها مجموعة من المصابيح وعددها عشرون مصباحاً، وكُتِبَ على كلٍّ منها (١١٠ فولت، ٦٠ وات) إذا أُضيئت المجموعة لمدة خمس ساعات. ثم أحسب مقاومة المصباح.

الحل:

طا كلية = عدد المصابيح $\times$ طاقة المصباح الواحد،

طا كلية = عدد المصابيح $\times$ قدرة المصباح $\times$ الزمن،

$$= 20 \times 60 \times 5 \times 3600$$

$$= 2160000 \text{ جول.}$$

$$= \frac{2160000}{3600000} = 0,6 \text{ كيلو وات ساعة.}$$

ولحساب مقدار مقاومة المصباح الواحد فإن:

$$\text{قدرة المصباح} = \frac{\text{ح}^2}{\text{م}}$$

$$\therefore \text{مقاومة المصباح} = \frac{\text{ح}^2}{\text{قد}} = \frac{110 \times 110}{60} = \left(\frac{\text{فولت} \times \text{فولت}}{\text{وات}} \right)$$

$$\text{مقاومة المصباح} = 201,7 \text{ أوم.}$$

Heat effects of DC، التأثيرات الحرارية للتيار المستمر،

من دراستك للتأثيرات المختلفة للتيار الكهربائي علمت أن التيار الكهربائي المار في موصل يخسر جزءاً من الطاقة الكهربائية التي تتحول إلى طاقة حرارية بسبب مقاومة السلك لحاملات الشحنة المكونة للتيار.

إن عدد الأجهزة الكهربائية التي تقوم فكرة عملها على أساس تحول جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية - والتي تستعملها في حياتك اليومية - كثيرة جداً (مثل السخانة أو المكنة) الأمر الذي يؤكد أهمية تلك التأثيرات الحرارية للتيار الكهربائي في حياتنا اليومية. ولكن ما هي العوامل التي يتوقف عليها مقدار كمية الحرارة المتولدة في موصل عند مرور تيار كهربائي فيه؟

للإجابة عن هذا السؤال قم بإجراء التجربة العملية بهذا الخصوص في كراس التجارب، والأنشطة.

من تلك التجربة ستلاحظ أن مقدار كمية الحرارة المتولدة في موصل عند مرور تيار كهربائي فيه، تتوقف على العوامل الآتية:

١ - شدة التيار الكهربائي المارة في الموصل. حيث: α ت^٢. أي أنه (تناسب كمية الحرارة المتولدة في موصل طردياً مع مربع شدة التيار المارة فيه).

٢ - فرق الجهد ج على طرفي الموصل. حيث: α ج. أي أنه (تناسب كمية الطاقة الحرارية المستهلكة في موصل طردياً مع فرق الجهد الكهربائي للموصل).

٣ - الزمن الذي يمر خلاله التيار (ز). حيث: α ز. أي أن (كمية الطاقة المتحولة تناسب 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 كهربائي فيه، وتوصل من ذلك إلى قانونه الهام الذي سُمي باسمه (قانون جول).

وينص على أن:

«كمية الحرارة المتولدة في سلك عند مرور تيار كهربى فيه تتناسب طردياً مع كل من مقاومة السلك وزمن مرور التيار كما تتناسب طردياً مع مربع شدة التيار المار فيه».

ملاحظة: بالنظر إلى العلاقتين (٤) و (٥) يمكن أن تلاحظ إن الطاقة الكهربائية تتناسب مع الجهد والتيار والزمن أو مع مربع التيار والزمن والمقاومة، إذا كان التيار يمر في مقاومة خالصة (ليست على شكل ملف) أي أن:



طا $\propto$ ت

طا $\propto$ ج

طا $\propto$ ز

∴ طا $\propto$ ت $\times$ ج $\times$ ز .

أو طا حر = مقدار ثابت $\times$ ت $\times$ ج $\times$ ز .

شكل (١١) .

هذا المقدار الثابت يرمز له بالرمز (ي) ويسمى (مكافئ جول)، أو المكافئ الكهروحرارى، ويعتمد على وحدات القياس.

∴ طا = ي $\times$ ت $\times$ ج $\times$ ز جول (٧)

أما القدرة لهذه الطاقة فهي المعدل الزمني للطاقة المستهلكة أي:

القدرة = ي $\times$ ت $\times$ ج وات (٨)

وإذا استخدمت وحدات القياس العملية: (أمبير لشدة التيار، والفولت للجهد، والأوم للمقاومة، والثانية للزمن)؛ فإن قيمة مكافئ جول تكون (١٨ , ٤ جول / سعر).

أو ي = ١٨ , ٤ $\times$ ١٠^٧ ارج / سعر.

تعريف الجول:

هو مقدار الطاقة الكهربائية المستهلكة في موصل فرق الجهد بين طرفيه (واحد)

فولت، ويمر به تيار كهربى شدته (واحد) أمبير لمدة ثانية واحدة.

مثال (٦): أحسب مقدار الطاقة الحرارية (حر) المتولدة في سلك مقاومته = ١٠ أوم عند مرور تيار كهربى شدته (٢) أمبير لمدة (٧) دقائق.

الحل: $ز = 60 \times 7 = 420$ ثانية ، $م = 10$ أوم ، $ت = 2$ أمبير.
يمكن حساب مقدار كمية الحرارة (حر) المتولدة في الموصل من العلاقة

$$\text{حر} = ت^2 \times م \times ز$$

$$\therefore \text{حر} = 2 \times 2 \times 10 \times 420 = 16800 \text{ جول}$$

$$\text{حر} = 16800 \text{ جول}$$

$$\text{حر} = \frac{16800}{4,18}$$

$$\text{حر} = 4019 \text{ سعر}$$

مثال (٧): أحسب مقدار كمية الحرارة بالسعر المتولدة في موصل يتصل بفرق جهد مقداره ٦٠ فولتاً، ويمر به تيار شدته (٢) أمبير لمدة ساعة واحدة.

$$\text{الحل: حر} = ت \times ح \times ز ،$$

$$= 2 \times 60 \times 60 \times 60 = 432000 \text{ جول.}$$

$$= 432000 \text{ جول.}$$

$$= \frac{432000}{4,18} = 103349 \text{ سعر.}$$

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)

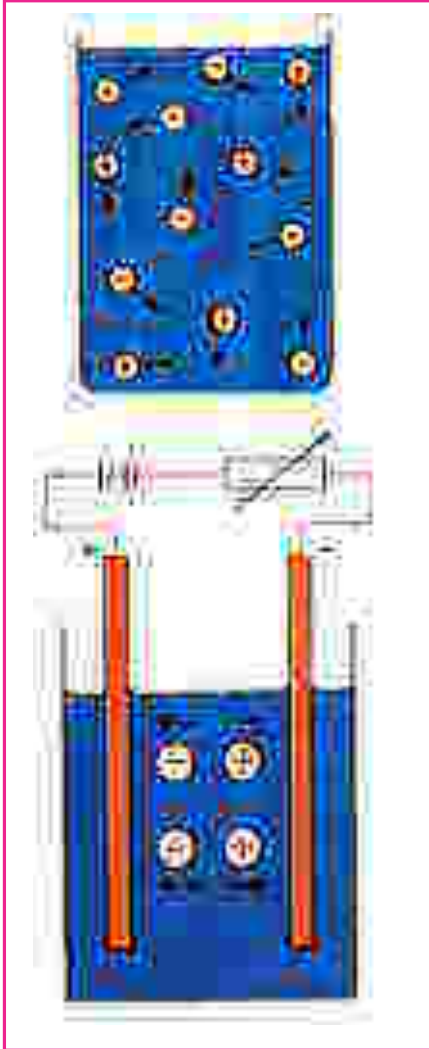
- خذ إناء زجاجياً به كمية من الماء المقطر، واغمس داخله قطبين من الكربون متصلين بقطبي بطارية، ومفتاح، وجلفانومتر.
- أغلق الدائرة، ولاحظ مؤشر الجلفانومتر.

ماذ تشاهد؟

- أضف كمية من ملح الطعام إلى الماء المقطر، ولاحظ مؤشر الجلفانومتر.
- استنتج من مشاهدتك تصنيف كل من الماء المقطر، والماء المالح كهربياً.

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 الكهربى، واستنتاج آلية التوصيل الكهربى لمحلول ملح الطعام في الماء.

تمثل ذرات الماء المقطر والملح -كل على حدة - ثنائي قطب كهربى، 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 كهربى من ثنائيات قطب الماء التي تلتف حول أقطاب الملح. وهذا يؤدي إلى تفكك الروابط لكل منهما، وتكسرهما، وتحرر الأيونات الموجبة، والسالبة ومشاركتها في التوصيل الكهربى للمحلول الذي يصبح بذلك جيد التوصيل كهربياً.



ويمكنك من خلال ما تقدم استنتاج آلية التوصيل الكهربى للسوائل، أو المحاليل التي تسمى محاليل إلكتروليتيّة (Electrolytes).

فعملية التوصيل تتم بواسطة الأيونات الموجبة، والأيونات السالبة المتكونة في المحلول، فعند توصيل قطبين مغموسين في محلول إلكتروليتي بواسطة مصدر فرق جهد كهربى، فإن الأيونات الموجبة تنجذب نحو القطب السالب، والأيونات السالبة تنجذب نحو القطب الموجب، ويمر تيار كهربى في المحلول، وترسب كمية من المادة على القطب السالب، وتسمى هذه العملية التحليل الكهربى للمحلول (Electric analysis).

ويسمى الجهاز المستخدم في العملية بعمود التحليل الكهربى.

شكل (١٢).

قانونا فاراداي للتحليل الكهربائي (Faraday Laws for Electrical analysis)

وهما القانونان اللذان يدرسان نتائج التحليل الكهربائي، والعلاقات الرياضية التي تنظمهما؛ حيث درسها العالم فاراداي وقد كتبت باسمه: قانونا فاراداي للتحليل الكهربائي.

قانون فاراداي الأول، (Faraday: 1'st Law)

توصل العالم فاراداي من خلال نتائج التجارب التي أجراها لهذا الغرض إلى أن كتلة المادة المترسبة، أو المتحللة في عمود تحليل كهربائي تتناسب طردياً مع كمية الشحنة الكهربائية المارة في العمود.

أي أن:

ك $\propto$ س_ع ؛ حيث (ك) كتلة المادة المترسبة ، (س_ع) كمية الشحنة المارة.
∴ ك = مقدار ثابت × س_ع.

ويطلق على هذا المقدار الثابت المكافئ الكيميائي الكهربائي للمادة، ويرمز له بالرمز ك.

∴ ك = ك × س_ع . ولكن س_ع = ت × ز .

∴ ك = ك × ت × ز (٩)

حيث (ز) هو زمن مرور التيار .

تعريف: المكافئ الكيميائي الكهربائي للمادة هو كتلة المادة المترسبة، على مهبط في عمود تحليل كهربائي عند مرور شحنة كهربائية مقدارها (واحد) كولوم خلاله.
ووحدة قياسه = كجم / كولوم.

مثال (٨): أحسب كتلة الفضة المترسبة على كاثود عمود تحليل كهربائي لنترات الفضة إذا مرّ فيه تيار كهربائي شدته (٢) أمبير لمدة خمس دقائق علماً بأن المكافئ الكيميائي الكهربائي للفضة هو:

ك فضة = ٠,٠٠١١١٨ جم / كولوم.

الحل: ز = ٥ × ٦٠ = ٣٠٠ ثانية.

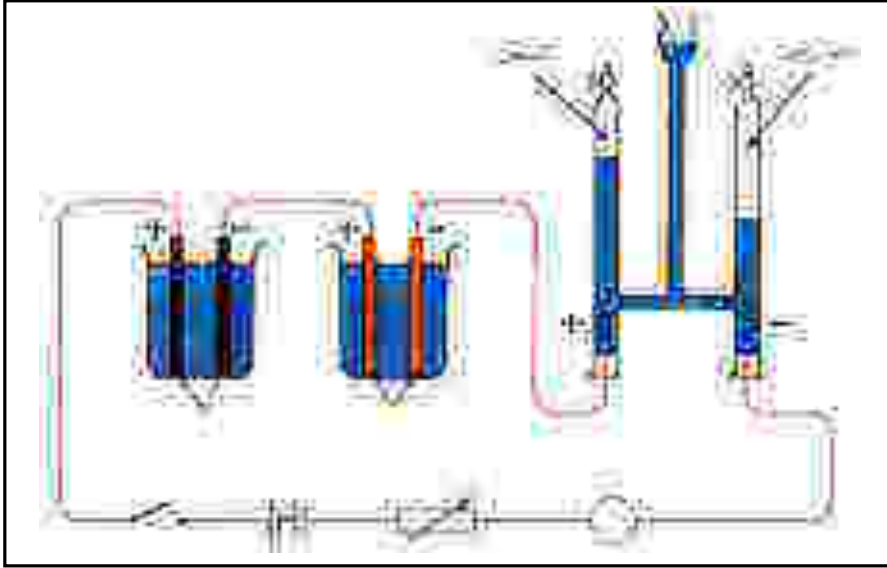
∴ من العلاقة (٩) نجد أن:

ك = ك × ت × ز = ٠,٠٠١١١٨ × ٢ × ٣٠٠ = ٠,٦٧٠٨ جم .

قانون فاراداي الثاني، (Faraday 2'nd Law):

وهو القانون الذي يناقش اختلاف نتائج التحليل الكهربائي باختلاف نوع المادة المترسبة لنفس كمية الشحنة الكهربائية وينص على أن:

«كتل المواد المترسبة، أو المتحللة في أعمدة تحليل كهربائي لمحاليل تلك المواد تتناسب طردياً مع تكافؤاتها الكيميائية».



شكل (١٣)

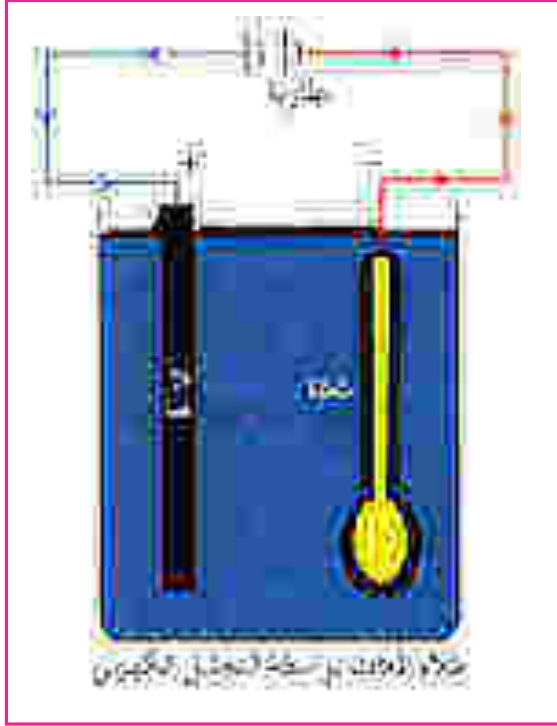
أي أنه إذا مرت شحنة كهربائية مقدار س ٢ كولوم في كل من محاليل نترات الفضة، وكبريتات النحاس، وكلوريد الصوديوم؛ فإن كتل المواد المترسبة في تلك الأعمدة تكون متناسبة مع المكافئات الكيميائية لكل منها.
أي عند مرور تيار كهربائي واحد في أعمدة تحليل كهربائي لكل من الفضة والنحاس والصوديوم فإن:

$$\text{ك Cu} : \text{ك Na} = \text{تكافؤ الفضة} : \text{تكافؤ النحاس} : \text{تكافؤ الصوديوم}.$$

تطبيقات على التحليل الكهربائي للسوائل

أولاً - طلاء المعادن:

لعلك سمعت ببعض الأواني التي تطلّى ببعض الفلزات من أجل رفع قيمتها الجمالية، أو الحفاظ عليها.

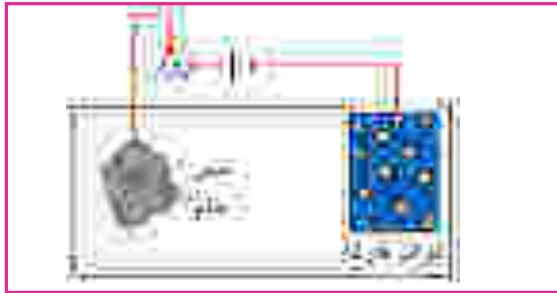


شكل (١٤)

وتستخدم عملية التحليل الكهربائي في طلاء المعادن بأحد الفلزات الثمينة، مثل طلاء الأدوات المنزلية، والتحف بالفضة، أو الذهب.

ويستخدم الجهاز المبين في الشكل (١٤) في سبيل ذلك حيث يوضع الجسم المراد طلاؤه كاثوداً (مهبط) في عمود تحليل كهربائي لأحد المحاليل الإلكتروليتية للفلز المراد استخدامه كمادة طلاء ويستخدم أنوداً (مصعد) من نفس مادة الفلز. ويمرر تيار كهربائي لفترة زمنية كافية حتى تترسب طبقة كافية من الفلز على الإناء المراد طلاؤه.

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.



شكل (١٥)

ثانياً: تنقية المعادن:

كثيراً ما تستخلص المعادن من خامات طبيعية تحتوي على مجموعة من الشوائب، والمواد الإضافية مع المعدن الأصلي المراد استخلاصه.

ولتنقية المعدن الأصلي من مجموعة الشوائب، والمواد الإضافية؛ تستخدم عملية التحليل الكهربائي، وذلك باستخدام الجهاز المبين في الشكل رقم (١٥).

وفيه يعلق الحجر الخام الذي يحتوي على العنصر المراد تنقيته ليمثل كاثوداً في عمود تحليل كهربائي لأحد المحاليل الملحية للمعدن، ويوضع الأنود على شكل قوالب معدنية تستقبل المعدن المستخلص. فعند مرور التيار الكهربائي في عمود التحليل لفترة زمنية كافية فإن ذرات المعدن النقي تترسب داخل القوالب وتحتفي من الحجر الخام فنحصل من القوالب على مادة المعدن النقي.

تقويم الوحدة

س ١: أذكر قانونا كيرشوف للتيار المستمر.

س ٢: أكمل الفراغات التالية:

- يستخدم التحليل الكهربى فى و.....
 - مقدار الطاقة الكهربائية المتحولة إلى حرارة فى موصل تتوقف على.....،.....،.....
 - المكافئ الكيميائى الكهربى للمادة هو:.....
 - الجول = كيلوات. ساعة.
- س ٣: اشرح تجربة عملية لحساب المكافئ الحرارى الكهربى، (مكافئ جول).
- س ٤: احسب مقدار الطاقة الكهربائية المتحولة إلى حرارة فى سلك مقاومته (٥٠) أوم إذا مر فيه تيار شدته (٢) أمبير لمدة عشرة دقائق.
- س ٥: عرف مكافئ جول، وأذكر وحدة قياسه.
- س ٦: اذكر نص قانون فاراداي الثانى.
- س ٧: احسب كتلة الفضة المترسبة على كاثود عمود تحليل كهربى لنترات الفضة يمر به تيار شدته (١٠) أمبير لفترة زمنية مقدارها (٢٤) ساعة إذا علمت أن المكافئ الكيميائى للفضة = ٠,٠٠١١١٨ جم/كولوم.

المغناطيسية والتأثيرات المغناطيسية للتيار الكهربائي Magnetism and the magnetic effect of an electrical current

الوحدة
التاسعة



أهداف الوحدة

- يتوقع منك بعد الانتهاء من دراسة الوحدة أن تكون قادراً على أن:
 - تعرف المفهوم العلمية الآتية:
- المغناطيس - القطب المغناطيسي - القوة المغناطيسية - المجال المغناطيسي - الفيض المغناطيسي - المغناطيس الطبيعي - المغناطيس الصناعي.
- تفسر 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 التمهنت.
- تعين 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.

- تصف حركة شحنة في مجال مغناطيسي.
- تجري عملياً التجارب الخاصة بالمجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي في:
 - أ - سلك مستقيم.
 - ب - ملف دائري.
 - ج - ملف حلزوني.
- توجد مقدار القوة المؤثرة في موصل يحمل تيار كهربائياً.
- تستنج 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 electrical current)**

يعتقد أن الصينيين هم أول من اكتشف الخاصية المغناطيسية وهي خاصية الجذب التي يمتلكها المغناطيسيات للمواد المغناطيسية وخاصية الجذب والتنافر بين الأقطاب حيث أنه في منطقة مغنيسيا والتي تعتبر جزء من آسيا لاحظ 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 علقت هذه الحجارة بخيوط وتركت 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 التليفونات (الهواتف) وفي المراوح الكهربائية وفي مكبرات الصوت وأشرطة الفيديو والأشرطة السمعية المستخدمة في المسجلات وغير ذلك ، وجميعها تعتمد في عملها على الأثر المغناطيسي للتيار الكهربائي.

المغناطيس، والأقطاب المغناطيسية (Magnetic poles, and magnetism)

لقد تعرفت في دراستك السابقة على مفهوم المغناطيس، فما تعريفك له؟ وما المواد التي تسمى بالمواد المغناطيسية، والمواد الغير مغناطيسية؟
- اذكر أمثلة لكل من المواد المغناطيسية، وغير المغناطيسية.



- 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 الباعث عن الشمال، ويمكن أن نرمز له بالرمز: س (N)، وأما القطب الذي يتجه نحو الجنوب الجغرافي يسمى بالقطب الجنوبي، أو القطب الباعث عن الجنوب، ويرمز له بالرمز: ج (S).

وبالتالي؛ فإن لكل مغناطيس قطبين مختلفين في النوع، ولكنها متساويان في الشدة (القوة)، ولا يوجد مغناطيس منفرد. أي أن له قطب واحد فقط.

وإذا قسم المغناطيس إلى قسمين؛ فإن كل قسم يصبح مغناطيساً مستقلاً، له قطبين. 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 الدليل العملي).

أنواع المغناطيسات (Kinds of magnets) :

يوجد نوعان من المغناطيسات أحدهما يوجد في الطبيعة في القشرة الأرضية كما عرفت. وهو عبارة عن أحجار سوداء تسمى الماجنيتيت، وهو عبارة عن مركب كيميائي يعرف باسم أكسيد الحديد المغناطيسي (Fe_3O_4). أما النوع الآخر فهو يصنع من قبل الإنسان، وقد يصنع من الحديد المطاوع (Iron)، أو الحديد الصلب، أو الفولاذ Steel، وفي أشكال 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؟.



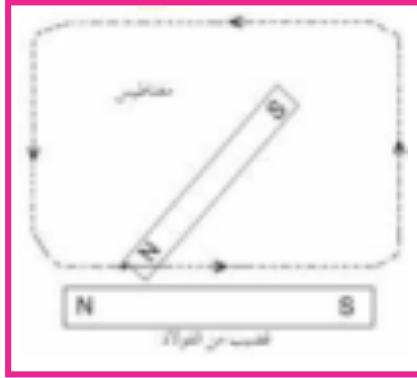
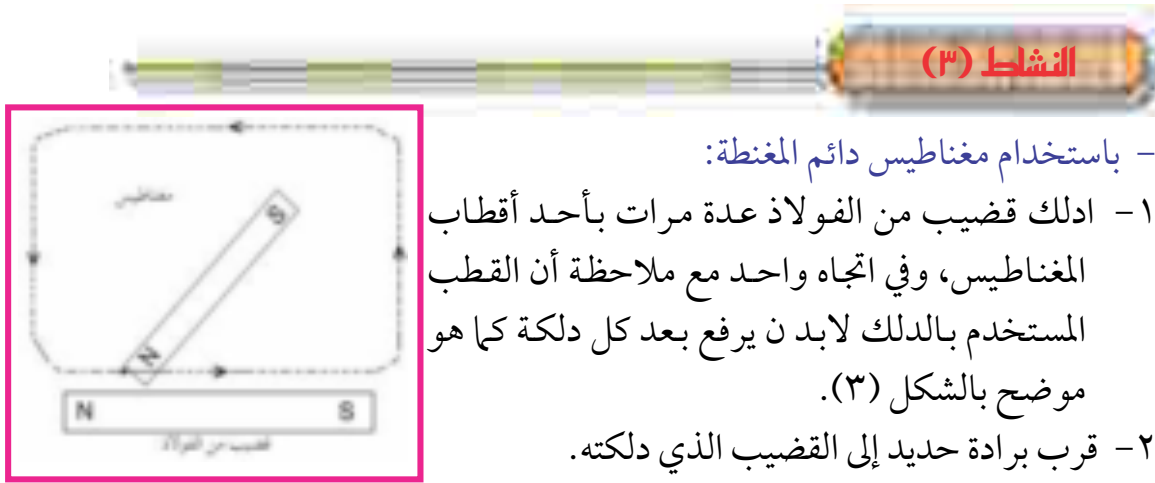
الأدوات: قطعتان متساويتان في الطول إحداهما من الحديد المطاوع والأخرى من الحديد الصلب، برادة حديد، مغناطيس، حامل خشبي.

- ١ - ثَبِّتْ قطعتي الحديد على الحامل الخشبي كما هو موضح بالشكل (٢).
- ٢ - ضَعْ عليهما (ومن أعلا مغناطيس) دائم المغنطة
- ٣ - قرب برادة الحديد من الطرفين الآخرين للقطعتين.
 - ماذا يحدث لبرادة الحديد؟
- ٤ - أبعد القضيب المغناطيسي من على القطعتين.
 - ماذا يحدث لبرادة الحديد؟
 - ماذا تستدل من النشاط؟



شكل (٢)

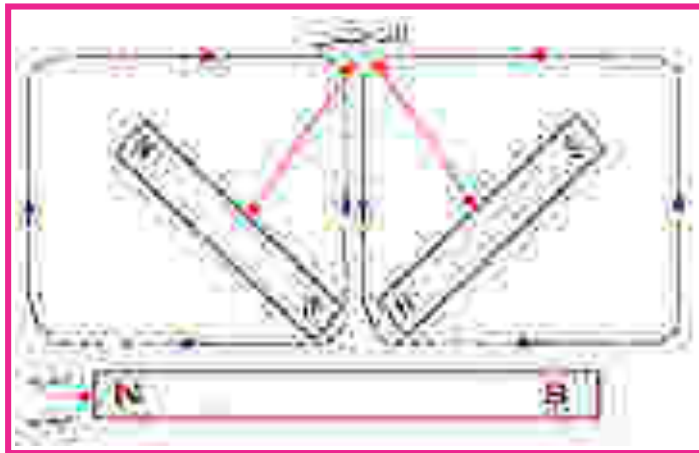
- كيف تصنع مغناطيسيا .
يمكن عمل مغناطيس بطرق مختلفة منها:
أ - الدلك Stoking:



شكل (٣)

- 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 يرفع 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 Stoking by Using Two permanent 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).

٢- قَرِّبْ برادة الحديد إلى القضيب الذي دلكته.

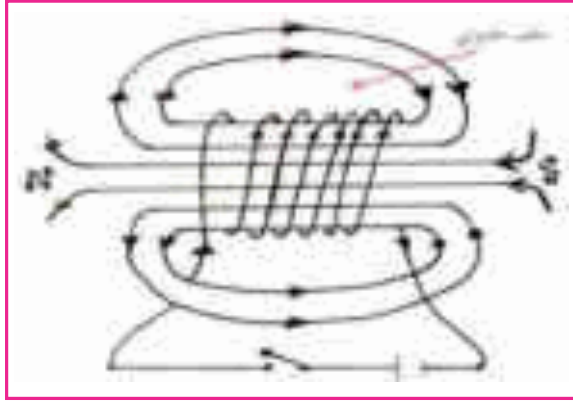
- ماذا يحدث لبرادة الحديد؟

ج- باستخدام تيار كهربائي مستمر By using direct current



تحتاج لتنفيذ هذا النشاط الأدوات الآتية:

- سلك طويل من النحاس، قضيب من الحديد المطاوع، بطارية جافة، مفتاح كهربائي، إبرة مغناطيسية.



شكل (٥)

- لف سلك النحاس حول قضيب الحديد المطاوع لفاً حلزونياً لأكثر من مائة لفة، ثم انزع القضيب.

- صل طرفي السلك على التوالي بقطبي البطارية الجافة، والمفتاح غير مغلق كما هو موضح بالشكل (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 سمح التيار الكهربائي بالمرور 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.

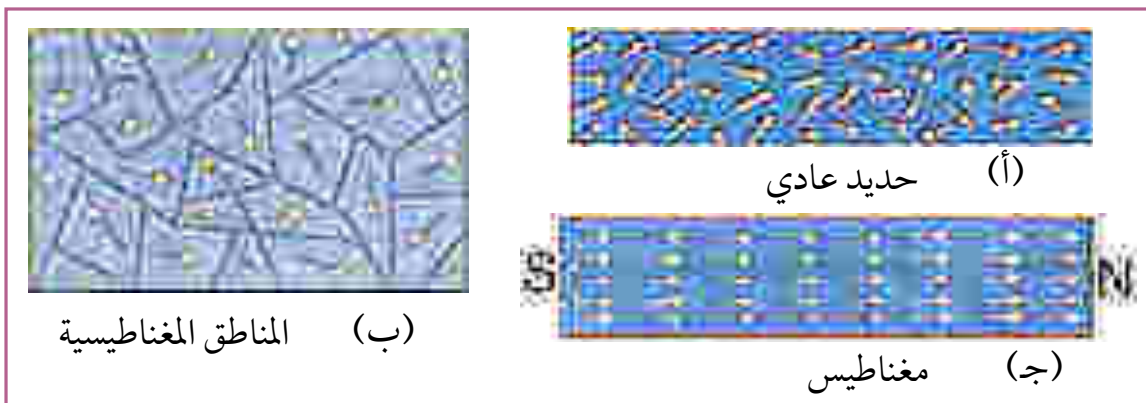
ويمكن تحديد نوع قطبي المغناطيس من خلال اتجاه التيار؛ فإذا كان اتجاه التيار عند

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 وجدت هذه المادة في مجال مغناطيسي خارجي تنتظم هذه المغناطيسات الصغيرة بحيث إن أقطابها الشمالية تكون في اتجاه واحد، وأقطابها الجنوبية في الاتجاه الآخر مُشكّلةً (مكونة) مغناطيساً كبيراً شكل (٦ ج).

ولقد أظهرت الدراسات للمواد الحديدية العادية أن حجمها يتكون 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 المغناطيسات تساوي 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 الموجبة في اتجاه المجال والسالبة خلفه بحيث تكون المحصلة لا تساوي الصفر وبالتالي تصبح قطعة الحديد ممغنطة أي تمثل مغناطيس كبير وقوي شكل (٦ ج) .



شكل (٦)

ويمكن تحقيق ذلك بذلك القطعة الحديدية بمغناطيس في اتجاه واحد بحيث تتوجه كل هذه المغناط الصغيرة في اتجاه واحد فتصبح محصلتهم لاتساوي الصفر كما مر معنا سابقاً .
● ابحث كيف أن قضيباً من الحديد الممغنط يجذب قضيباً غير ممغنط؟

المجال المغناطيسي Magnetic field

نشاط (٥)

- ١- ضع مشبك ورق من الحديد على طاولة، ثم قرب إليه مغناطيساً من مسافة بعيدة نسبياً.
- هل يجذب المشبك إلى المغناطيس؟
- ٢- قرب المغناطيس إلى المشبك أكثر فأكثر حتى يجذب.
- 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 المواد المغناطيسية 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 الدليل العملي).

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.

خواص خطوط المجال المغناطيسي : Chracterstics of magnetic lines

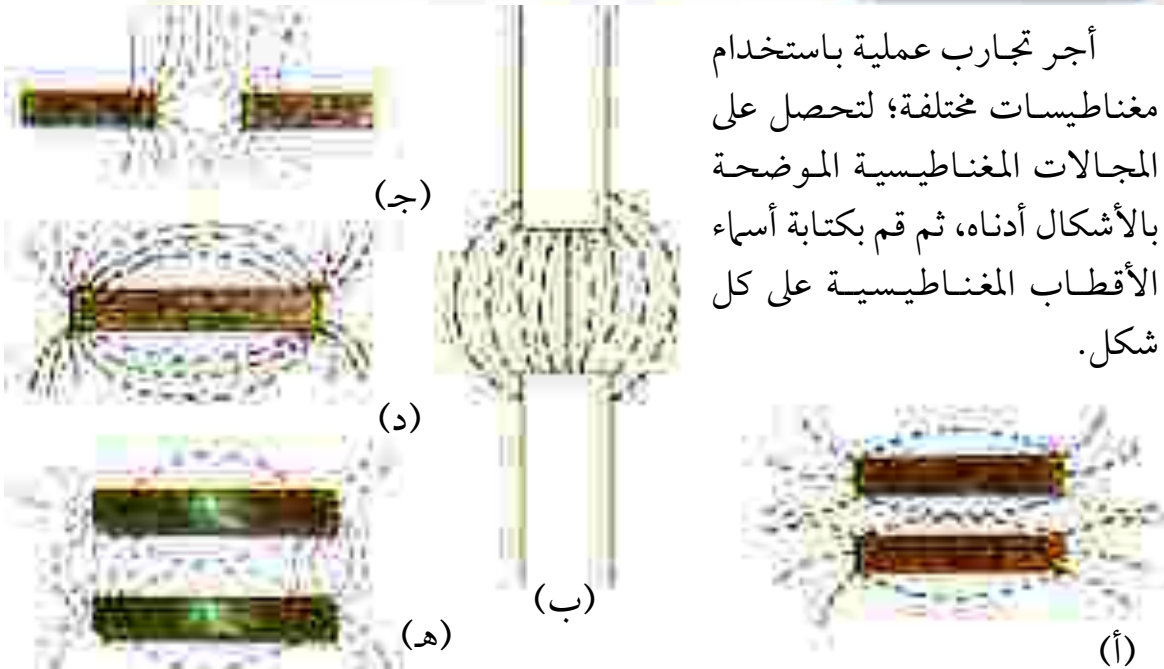
بعد أن أجريت الأنشطة، والتجارب العملية التي تحدد المجال المغناطيسي للمغناطيسات، وشكله. ما الذي تستنتجه من خواص خطوط المجال المغناطيسي؟

تستطيع أن تستنتج أن:

- ١ - خطوط المجال عبارة عن خطوط وهمية تخرج من القطب الشمالي للمغناطيس متجهة نحو القطب الجنوبي . بينما في داخل المغناطيس فإنها تتجه من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي؛ لأن خطوط القوة عبارة عن حلقة، أو عروة مغلقة (Closed loop).
- ٢ - خطوط القوة لا تتقاطع مع بعضها.
- ٣ - خطوط القوة تظهر وكأنها تتنافر مع بعضها.
- ٤ - يظهر أن الخطوط كأنها واقعة تحت تأثير قوة شد المجال ، لذلك تحاول أن تقصر من طولها.
- ٥ - خطوط القوة تتقارب مع بعضها، وتزدحم عندما تكون قريبة من المغناطيس.
- ٦ - تزيد كثافة الخطوط عند القطبين، وتقل كلما ابتعدنا عنها.
- ٧ - يبدو أن خطوط المجال لا تمر خلال المواد المغناطيسية؛ لأنها تمتص، ولكنها تمر 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.

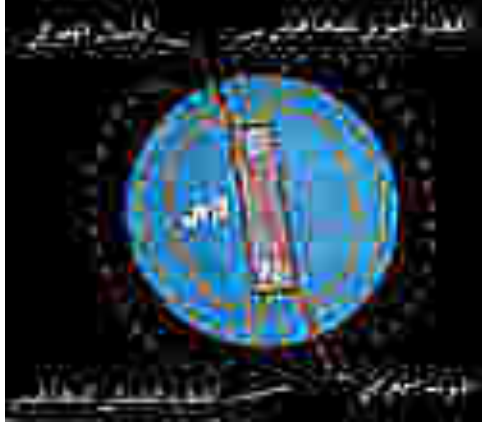


شكل (٨)

المجال المغناطيسي للأرض : The earth magnetic field

من المعروف أن البوصلة تستخدم؛ لتحديد اتجاه الشمال، والجنوب الجغرافيين؛ لأن قطبها الشمالي دائماً يشير إلى القطب الشمالي الجغرافي للأرض. هذه الحقيقة تظهر أن هذا الجزء من الأرض يتصرف كما لو كان قطب شمالي لمغناطيس ضخم.

ومن الملاحظ أن أقطاب الأرض المغناطيسية ليست في نفس مكان أقطابها



شكل (٩)

الجغرافية، انظر الشكل (٩). ويعتبر المجال المغناطيسي للأرض مجالاً منتظماً، وخطوطه متوازية.

- أيها أقوى في الشدة خطوط المجال المغناطيسي المتوازية، أم المنحنية؟
- 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 يظهر فيها آثاره المغناطيسية، وأن هذا المجال يتكون من مجموعة من الخطوط تعرف بخطوط القوة المغناطيسية، وهي تتجه من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي، 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.

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، والمتشابهة تتنافر. ووجد أيضاً أن القوة بين القطبين سواء كانت تجاذب أو 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: $Q_1 \propto S_1$ (شدة القطب الأول)، $Q_2 \propto S_2$ (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 في الصف الثامن الجزء الأول.

أي أن: $Q \propto \frac{1}{r^2}$ (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 مادةً مغناطيسية كالحديد.

القانون العام للقوى المغناطيسية (قانون التجاذب والتنافر):

بالرجوع إلى المعادلتين: (١) ، (٢) ، نجد أن:

$$Q \propto S_1$$

$$Q \propto S_2$$

$$Q \propto \frac{1}{r^2}$$

$$\therefore Q \propto \frac{S_1 \times S_2}{r^2}$$

$$\therefore Q = \text{ثابت} \times \frac{S_1 \times S_2}{r^2}$$

$$Q = H \times \frac{S_1 \times S_2}{r^2} \text{ (٣)}$$

حيث (هـ) مقدار ثابت تتوقف قيمته على نوع الوسط الفاصل بين القطبين.
ويمكن أن نستنتج وحدة الثابت كالآتي:

إذا كانت (ق) تقدر (بالنيوتن)، والمسافة بالمتر، وشدة القطب المغناطيسي (س)

$$\text{أمبير. متر} \text{ فإن: } \text{هـ} = \frac{\text{نيوتن. متر}^2}{\text{أمبير}^2 \cdot \text{متر}^2} = \text{نيوتن/ أمبير}^2$$

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 ٥ سم، والوسط الفاصل هو الهواء. احسب مقدار القوة بين القطبين.

الحل:

$$\begin{aligned} \text{س}_1 &= ٣٠ \text{ أمبير. متر} , \text{س}_2 = ٤٠ \text{ أمبير. متر} \\ \text{هـ} &\text{ للهواء} = ١٠^{-٧} \text{ نيوتن/ أمبير}^2, \text{ف} = ٥ \text{ سم} \\ \therefore \text{ق} &= \text{هـ} \times \frac{\text{س}_1 \times \text{س}_2}{\text{ف}^2} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{ق} = ١٠^{-٧} \times \frac{\text{س}_1 \times \text{س}_2}{\text{ف}^2} = ١٠^{-٧} \text{ نيوتن/ أمبير}^2 \times \frac{٦٣٠ \text{ أمبير. متر} \times ٤٠ \text{ أمبير. متر}}{٢(١٠ \times ٥)^2}$$

$$= \frac{١٢٠ \times ١٠^{-٧}}{٤ - ١٠ \times ٢٥} = ٠,٠٤٨ \text{ نيوتن}$$

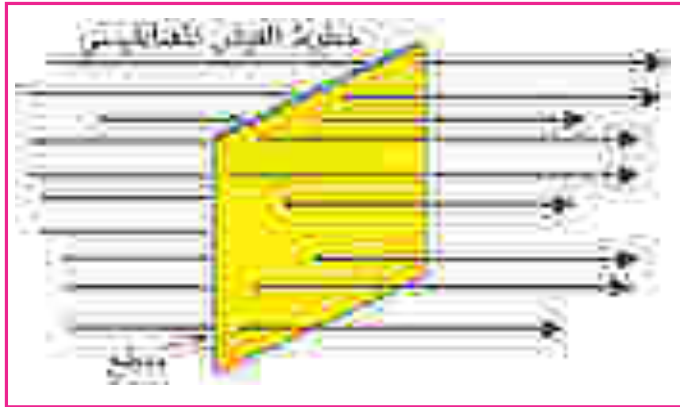
- ما نوع القوة؟ هل هي تجاذب أم تنافر؟

ملاحظة: يُمثل المجال المغناطيسي بسهم $\rightarrow$ في مستوى الورقة فإذا كان يخرقها عمودياً نحو الداخل رُمز له بالرمز (x) وإذا كان يخرقها عمودياً نحو الخارج رُمز له بالرمز (٥).

الفيض المغناطيسي : Magnetic flux

عرفنا سابقاً أن المجال المغناطيسي يتكون من مجموعة من خطوط القوة التي تخرج من القطب الشمالي متجهة إلى القطب الجنوبي، وكلما كانت هذه الخطوط كثيرة ومتزاحة؛ دل ذلك على كبر قيمة المجال المغناطيسي.

يُقدر تأثير المجال المغناطيسي من نقطة إلى أخرى بعدد خطوط القوة التي تمر خلال سطح معين موضوع بشكل عمودي على خطوط القوى للمجال.



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 (B)، وكلما زادت قيمة (B)

شكل (١٠)

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، وبشكل 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 .

ويعرف الفيض المغناطيسي خلال سطح ما ، بأنه المجموع الكلي لخطوط المجال المغناطيسي التي تخترق ذلك السطح عمودياً ، ونرمز له بالرمز ϕ (فاي) .

نستنتج بأن الفيض المغناطيسي عبارة عن:

كثافة الفيض (B) $\times$ مساحة السطح (س) ، كما في الشكل (١١) أي أن

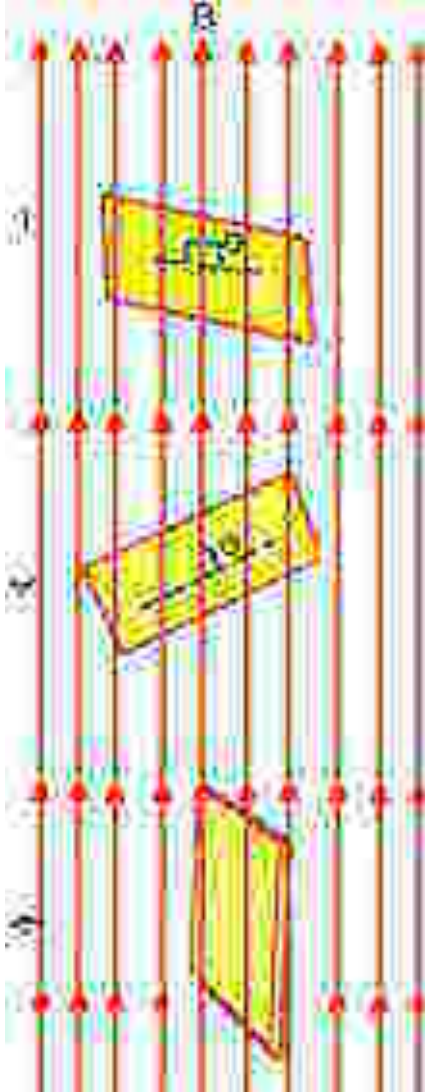
$$\phi = B \times \text{س} \quad (٤)$$

وإذا كانت كثافة الفيض تميل بزاوية θ على السطح ، أنظر شكل (١١ ب)؛ فإن العلاقة

(٤) تصبح على النحو التالي:

$$\phi = B \times \theta \text{ جا } \theta \times \text{س} \dots\dots\dots (٥).$$

حيث θ هي الزاوية الكائنة بين المجال والعمود على السطح الذي يخترقه المجال المغناطيسي.



إذا كانت كثافة الفيض (B) موازية للسطح شكل (١١ ج)؛ فإن: $\theta = 0^\circ$ ، وبالتالي

$$\text{جا } \theta = 0 \text{ ، ومنه } \phi = 0 \text{ صفر}$$

بحسب العلاقة (٥) ، لأن جميع خطوط المجال لا تخترق السطح .

أما إذا كانت الزاوية $\theta = 90^\circ$. أي خطوط المجال تخترق السطح عمودياً ، فإن جا $90^\circ = 1$ ، وتكون بالتالي قيمة ϕ اعظم ما يمكن .

وتحسب وحدة الفيض (ϕ) من المعادلة (٤).

$$\therefore B = \text{تسلا} ، \text{س} = \text{متر}^2 .$$

$$\therefore \phi = \text{تسلا} \times \text{متر}^2 = \text{وبر}$$

والتسلا عبارة عن : $\frac{\text{نيوتن}}{\text{أمبير} \times \text{متر}}$

مثال (٢):

مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه $0,02$ تسلا . مرّ خلال سطح مساحته 100 متر^٢ ، احسب الفيض المغناطيسي الذي يجتاز مساحة السطح المذكورة في الحالات الآتية:

شكل (١١)

٢ - إذا كان السطح عمودياً على المجال .

ب - إذا كان السطح مائلاً على المجال بزاوية (30°) .

ج - إذا كان السطح موازياً للمجال .

الحل:

$$B = 0,02 \text{ تسلا} ، \text{س} = 100 \text{ م}^2 ، \theta = 90^\circ ، 30^\circ ، \text{صفرًا} .$$

$$٢ - \phi = B \times \text{س} \times \text{جا } \theta$$

$$= 0,02 \times 100 \times \text{جا } 90^\circ = 0,02 \times 100 \times 1 = 2 \text{ وبر} .$$

ب - $\phi = 0,2 \times 100 \times 0,02 = 30$ جا $\phi = 0,5 \times 100 \times 0,02 = 1$ وبر
 ج - $\phi = 2 \times 100 \times 0,02 = 30$ صفر (حيث جا صفر = صفر).

حركة الأجسام المشحونة في مجال مغناطيسي منتظم : Motion of charged particles in a magnetic field

القوة المغناطيسية التي يؤثر بها مجالاً مغناطيسياً على شحنة كهربائية متحركة فيه؛ لا تتأثر الشحنات الكهربائية الساكنة بالمجال المغناطيسي إلا إذا تحركت فيه. أي إن المجال المغناطيسي لا يؤثر إلا على الشحنات الكهربائية المتحركة فيه.

لو فرضنا إن شحنة كهربائية (س_ج) تتحرك بسرعة منتظمة (ع) في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (B). كأن تكون حزمة من الأيونات الموجبة أو حزمة من الأشعة المهبطية (الالكترونات) تتحرك داخل أنبوب مهبطي مفرغ من الهواء واقع بين فكي مغناطيس . تبين هذه التجربة ما يلي:

- ١ - تتأثر الشحنة المتحركة بالمجال المغناطيسي فينحرف مسارها دون أن تتغير قيمة سرعتها وهذا دليل إن المجال المغناطيسي يؤثر على الشحنة الكهربائية 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 (أو معاكساً له) 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)

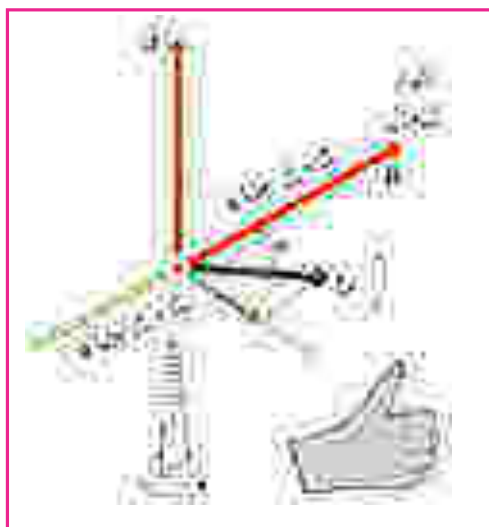
٤- لقد وجد بالتجربة إن هذه القوة المغناطيسية (ق) متناسبة طردياً مع مقدار الشحنة (أي ق $\propto$ س ج) ومع سرعتها (ق $\propto$ ع) ومع قيمة المجال (ق $\propto$ B) ويحسب مقدارها من العلاقة:

..... (٦)

$$Q = S_j \cdot E \cdot B$$

وعامل التناسب يساوي الواحد إذا قيست (ق) بالنيوتن و (B) بالتسلا و (س ج) بالكلوم 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 جتا θ موازية للمجال (لا تتأثر بالمجال) وأخرى ع = ع جا θ عمودية عليه وتتأثر بالمجال وتكون القوة (ق) التي يسلطها المجال على هذه المركبة هي:

..... (٧)

$$Q = S_j \cdot E \cdot B \cdot \sin \theta$$

فإذا كانت $\theta = 90^\circ$ ، تعود العلاقة (٧) إلى العلاقة (٦) أما إذا كانت $\theta = 0^\circ$ صفر فإن

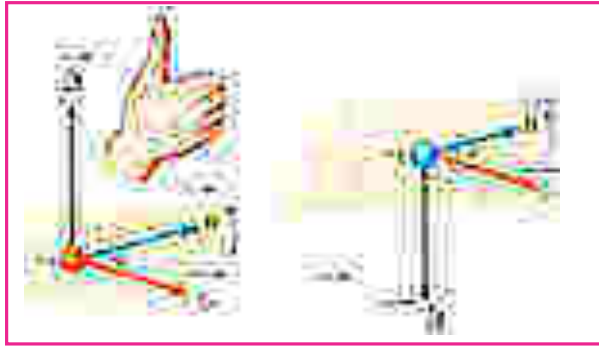
السرعة تكون موازية للمجال، فلا تتأثر الشحنة بالمجال وتكون قوة المجال المسلطة عليها معدومة.

تعيين جهة القوة:

من أجل تعيين جهة القوة نطبق قاعدة تسمى بقاعدة اليد اليمنى ، من أجل ذلك تكتب العلاقة (٦) على النحو التالي:

$$\vec{Q} = S_j \cdot \vec{E} \times \vec{B}$$

(باعتبار المجال المغناطيسي B كمية متجهة) وفي هذه القاعدة نطبق أصابع اليد اليمنى على جهة الدوران من س ج إلى B (وهي جهة تقدم برغي أثناء دورانه نحو اليمين) فتكون جهة القوة منطبقاً على الإبهام نحو الأعلى ،



وإذا كانت الشحنة موجبة ونحو الأسفل إذا كانت الشحنة سالبة انظر إلى الأشكال الثلاثة (١٣) و (١٤) و (١٥).

شكل (١٥)

شكل (١٤)

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 إن لدينا شحنة موجبة (س_ج) تتحرك في مستوى الورقة بسرعة (ع_ج) 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 جذب مركزي (ق_م) عمودية على سرعة الشحنة وتحسب من العلاقة التالية :

$$ق_{م} = ك \frac{ع_{ج}^2}{نوه} .$$

ولكن هذه القوه هي القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي على الشحنة ومقدارها يعطى بالعلاقة الآتية :

$$ق = س_{ج} ع_{ج} B .$$

من هاتين العلاقتين نجد أن :

$$س_{ج} ع_{ج} B = ك \frac{ع_{ج}^2}{نوه} \text{ ومنه نجد أن :}$$

$$نوه = \frac{ك ع_{ج}}{B} \text{ (٨)}$$

من هذه العلاقة يمكن حساب النسبة بين شحنة الجسيم وكتلته .

$$\frac{ك}{س_{ج}} = \frac{نوه B}{ع_{ج}} \text{ (٩)}$$

مثال (٣):

يتحرك إلكترون بسرعة (10^5) متر/ثانية داخل مجال مغناطيسي منتظم وفي اتجاه متعامد معه في مسار دائري نصف قطره $(2, 5)$ سم . أوجد كثافة الفيض (B) إذا علمت قيمة كل من كتلة الإلكترون $(ك_e)$ وشحنته $(س_e)$ هما على التوالي :

$(ك_e) = 9 \times 10^{-31}$ كجم ، $(س_e) = 1,6 \times 10^{-19}$ كولوم .

الحل:

$$ع_e = (\text{سرعة الإلكترون}) = 10^5 \text{ متر/ث} ، \text{ نصف } = 2,5 \text{ سم} ،$$

$$ك_e = 9 \times 10^{-31} \text{ كجم} ، س_e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ كولوم} ، B = ? ،$$

$$\therefore B = \frac{ك_e \times ع_e}{س_e \times نصف}$$

$$\therefore B = \frac{9 \times 10^{-31} \times 10^5}{1,6 \times 10^{-19} \times 0,025} = 2,8125 \times 10^{-5} \text{ تسلا} .$$

مثال (٤): أشعة إلكترونية تتحرك بسرعة 10^6 م/ث دخلت مجالاً مغناطيسياً منتظماً كثافة فيضه $0,2$ تسلا في اتجاه متعامد مع المجال . احسب القوة المؤثر على هذه الأشعة إذا علمت أن شحنة الإلكترون $1,6 \times 10^{-19}$ كولوم .

الحل: $ع = 10^6$ م/ث ، $B = 0,2$ تسلا ، $س_e = 1,6 \times 10^{-19}$ كولوم ، $\theta = 90^\circ$.

$$\therefore ق = B \times س_e \times حا \theta$$

$$\therefore ق = 0,2 \times 1,6 \times 10^{-19} \times 10^6 \times 1 = 3,2 \times 10^{-14} \text{ نيوتن} .$$

مثال (٥): احسب القوة المؤثرة إذا دخلت الأشعة المجال بزاوية قدرها 30° .

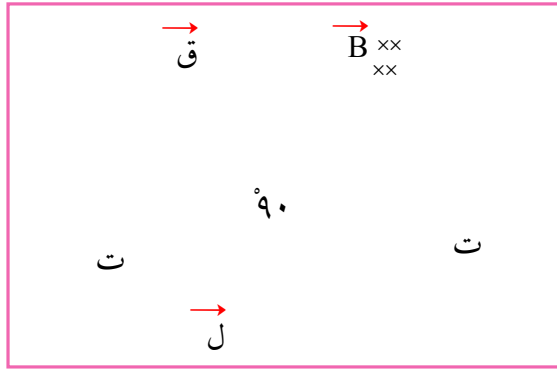
الحل:

$$\therefore ق = B \times س_e \times حا \theta$$

$$\therefore ق = 0,2 \times 1,6 \times 10^{-19} \times 10^6 \times 0,5 = 1,6 \times 10^{-14} \text{ نيوتن} .$$

حاول أن توجد نصف قطر المسار لبروتون سار بنفس سرعة الإلكترون إذا كانت كثافة الفيض (B) ٠,٥٠ وبر/ متر^٢ .

القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل يحمل تيار :



شكل (١٦)

ليكن لدينا موصلاً طويلاً مستقيماً طوله (ل) واقع في مستوى الورقة ويمر فيه تيار شدته (ت) ولنفرض أنه واقع في مجال مغناطيسي منتظم عمودي عليه أي عمودي على مستوى الورقة نحو الداخل كما هو مبين في الشكل (١٦).

لقد وجدنا علاقة القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة كهربائية متحركة والتي هي:

$$F = qvB \sin \theta$$

نحن نعلم إن التيار الكهربائي الذي يسري داخل الموصل عبارة عن مجموعة من الشحنات المتحركة.

$$\frac{L}{Z} = \frac{\text{الازاحة}}{\text{الزمن}} = v \text{ التي تساوي } v = \frac{L}{Z} \text{ أو: } F = qvB \sin \theta$$

$$F = qvB \sin \theta$$

$$\text{ولكن } \frac{q}{Z} = \frac{I}{A} \text{ ما هو إلا التيار المار في الموصل (السلك)}$$

$$\therefore F = ILB \sin \theta \quad (١٠) \dots \dots \dots$$

وإذا كان السلك يصنع زاوية $\theta \neq 90^\circ$ مع اتجاه المجال B تصبح العلاقة (١٠) كالآتي:

$$F = ILB \sin \theta \quad (١١) \dots \dots \dots$$

عندما تكون $\theta = 0$ صفر . أي عندما يكون السلك موازياً للمجال ، فإن : $Q =$ صفر . وإذا كانت $\theta = 90^\circ$. أي عندما يكون القضيب عمودياً على خطوط المجال تؤول العلاقة (١١) إلى العلاقة (١٠) ، وتكون قيمة القوى (ق) أعظم ما يمكن . ولتعيين جهة القوة نطبق قاعدة اليد اليمنى (التي سبق ذكرها). من أجل ذلك نكتب العلاقة (١٠) أو (١١) على النحو الآتي:

$$\vec{Q} = I \times \vec{B} \quad (\text{باعتبار } I \text{ متجه اتجاهه هو اتجاه التيار}).$$

ونجعل أصابع اليد اليمنى تنطبق على جهة الدوران من T إلى B فتكون جهة الإبهام نحو الأعلى هي جهة القوة شكل (١٦) وإذا عكس 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 حذوة 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 .



شكل (١٧)

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 القوة المحركة للسلك» شكل (١٧).

التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي (A magnetic effect of a current):

كان الاعتقاد السائد في السابق من أنه ليس هناك علاقة بين المغناطيسية والكهرباء . ولكن هذا المفهوم تغير في بداية القرن التاسع عشر (١٨٢٠) عندما

اكتشف العالم الدنماركي هانز كريستيان أورستد، بأن مرور تيار كهربائي في سلك ينتج عنه انحراف الإبرة المغناطيسية الموضوعة بجانبه . وقد بين 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 دليل التجارب العملية). انظر الشكل (١٨ أ)

ويمكن معرفة اتجاه خطوط القوة المغناطيسية للمجال المغناطيسي بقاعدة اليد اليمنى لأمير، 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 (١٨ ب).

كثافة الفيض المغناطيسي (B) عند نقطة على بعد (ف) متر من سلك مستقيم يحمل به تيار كهربائياً.

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 (١٨ ج) .



شكل (١٨)

$$\text{أي : } B \propto t , \quad B \propto \frac{1}{f} , \quad B \propto \frac{t}{f} ,$$

$$B = \text{ثابت} \times \frac{t}{f}$$

ويتوقف الثابت على الوحدات المستخدمة، ونوع الوسط الفاصل بين النقطة والتيار، وقد وجد أنه يساوي $\frac{\mu_0}{\pi^2}$ ؛ حيث يسمى μ_0 بثابت النفاذية المغناطيسية للهواء، وهو يساوي $4\pi \times 10^{-7}$ تسلا . متر / أمبير .

$$\therefore \boxed{\frac{\mu_0}{\pi^2} \times \frac{I}{r} = B} \dots (10)$$

مثال (٦):

احسب كثافة الفيض المغناطيسي في الهواء عند نقطة تبعد (٥) سم عن سلك طويل يحمل تياراً شدته (١٠) أمبير.

الحل:

$$f = \frac{5}{100} \text{ متر} , \quad I = 10 \text{ أمبير} ,$$

$$\mu_0 (\text{للهواء}) = 4\pi \times 10^{-7} \text{ تسلا . متر / أمبير} , \quad B = ?$$

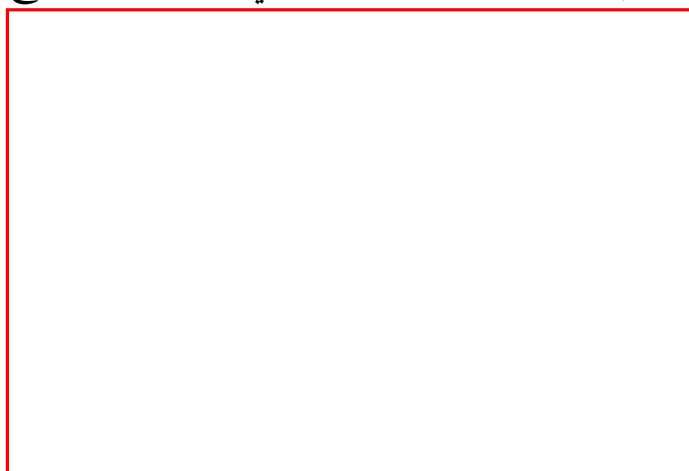
$$\therefore \frac{\mu_0}{\pi^2} \times \frac{I}{r} = B$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{\pi^2 \times \frac{5}{100}} = 4 \times 10^{-5} \text{ تسلا} .$$

المجال المغناطيسي لتيار يمر في ملف دائري:

Magnetic field of a current in a flat coil

يمكن أن نتعرف على شكل المجال المغناطيسي الناتج من مرور تيار كهربائي بملف دائري من خلال تكوين ملف دائري يمر فيه تيار كهربائي. كما هو موضح



بالشكل (٢٠) ومن ثم نسمح بتمرير التيار الكهربائي ونثر برادة حديد على الورق المقوى، أو نستخدم إبرة بوصلة كما استخدمناها سابقاً.
(انظر دليل التجارب العملية).

شكل (١٩)

كثافة الفيض المغناطيسي (قيمة المجال 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 يتوقف على عدة عوامل هي :

١ - شدة التيار المار في الملف (ت) ، ٢ - عدد لفات الملف (ن) .

٣ - نصف قطر الملف (نوه) ، ٤ - نوع الوسط .

وتحسب من العلاقة الآتية :

.....(١١)

$$B = \mu_0 \times \frac{t \cdot n}{2 \cdot r}$$

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.

الحل:

نوه = ١٠ سم = ٠,١ متر ن = ٥٠ لفة ت = ١ أمبير،

$B = ?$ μ_0 للهواء $= 4\pi \times 10^{-7}$ تسلا . متر / أمبير

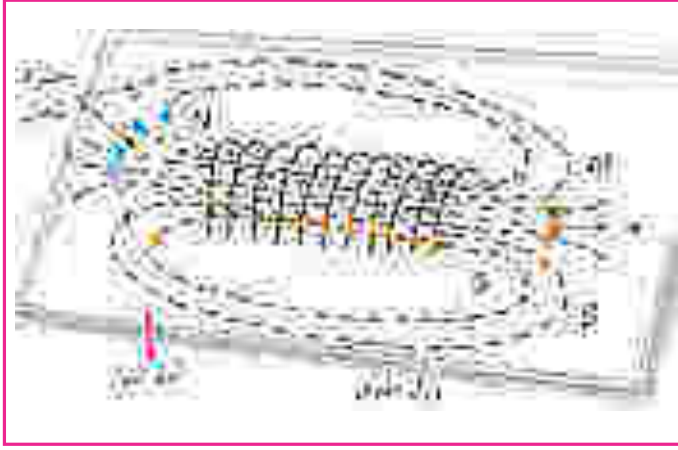
$$\therefore B = \mu_0 \times \frac{t \cdot n}{2 \cdot r}$$

$$\therefore B = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{50 \times 1}{2 \times 0,1} = 3,14 \times 10^{-4} \text{ تسلا}.$$

المجال المغناطيسي لتيار يمر في ملف حلزوني طويل:

Magnetic field of a current in a solenoid coil

الملف اللولبي هو ملف أسطواني طويل من السلك يخترق لفاته لوح من الورق المقوى. وعندما يمر التيار في السلك الملفوف؛ فإن خطوطاً من المجال المغناطيسي يمكن أن ترسم 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 عن بعضها البعض. وهذا يعني أن المجال ضعيف خارج الملف انظر شكل (٢١). ويلاحظ أن الملف له أقطاب تماماً كالمغناطيسي. ويمكن تحديد نوع هذه الأقطاب باستخدام قاعدة



شكل (٢٠)

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 دليل التجارب العملية).

لقد وجد أن كثافة الفيض المغناطيسي في نقطة داخل ملف حلزوني طويل واقعه على محوره تتوقف 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 مغناطيسية مثل الحديد وليس من الهواء كان المجال المغناطيسي قوياً. ويحسب من العلاقة الآتية :

$$\mu_0 = B \frac{N}{L} \quad (١٢) \dots\dots\dots$$

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:

$$L = 2 \text{ متر} , N = 10 \text{ لفات} , I = 5 \text{ أمبير} ,$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ تسلا} \cdot \text{متر} / \text{أمبير} , B = ?$$

$$\therefore B = \mu_0 \frac{NI}{L}$$

$$\therefore B = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{10 \times 5}{2}$$

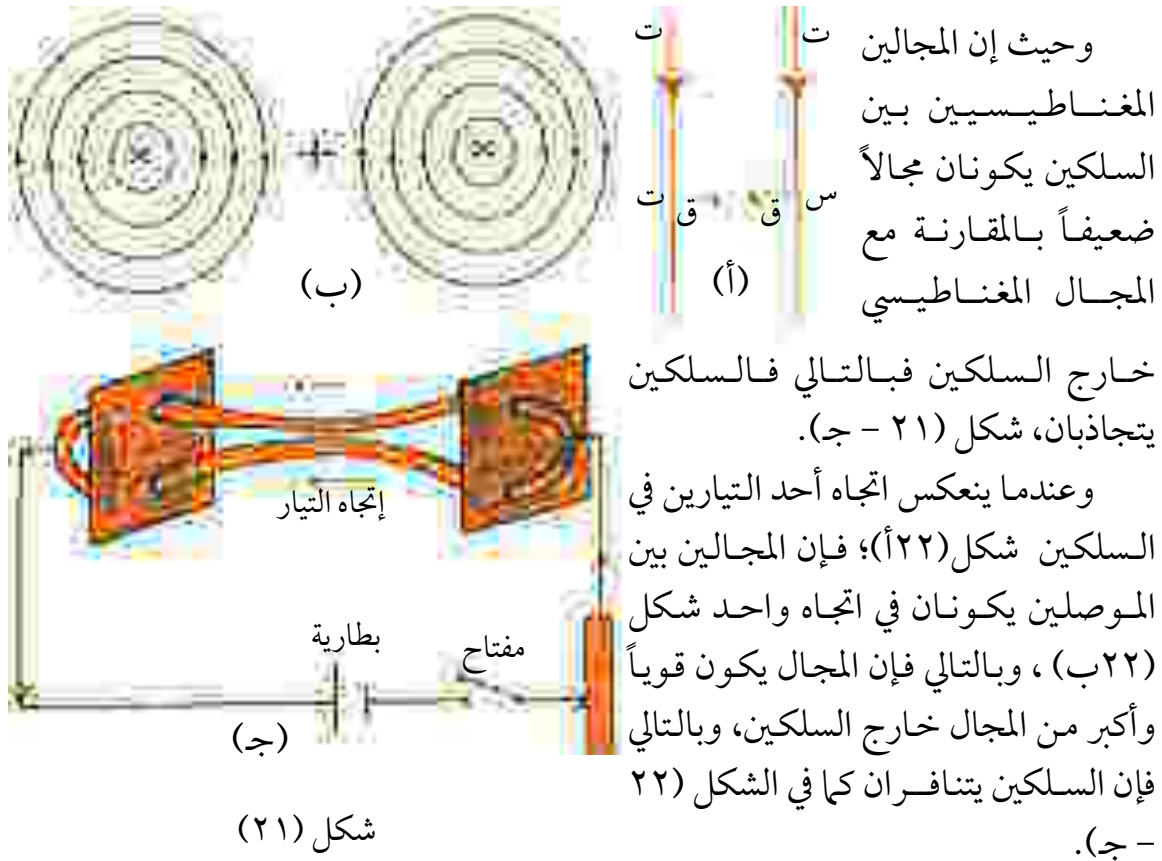
$$= 3,14 \times 10^{-5} \text{ تسلا}$$

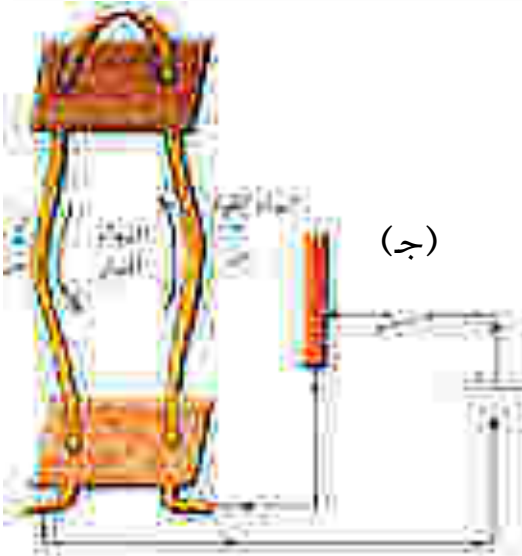
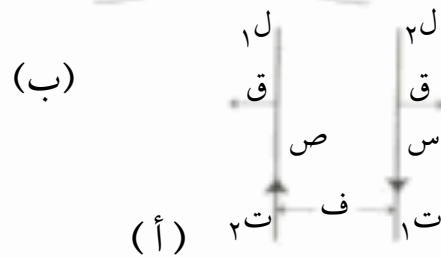
احسب كثافة الفيض في المثال السابق إذا كان قلب الملف من الحديد إذا علمت أن μ_0 للحديد هي 2×10^{-2} تسلا . متر / أمبير .

القوة المغناطيسية بين موصلين مستقيمين متوازيين يحملان تيارين كهربائيين:

إن التجارب العملية أظهرت أنه إذا وُضعَ سلكان مستقيمان يحملان تيارين يسيران في اتجاه واحد بالقرب من بعضهما، وبشكل متواز 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 وضعنا بشكل متواز بالقرب من بعضهما فإنه يتولد مجالين مغناطيسيين متضادين شكل (٢١ ب). ويمكن تعيين اتجاه المجال المغناطيسي لكل تيار باستخدام قاعدة اليد اليمنى لأمبير .





شكل (٢٢)

ولحساب القوة المغناطيسية المتبادلة بين السلكين سواء أكانت تجاذب أم تنافر فإن التيار (ت_١) المار في السلك الأول (س) ينشأ عنه مجالاً مغناطيسياً كثافة فيضيه (B_١) يؤثر عند موضع السلك الثاني (ص).

$$\therefore B_1 = \frac{\mu \times I_1}{2\pi f} \dots \dots \dots (١).$$

B_١ يؤثر في التيار (ت_٢) المار في السلك الثاني بقوة مغناطيسية (ق_٢).

$\therefore ق_2 = B_1 \times I_2 \times L$ ؛ حيث (L) طول الجزء من السلك المطلوب حساب القوة المؤثرة عليه وهو نفس طول السلك الثاني.

وبالتعويض عن قيمة B_١ من المعادلة (١).

$$\therefore ق_2 = \frac{\mu \times I_1 \times I_2 \times L}{2\pi f}$$

$$ق_2 = \frac{\mu \times I_1 \times I_2 \times L}{2\pi f}$$

وحيث إن معامل نفاذية الهواء، أو الفراغ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ تسلا . متر / أمبير

$$\therefore ق_2 = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times I_1 \times I_2 \times L}{2\pi f}$$

$$\therefore ق_2 = \frac{2 \times 10^{-7} \times I_1 \times I_2 \times L}{f} \dots \dots \dots (١٤)$$

ويمكن إثبات أن مقدار القوة $ق_1$ التي يؤثر بها المجال (B_2) الناشئ عن التيار (I_2) في السلك الأول $(ل_1)$ تساوي نفس مقدار القوة $(ق_2)$.

مثال (٩):

سلكان مستقيمان متوازيان يحملان تيارين كهربائيين مقدارهما (١٠) أمبير، (٢٠) أمبير، يبعدان مسافة (٢) سم من بعضهما أوجد مقدار القوة المغناطيسية المتبادلة بين السلكين إذا كان طول كل من السلكين المتوازيين (١٠) سم. عندما يكون التياران في اتجاه واحد، وفي اتجاهين متضادين.

الحل:

$$I_1 = ١٠ \text{ أمبير} , I_2 = ٢٠ \text{ أمبير} , ق_2 = ٢ \text{ سم} , ل_1 = ١٠ \text{ سم} ,$$

$$\therefore ق_1 = ق_2 , \therefore ق_2 = ٢ \times ١٠^{-٧} \times \frac{I_1 I_2 ل_1}{ف}$$

$$\therefore ق_2 = ٢ \times ١٠^{-٧} \times \frac{١٠ \times ٢٠ \times ١٠}{٠,٠٢} = ٢ \times ١٠^{-٤} \text{ نيوتن} .$$

تقويم الوحدة

١ - أجب بوضعك (✓) أو (x) في كل مما يأتي:

- أ - لكل مغناطيس قطبان مغناطيسيان مختلفان في الشدة .()
- ب - القطب الشمالي للبوصلة هو أصلاً قطب جنوبي .()
- ج - يتكون المغناطيسي 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 تستخدم 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 .
- ج - مغناطيس من الحديد الصلب وجد على الأرض، وقد فقد مغناطيسيته .
- د - انكسر مغناطيس فأصبح مغناطيسين صغيرين .

٣ - أجز عملياً:

- خطط 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؟

تابع تقويم الوحدة

٤- اختر الإجابة الصحيحة وضع دائرة حولها:

- ١- المجال المغناطيسي للملف حلزوني يكون:
 - أ- لولبي. ب - دائري. ج - مواز لمحور الملف. د- متعامد مع محور الملف.
- ٢- الجسم المشحون حينما يكون ساكناً يوجد حوله
 - أ - مجالاً مغناطيسياً. ب - مجالاً كهربائياً.
 - ج - (أ،ب). د - لا شيء مما سبق.
- ٣- إذا وضعت بوصلة داخل ملف حلزوني يمر فيه تيار كهربائي؛ فإن طرفيها سيشيران إلى:

- أ- اتجاه الشمال والجنوب للملف. ب- اتجاه الشمال والجنوب الجغرافيين.
- ج - اتجاه الشمال والجنوب للمغناطيس. د - لا شيء مما ذكر.
- ٤- سلك طوله ٥٦٦,٠ متراً يحمل تياراً شدته ٢١ أمبير في وجود مجال مغناطيسي مقداره ٧٤,٠ تسلا. فإذا أثرت في السلك قوة مغناطيسية في المجال مقدارها ٤,٤ نيوتن؛ فإن الزاوية بين السلك والمجال المغناطيسي هي:
 - أ) صفر. ب) ٣٠. ج) ٤٥. د) ٩٠.
- 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) ٢ سم. ب) ٣ سم. ج) ٥,١ سم. د) ١ سم.

٥- أجب عن الأسئلة الآتية:

١- كيف تعين القطب الشمالي والجنوبي للمغناطيس؟

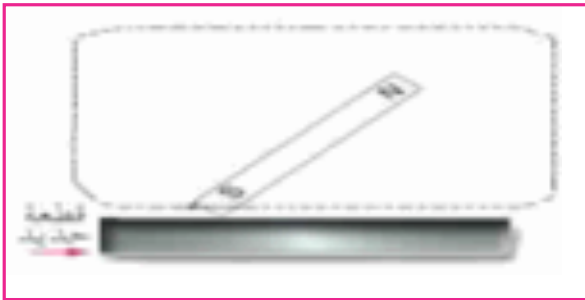
٢- قطعة حديد مستطيلة الشكل

دلكت عدة مرات بمغناطيس كما

هو موضح بالشكل الآتي:

أعد رسم الشكل في كراستك،

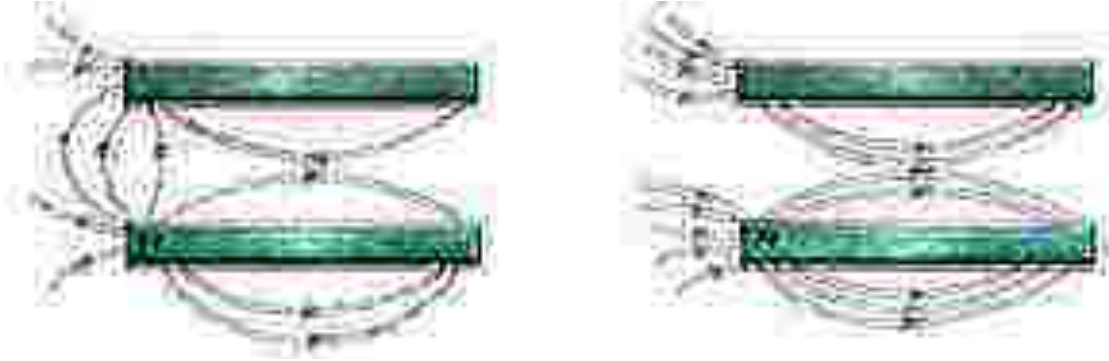
ثم سم قطبي القطعة بعد ذلك.



تابع تقويم الوحدة

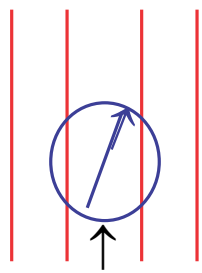
٣ - لديك الأشكال الآتية الغير مكتملة الخطوط والمجالات المغناطيسية تكونت عندما وضعنا قطبان مغناطيسيان بجانب بعضهما بطريقتين مختلفتين أعد رسم الشكل في كراستك ثم:

- أ- أكمل رسم خطوط المجال. ب - سم الأقطاب المغناطيسية.
ج - حدد اتجاه الخطوط. د - أشر إلى أين تقع نقطة التعادل إن وجدت.

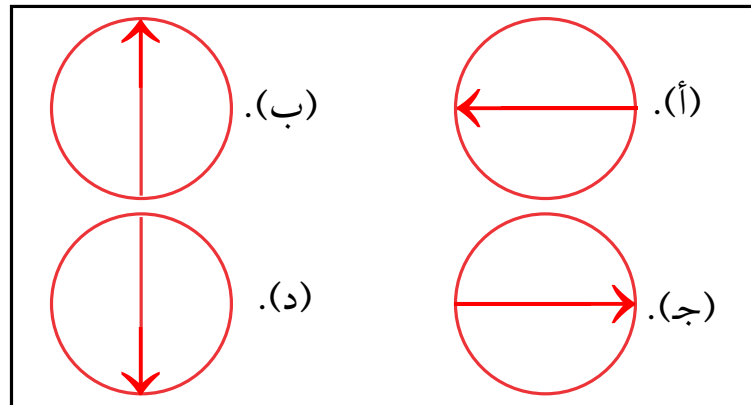


- ٤ - في أي اتجاه تشير إبرة البوصلة إذا وضعت في نقطة التعادل بين مجالين مغناطيسيين.
٥ - قارن بين الخواص المغناطيسية لكل من الحديد المطاوع، والحديد الصلب.
٦ - إبرة مغناطيسية صغيرة وضعت في مجال منتظم كما هو موضح بالشكل، ففي أي اتجاه ستشير الإبرة المغناطيسية عندما تستقر؟

مجال مغناطيسي



إبرة مغناطيسية



- ٦ - اقترح طريقتين لزيادة التأثير المغناطيسي لملف حلزوني عند مرور تيار كهربائي
٧ - هل يمكن أن يتقاطع خيطان من خطوط المجال المغناطيسي؟ ولماذا؟
٨ - استنتج رياضياً القانون العام للتجاذب، والتنافر للمغناطيسية.

تابع تقويم الوحدة

٩- يمر تيار شدته (٢) أمبير في سلك طوله (٥٠) سم موضوع في مجال مغناطيسي منتظم كثافة الفيض فيه (١, ٠) تسلا. احسب القوة المؤثرة في هذا السلك في الحالات الآتية:

أ - السلك مواز لاتجاه المجال المغناطيسي.

ب - السلك صنيع زاوية (٤٥°) مع اتجاه المجال المغناطيسي.

ج - السلك عمودي على اتجاه المجال:

١٠- يتحرك إلكترون بسرعة 3×10^7 متر/ث عمودي على اتجاه المجال المغناطيسي كثافة الفيض فيه ٤, ٠ تسلا. أوجد القوة المؤثرة في الإلكترون. علماً بأن شحنة الإلكترون 1.6×10^{-19} كولوم.

١١- اكتب بالرموز القوانين الآتية:

أ - كثافة الفيض (ϕ) عند نقطة تبعد (ف) متر عن سلك مستقيم.

ب - كثافة الفيض (B) في مركز ملف دائري يمر فيه تيار شدته (ت)، ونصف قطر الملف (نق).

ج - كثافة الفيض (B) عند نقطة موجود في ملف حلزوني عدد لفاته وحدة

الأطوال $\frac{N}{l}$.

القياسات الكهربائية للتيار

The Electric Measurements

الوحدة

العاشرة



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، وفرة 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) لمصدر كهربائي.
- ٦- يوضح الطريقة التي يمكن بها تحويل الجلفانومتر إلى أجهزة قياس أخرى كأميتر، وفولتميتر، وأوميتر، ويحل مسائل تطبيقية عليهما.
- ٧- يوظف المعارف العلمية عن المقاييس الكهربائية في حياته اليومية والعامة.
- ٨- يذكر تركيب كل من: الفولتميتر، والأميتر، ومقياس الجهد، والقنطرة المترية، وقنطرة هويتسون عن طريق رسم أجزائها.
- ٩- يستنتج - رياضياً - قيمة كل من مجزئ التيار، ومجزئ الجهد.
- ١٠- يجري تجارب عملية لحساب قيمة مقاومة مجهولة باستخدام قنطرة هويتسون، والقنطرة المترية، ومقياس الجهد.

القياسات الكهربائية للتيار الكهربائي:

The Electric Measurements

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 في هذا الكتاب (الوحدة التاسعة) المغناطيسية، وخواصها، وتعرفت على بعض تطبيقاتها، وتأثيراتها المغناطيسية عند مرور التيار في الموصلات بمختلف أشكالها؛ وقد استفاد منها الإنسان في صناعة المغناط الكهربائي وأجهزة القياس التي يستخدمها مثل: 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 كهربائي تريد استعماله في حياتك بوحدة الفولت فلا بد لك من تعريف هذه الوحدات حتى تستطيع التعامل معها هي 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:

$$I = \frac{Q}{t}$$
 وهذا يعني أن شدة التيار تقاس بوحدة كولوم/ث، وقد أطلق على هذه

الوحدة باسم «أمبير» وفي هذا الصف سنستخدم وحدة دولية، أطلق عليها «الأمبير

الدولي» فماذا يقصد به؟

الأمبير الدولي: يقصد به شدة التيار الكهربائي الذي يمر في محلول نترات الفضة في

زمن مقداره ثانية واحدة؛ والذي يرسب كتلة من الفضة

مقدارها ٠,٠٠١١١٨٣ جم.

تعريف آخر: **الأمبير**: هو التيار المار في سلكين موصلين متوازيين طولهما لا نهائي ومساحة مقطع كل منهما مهملة بحيث تكون القوة بينهما 2×10^{-7} نيوتن لكل متر من الطول. 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 المقاومة بين نقطتين في موصل بحيث يعادل مقاومة عمود من الزئبق منتظم المقطع طوله ١٠٦,٣ سم، ومساحة مقطعه ١ مم^٢ عند درجة حرارة الصفر المئوي.

وبقى لنا قياس الكمية الأخيرة، وهي فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في موصل، أو قياس (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 $\times$ الشحنة، وقد عرفت أن وحدة قياس كل من الشغل وفرق الجهد، والشحنة الكهربائية يمكن وضعها في صورة العلاقة السابقة كما يأتي:

جول = فولت $\times$ 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؛ فلا بد لنا من استعراض الأجهزة التي تستخدم لقياسها في الدوائر الكهربائية، ومعرفة أجزائها، وفكرة عملها، والتعرض إلى بعض قوانينها، وهي محتوى هذه الوحدة.

يستخدم هذا الجهاز في قياس شدة التيارات الكهربائية المستمرة الضعيفة التي تمر في الموصلات الكهربائية للدوائر الكهربائية، وقد يصل مقدارها حوالي: 10^{-10} 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)

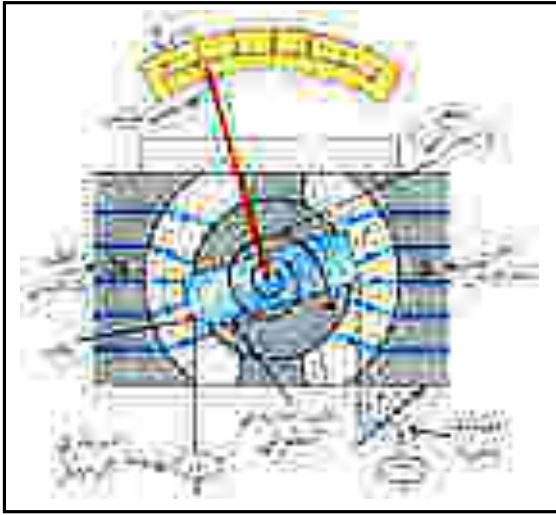
تركيبه:

يتركب في أبسط صورة من مغناطيس قوي على شكل حدوة الفرس، يوضع بين قطبيه ملف مستطيل من سلك نحاسي معزول قابل للدوران، وسلك (لي) رفيع، ويتصل ملفه بمؤشر يتحرك على تدريج مقسم إلى أجزاء صغيرة من الأمبير، والشكل (٢) يوضح تركيب أجزائه الداخلية في أبسط صورة. (الملف المستطيل لا يظهر في الصورة).

نظرية عمله

عرفت التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي عند مروره في الموصلات المختلفة الأشكال.... في الوحدة التاسعة في هذا الكتاب، وعند مرور تيار كهربائي في ملف الجلفانومتر، فإن كل ضلع من ضلعي الملف المستطيل والمتعامد مع خطوط المجال تؤثر عليه قوة مغناطيسية مقدارها: $q = l B$

والقوتان متساويتان ومتضادتان ومتوازيتان وخط عملهما ليس على استقامة واحدة.
ونتيجة لذلك يتولد ازدواج يكون له عزم يعمل على دوران الملف ونتيجة دوران الملف يلتوي سلك التعليق على نفسه فيتولد ازدواج مضاد للازدواج الأول وعندما يتوقف الملف عن الدوران يتساوى عزما الازدواجين فيثبت المؤشر عند قراءة معينة تدل على شدة التيار.



شكل (٢)

أما إذا مر تيار كهربائي كبير في الملف؛
فيكون عزم ازدواج الملف أكبر من عزم
ازدواج سلك اللي 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.
عرفنا - فيما سبق - أن الجلفانومتر يقيس شدة التيارات الكهربائية الصغيرة، فإذا كانت
شدة التيارات الكهربائية كبيرة فما الجهاز الذي يمكن استخدامه كبديل لقياسها؟
ولكي تجيب على هذا السؤال؛ دعنا نستعرض التصميم الذي وضعه العلماء وقاموا،
بإجراء تعديلات لجهاز الجلفانومتر؛ ليلبي الطلب السابق، وهذا الجهاز المعدل سمي
بالأميتر.

الأميتر Ameter



شكل (٣) جهاز الأميتر

الأميتر هو جهاز المعدل لجهاز الجلفانومتر
المستخدم لقياس شدة التيارات الكهربائية الكبيرة،
والتعديل هو إيصال ملف الجلفانومتر بزنبك عزمه أكبر
من عزم سلك اللي الرفيع، وإضافة مقاومة كهربائية
قيمته 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)

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 يتحملة الجلفانومتر. إضافة إلى أن الزنبرك يتحمل عزمًا 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 للملي أميتر

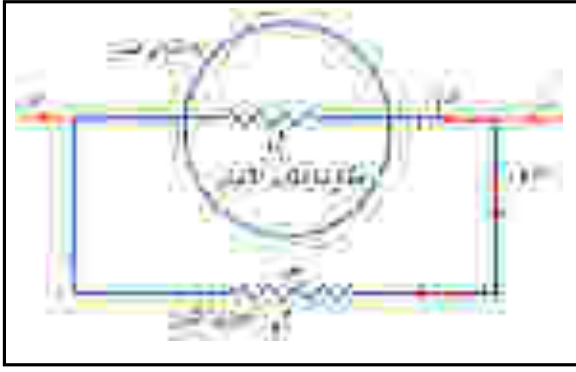
■ العلاقة بين وحدة قياس شدة التيار الأمبير، وأجزائه:

واحد أمبير = 10^3 مللي أمبير (mA).
 واحد mA = 10^{-3} أمبير.
 واحد ميكرو أمبير (μA) = 10^{-6} أمبير.

حساب قيمة مجزئ التيار:

- لماذا يتم توصيل مقاومة صغيرة على التوازي مع مقاومة ملف جهاز الأميتر؟

توصل المقاومة الصغيرة (م) على التوازي مع مقاومة ملفه (م)؛ لكي يتجزأ التيار المار في دائرته، وحتى لا يتلف ملفه. والشكل (٥)، يبين طريقة توصيل المقاومة الصغيرة (مجزئ التيار) مع ملف الأميتر .
 ولحساب مقاومة مجزئ التيار (م) .



شكل (٥) الأميتر

نفترض أن فرق الجهد بين طرفي الأميتر هو (ج_١). فولت ومن قانون أوم؛ لدينا :

$$ج_١ = ت_١ \times م_١ \dots\dots\dots (١).$$

و فرق الجهد بين طرفي مجزئ التيار: (ج_٢) فولت .

$$ج_٢ = ت_٢ \times م_٢ \dots\dots\dots (٢).$$

وطالما أن فرق الجهد بين طرفي المقاومة الداخلية للأميتر (ج_١)، ومجزئ التيار (ج_٢) متساو؛ نتيجة لتوصيلهما على التوازي ؛ إذن من العلاقتين: (١، ٢) نجد أن:

$$ت_١ م_١ = ت_٢ م_٢ \dots\dots\dots (٣). \text{ ويمكن وضع هذه المعادلة بالصورة الآتية:}$$

$$م_٢ = \frac{ت_١ \times م_١}{ت_٢} \dots\dots\dots (٤).$$

$$\text{وبما أن } ت_٢ = ت - ت_١ \text{ (٥)}$$

حيث (ت_٢) شدة التيار المار في مجزئ التيار، و(ت_١) شدة التيار المار بالمقاومة الداخلية ملف الأميتر. وبعد تعويض العلاقة (٥) في (٤) نحصل على العلاقة الآتية:

$$\dots\dots\dots (١) \quad م_٢ = \frac{ت_١ \times م_١}{ت - ت_١}$$

وبمعلومية قيمة (م_١ ، ت_١ ، ت) يمكن تعيين قيمة مقاومة مجزئ التيار (م_٢).



إذا أردت أن تحسب قيمة مقدار شدة التيار الكليّ (ت) المارة في جهاز الأميتر استخدم العلاقة الآتية:

$$ت = \frac{(م_٢ + م_١)}{م_٢} \times ت_١$$

فما الخطوات التي يمكنك اتباعها للوصول إلى هذه العلاقة؟ استرشد بالعلاقات السابقة عند كتابة خطوات الاستنتاج.

أمثلة:

مثال (١): جهاز أميتر مقاومته الداخلية (١٠) أوم ، وأكبر تيار يمكن أن يتحمله ملفه مقداره (٥ , ٠) 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)

$$I_m = \frac{I \times R_t}{R_t - R_m} \text{ ، وبالتعويض عن القيم المعطاة:}$$

$$I_m = \frac{0,5 \times 10}{0,5 - 3} = 2 \text{ أوم}$$

وهي قيمة مقدار المقاومة اللازم توصيلها مع ملفه على التوازي.

مثال (٢): جلفانومتر حساس ملفه لا يتحمل تياراً شدته أكبر من (١ , ٠) أمبير، أراد أحد الطلاب أن يستخدمه ليعتبر 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؛

$$I_m = \frac{I \times R_t}{R_t - R_m} = \frac{0,1 \times 50}{0,1 - 2} = 2,6 \text{ أوم تقريباً، وهي قيمة المجزئ اللازم توصيله مع الجلفانومتر؛ ليعتبر شدة التيار المطلوب.}$$



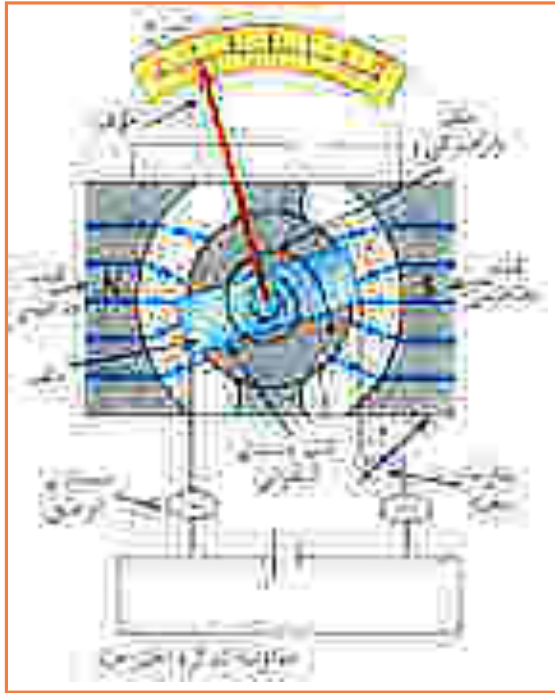
الفولتميتر Voltmeter

عرفنا فيما سبق كيف يمكن قياس شدة التيار الكهربائي بوحدة الأمبير، والآن إذا أردنا أن نقيس قيمة مقدار فرق الجهد: (ج) بين نقطتين في موصل متصل بدائرة كهربائية بوحدة الفولت؛ فما الجهاز الذي يستخدم لذلك؟

أنظر إلى الشكل (٦) الذي يوضح الجهاز المستخدم؛ لقياس فرق الجهد الكهربائي .

شكل (٦) صورة لجهاز الفولتميتر

تركيب الفولتميتر: يشبه هذا الجهاز في تركيبه تركيب الأميتر، ولكن يوصل ملفه بمقاومة كبيرة جداً على التوالي، كما يبينه الشكل (٧).



أما تدريجه فيندرج بوحدات الفولت، أو أجزائه. وعندما يراد استخدامه لقياس فرق الجهد بين نقطتين في دائرة كهربائية يُوصل مساري 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 تحمله دائرته الداخلية، فكيف يمكن أن نحل هذه المشكلة حتى نجعل الفولتميتر يقيس فروق جهود كبيرة، ونحافظ على عدم تلفه؟

شكل (٧) يوضح تركيب جهاز الفولتميتر

لحل هذه المشكلة يتم توصيل مقاومة كبيرة جداً على التوالي مع مقاومة ملفه؛ حتى يستطيع جهاز الفولتميتر أن يتحمل فروق جهود 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:

يتمكنك أن تعرف كيف يمكن تعيين مقدار مقاومة مجزئ الجهد المراد توصيله مع مقاومة ملف الفولتميتر؛ لكي يتم تعديله لقياس 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 (م_٢) لمجزئ الجهد على التوالي مع مقاومة ملفه (م_١)

(ج_٢) فرق الجهد بين طرفي مقاومة مجزئ الجهد (م_٢) ، (ج_١) فرق الجهد بين طرفي مقاومة ملف الفولتميتر (م_١) ، بينما فرق الجهد الكلي بين النقطتين:
(أ، د) = ج فولت .

و(ت) شدة التيار المار في دائرة الجهاز. ولحساب مقاومة مجزئ الجهد (م_٢) نتبع الخطوات التالية :

$$\therefore \text{ج} = \text{ج}_١ + \text{ج}_٢ \quad \therefore \text{ح} = \text{ج}_١ + \text{م}_٢ \text{ ت}$$

(ت هي شدة التيار الأعظم الذي يمر في الجهاز)

$$\therefore \text{ت} = \frac{\text{ج}_١}{\text{م}_١} \quad \therefore \text{ح} = \text{ج}_١ + \text{م}_٢ \cdot \frac{\text{ج}_١}{\text{م}_١}$$

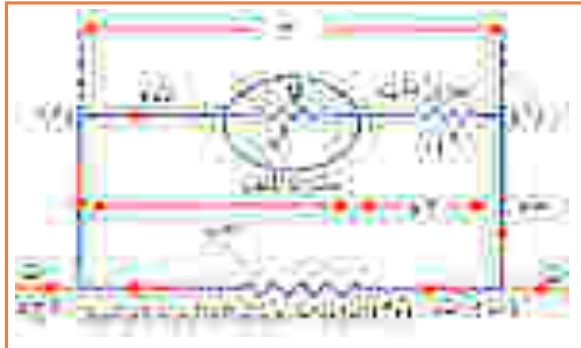
نضرب طرفي المعادلة بالمقدار $\frac{\text{م}_١}{\text{ج}_١}$ نحصل على

$$\text{م}_١ + \text{م}_٢ = \frac{\text{ج}_١}{\text{ج}_١} \text{ ح} \quad \text{ومنه}$$

$$\text{م}_٢ = \frac{\text{ج} - \text{ج}_١}{\text{ج}_١} \text{ م}_١ \quad \text{..... (٢)}$$

حساب فرق الجهد بين طرفي مقاومة خارجية:

يُربط جهاز الفولتميتر مع المقاومة الخارجية م_٢ على التوازي . وقد جُزئ التيار الكلي (ت) المار في دائرة الجهاز إلى التيارين (ت_١ ، ت_٢) كما يوضحه الشكل (٩)؛ حيث يمر الجزء الأول بالدائرة الخارجية (المقاومة م_٢) الموصلة بطرفي الفولتميتر، والجزء الثاني في الدائرة الداخلية له ، وبتطبيق قانون أوم على الشكل (٩)؛ فإن:



فرق الجهد الكلي بين النقطتين، (أ، د):

$$\text{ج} = \text{ج}_١ + \text{ج}_٢ \quad (١)$$

$$\text{ج}_١ = \text{م}_١ \times \text{ت}_١ \quad (٢)$$

$$\text{ج}_٢ = \text{م}_٢ \times \text{ت}_٢ \quad (٣)$$

وبوضع العلاقتين (٢، ٣) على صورة

تناسب؛ فإن:

شكل (٩) جهاز الفولتميتر.

$$\frac{ج_٢}{ج_١} = \frac{٢م}{١م}$$

وبما أنه نفس التيار المار في المقاومتين (٢م ، ١م) ؛ فإن هذه العلاقة تصبح على الصورة الآتية:

$$\frac{ج_٢}{ج_١} = \frac{٢م}{١م}$$

ومن خواص التناسب ؛ نحصل على :

$$ج_٢ + ج_١ = ج \quad ، \quad \frac{ج_٢ + ج_١}{ج_١} = \frac{٢م + ١م}{١م}$$

$$\therefore \quad \frac{ج_٢ + ج_١}{ج_١} = \frac{ج}{ج_١} \quad ، \quad \text{أو}$$

$$ج = ج_١ \times \frac{٢م + ١م}{١م} \dots\dots\dots (٣).$$

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) .

وللاستزاده فيما يتعلق بحساب مقدار مقاومة مجزئ الجهد (٢م) الموصله على التوالي مع مقاومة الفولتميتر الداخلية (١م) ؛ (أنظر خطوات إجراء التجربة في دليل الأنشطة والتجارب العملية).

مثال (٣): فولتميتر 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:

$$٢م = ١م = \left(\frac{ج - ج_١}{ج_١} \right) ٤٠٠ = \left(\frac{٢٥ - ٢٠}{٢٠} \right) ٤٠٠ = ١٠٠ \text{ أوم}.$$

مثال (٤): فولتميتر أعلى تدريج له = (٢) فولت، فإذا أردت استخدامه؛ ليقس 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:

$$\frac{(ج - ج_١)}{ج_١} ١٢ = ٢٢$$

$$٢٠٠ = \frac{(٢ - ٢, ٢)}{٢} ٢٠ = ٢٠ \text{ أوم.}$$



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 دليل التجارب.

الأومميتر : Ammometer

عرفت أن جهاز الأميتر يقيس شدة التيار الكهربائي بوحدة الأمبير، وجهاز الفولتميتر يقيس فرق الجهد الكهربائي بوحدة الفولت. وبقي 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 ليقس المقاومة الكهربائية بطريقة مباشرة، وتركيبه يشبه تركيب الجلفانومتر، ولكي يصبح الجلفانومتر جهاز يصلح لقياس مقدار المقاومة بالأوم بطريقة مباشرة فقد عدّل الجلفانومتر ليؤدي هذا الغرض؛ حيث يوصل معه على التوالي عمود كهربائي جاف قوته الدافعة الكهربائية تكون مناسبة. ويوصل معه - أيضاً - مقاومة

عيارية يرمز لها بالرمز (م ع) أن وظيفة كل من العمود الجاف، والمقاومة المعيارية، يجعل جهاز الأوميمتر 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 الأوميمتر، يعين مقداره من العلاقة:

$$I = \frac{Q}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (4)$$

حيث: (م) هي مقاومة ملف الأوميمتر، (م ع) هي المقاومة المعيارية، (م) المقاومة المراد قياسها، والشكل (١٠) يبين صورة الأوميمتر .
ملاحظة: يجب عدم استخدام الأوميمتر في دائرة مغلقة. (لماذا)؟

الأفوميتر Avometer :

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، والأوميمتر؛ وذلك بعد ما اجراؤا التعديلات للجلفانومتر، وتم إضافتها لدائرتة ثم وصلت معه مقاومة عيارية ي ، 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.



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 ليتمكن إصلاحه.

شكل (١٠) صورة لأفوميتر.

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؛ (Digital) (أي لا يوجد بها مؤشر يعطي القياس المطلوب لكل مما سبق ذكره). بل تغطي القراءة بالأرقام الصحيحة، والأجزاء لوحدات كل من: (الأمبير، والفولت، والمقاومة). ويمكنك مشاهدتها مع فنيي الكهرباء، والمهندسين الكهربائيين، وغيرهم.



حاول بالتعاون مع زملائك في الصف ومساعدة مدرسك مشاهدة جهاز «أفوميتر» من أحد محلات بائعي الأجهزة الكهربائية، أو محلات إصلاح الأجهزة الكهربائية، والإلكترونية، واطلب إليه أن يوضح كيفية استخدامه لقياس كل من (ت، م، ج) واكتب رموزها باللاتينية كما هي مدونه على الجهاز المبين في الشكل (١١)، ثم عد تقريراً بذلك، وألقه في كلمة طابور الصباح.



شكل (١١) جهاز رقمي يقيس كلاً من (A, V, R)

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 المارة بالسلك هي (ت) أمبير، فإن فرق الجهد بين النقطتين (أ،ب) كما يلي:

$$ج = ت \times م$$

ويكون فرق الجهد على وحدة الطول (ج) من سلك القياس هو:

$$ج = \frac{ج}{ل} = \frac{ت \times م}{ل} ; \text{حيث (ل) طول السلك المشدود (أ،ب).}$$

وعندما نأخذ نقطة على السلك تقع بين طرفي السلك (أ،ب)، ولتكن هذه النقطة هي

(هـ)؛ شكل (١٣)، فإن فرق الجهد ج_١ بين النقطتين (هـ، ب)

يمكن حسابها من العلاقة:

$$ج_١ = ج_١ \times \frac{ج}{ل} = \frac{ت \times م}{ل} \times ل, ١, (١).$$

حيث (ل) بعد النقطة (هـ) عن الطرف (١) لسلك مقياس الجهد، وإذا أخذنا نقطة أخرى، ولتكن (د) على سلك مقياس الجهد بعدها عن النقطة (١) يساوي (ل_٢)؛ فإن فرق الجهد (ج_٢) بين النقطتين (١، د) يمكن حسابه من العلاقة:

$$ج_٢ = \frac{ت \times م}{ل} \times ل_٢, (٢).$$

ومن المعادلتين (١، ٢)؛ نحصل على العلاقة الآتية:

$$\frac{ل_١}{ل_٢} = \frac{ج_١}{ج_٢} \quad (٥).$$

من العلاقة (٥)، يتضح أن فرق الجهد بين الطرفين (١) لسلك مقياس الجهد، وأي نقطة عليه يتناسب طردياً مع بعدها عنه. ولذلك فإن بعد أي نقطة على سلك مقياس الجهد عن الطرف (١) تعتبر مقياساً 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.

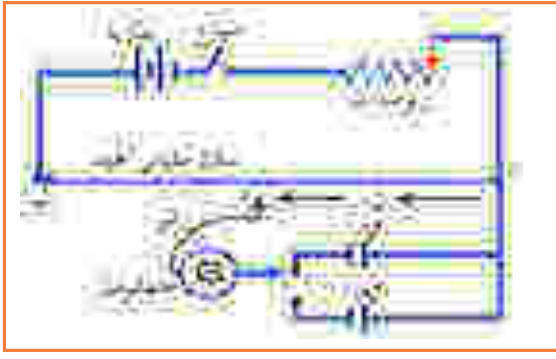
ملاحظة:

١- يجب أن يوصل القطب السالب للعمود المراد تعيين قوته الدافعة بالقطب السالب للبطارية الرئيسية للمقياس وإلا فلا يمكن إيجاد نقطة على سلك المقياس ينعدم عندها انحراف مؤشر الجلفانومتر.

٢- لا بد وأن تكون القوة الدافعة الكهربائية للبطارية المستخدمة في دائرته الرئيسية 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، تتركب الدائرة كما يبينه الشكل (١٤) يوصل العمود الأول وقوته الدافعة (و_١) في دائرة سلك مقياس الجهد، ويتم تحريك الزالق على سلك مقياس الجهد من



شكل (١٤).

النقطة (٢)، وفي اتجاه النقطة (ب) من الطرف الآخر للسلك؛ حتى يتزن مؤشر الجلفانومتر أي يعود إلى الصفر. وهذا يعني أن (١) للعمود قد اتزنت مع فرق الجهد على سلك المقياس بين الزالق، والنقطة (٢) المشتركة بين طرف السلك، والعمود الأول، وفي هذه الحالة يتم قراءة المسافة بين النقطة (٢)،

والنقطة (٥) المنزلقة الذي حدث عندها الاتزان، ولتكن (ل١).

- يستبدل العمود الثاني الذي (ق.و.ك = ق٢) بالعمود الأول، وب نفس الطريقة يمكن تعيين المسافة بين الطرف (٢) لسلك المقياس، والنقطة التي حصل عندها الاتزان للسلك المتحرك (المنزلق) ولتكن (ل٢).

في هذه الحالة يكون:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

(٦).....

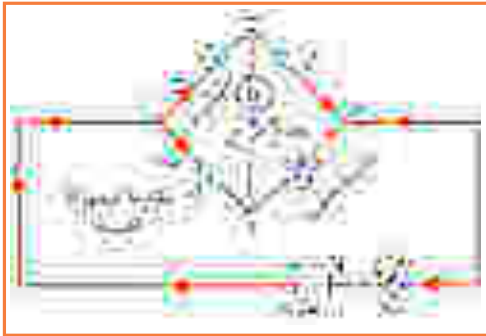
من هذه العلاقة بمعلومية إحدى القوتين الدافعتين يمكن حساب (ق.و.ك) للعمود الآخر.

تجربة: استخدام مقياس الجهد في قياس (ق.و.ك) لعمود كهربائي:
(أنظر خطوات إجراء التجربة في دليل إجراء التجارب العملية).



حاول بالتعاون مع زملائك عمل نموذج لمقياس جهد من مواد متوافرة في بيتك.

قنطرة هويتستون Wheatstione bridge Circuit



شكل (١٥).

يتكون جسر هويتستون من أربع مقاومات: (١م، ٢م، ٣م، ٤م) كما يوضحه الشكل (١٥) مرتبة على التوالي، وتكون المقاومة (٣م) معلومة متغيرة، والمقاومتان (١م، ٢م) معلومتان، والمقاومة (٤م) قيمتها مجهولة. وتستخدم هذه القنطرة في تعيين قيمة مقاومة مجهولة.

- 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، ج، د، د، أ)، وعند توصيل النقطتين (ب، د) بالفتاح (ح_١) وبالجلفانومتر يكون صفه في المنتصف، ويتم توصيل النقطتين (أ، ج) بقطبي البطارية التي قوتها الدافعة (و) 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 التدرج (صفر). ويحدث الاتزان عندئذ. وشدة التيار (ت_١) الذي يمر في الضلع (أ، ب) هو نفسه الذي يمر في الضلع (ب، ج).

وبالمثل شدة التيار (ت_٢) الذي يمر في (ج، 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:

$$ج\text{ب} - ج\text{د} = \text{صفر}$$

$$\therefore ج\text{ب} = ج\text{د}$$

$$م\text{٢} \times ت\text{٢} = م\text{١} \times ت\text{١} \dots\dots\dots (١)$$

وكذلك فرق الجهد بين النقطتين (د، ج) يساوي فرق الجهد بين النقطتين (ب، ج) ومنها

$$م\text{٣} \times ت\text{٣} = م\text{٤} \times ت\text{١} \dots\dots\dots (٢)$$

وعند قسمة المعادلة (١) على المعادلة (٢)؛ فإننا نحصل على العلاقة الآتية:

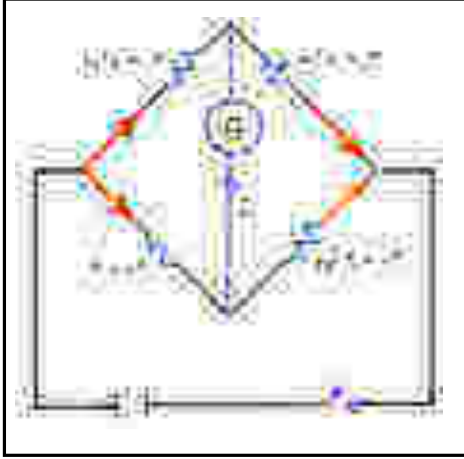
$$\frac{م\text{٢} \times ت\text{٢}}{م\text{٣} \times ت\text{٣}} = \frac{م\text{١} \times ت\text{١}}{م\text{٤} \times ت\text{١}} \text{ ومنها } \frac{م\text{٢}}{م\text{٣}} = \frac{م\text{١}}{م\text{٤}}$$

ومن هذه المعادلة يمكن تعيين قيمة المقاومة المجهولة (م_٢) كما يلي:

$$\boxed{م\text{٢} = \frac{م\text{١}}{م\text{٤}} \times م\text{٣}} \dots\dots\dots (٧)$$

وذلك بمعلومية كل من (م_١، م_٣، م_٤).

- ملاحظة: يسمى المقدار $\frac{12}{4M}$ ، بذراعي النسبة لقنطرة هويتستون.



شكل (١٦)

مثال (٥): أنظر إلى الشكل (١٦) واستعن بالبيانات المكتوبة عليه، ثم احسب قيمة المقاومة ($2M$) المجهولة مع العلم أن قنطرة هويتستون متزنة.

الحل:

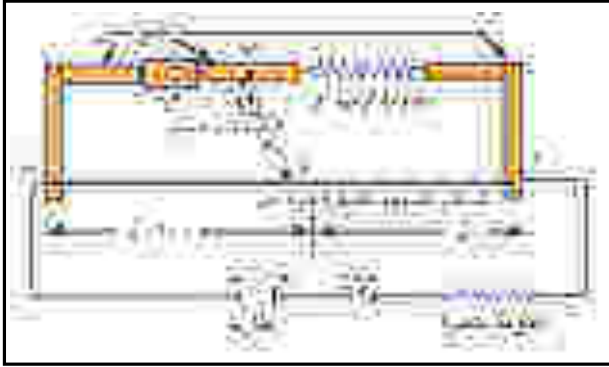
$$2M = \frac{12}{4M} \times 3M \text{ بالتعويض}$$

$$\therefore 2M = \frac{6}{8} \times 3 = 2.25 \text{ أوم.}$$

القنطرة المترية

تعد القنطرة المترية جهازاً مطوراً وبديلاً عن قنطرة هويتستون؛ لسهولة استخدامها في تعيين قيمة مقدار مقاومة كهربائية مجهولة.

- مم يتركب هذا الجهاز؟



شكل (١٧)

يتركب من لوحة خشبية يثبت عليها ثلاث قطع من النحاس السميك كما يثبت سلك مشدود معدني بين النقطتين (٢)، (ج) على اللوحة الخشبية التي طولها طوله (١٠٠) سم

وهذه اللوحة مدرجة من (صفر إلى ١٠٠ سم) ويثبت بين القطع النحاسية الثلاث مقاومتين إحداهما معلومة، والأخرى قيمتها مجهولة كما يوضح ذلك الشكل (١٧).
يلاحظ - أيضاً- أنه يتم توصيل جلفانومتر من منتصف القطعة النحاسية (ب) وطره الآخر بسلك متحرك، يتحرك بحرية على السلك المشدود وكذلك توصل القطعة (٢ ج) ببطارية ، ومفتاح ، ومقاومة متغيرة لتقليل التيار المار في سلك القنطرة حتى لا ينصهر.

عند غلق الدائرة على السلك المشدود يقسم زالق الجلفانومتر السلك المشدود إلى جزأين؛ لكي يعمل 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) ونسميها (ل).

وتكون المسافة بين النقطة (د) والنقطة الأخرى (ج)
(د ج) = ١٠٠ - ل سم.

وبما أن السلك المعدني المشدود منتظم المقطع مقاومته تتناسب طردياً مع طوله؛ فإن:

$$\frac{ل}{ل-١٠٠} = \frac{١٢}{٢٢}$$

حيث (م) هي المقاومة التي قيمتها مجهولة، (ل) المسافة بين الطرف الأول للسلك المشدود (٢) ، ونقطة الاتزان (د) التي تناظر المقاومة (م)، (م) مقاومة قيمتها معلومة، والتي تناظر المسافة (١٠٠ - ل) بين الطرف الآخر للسلك المشدود (ج)، ونقطة الاتزان (د) . اذن قيمة المقاومة المجهولة (م) هي :

$$.....(٨) \quad ٢٢ \times \frac{ل}{ل-١٠٠} = ١٢$$

وبمعرفة قيم المقادير م ، ل ، يمكن معرفة قيمة قياس المقاومة المجهولة (م) باستخدام القنطرة المترية.

مثال(٦): أراد أحد الطلاب أن يعرف قيمة مقاومة مجهولة (م)، وذلك باستخدام قنطرة مترية، موصله بمقاومة معلومة م = ٢٠ أوم . فإذا كان طول السلك القنطرة المقابل للمقاومة المجهولة في حالة الاتزان هو (٤٠)سم، فما قيمة المقاومة المجهولة (م) ؟

الحل:

$$٢٢ \times \frac{ل}{ل-١٠٠} = ١٢ ، نعوض عن القيم المعطاة في المثال$$

وهي : $م = ٢٠$ أوم ، $ل = ٤٠$ سم نجد أن :

$$م = ١٢ = ٢٠ \times \frac{ل}{٤٠ - ١٠٠} = ٢٠ \times \frac{٤٠}{٦٠} = ٢٠ \times \frac{٢}{٣} = ١٣,٣ \text{ أوم} .$$

مثال (٧): إذا وصلت مقاومة $م = ٥٠$ أوم في القنطرة المتريية . وكان طول السلك المقابل لها بعد الاتزان $ل = ٤٥$ سم .

فما قيمة مقاومة مجهولة ($م$) موصلة بالقنطرة المقابلة للجزء الآخر من سلكها؟

الحل:

$$م = ١٢ = ٢٠ \times \frac{ل}{ل - ١٠٠} , \therefore ل = ٤٥ \text{ سم} , م = ٥٠ \text{ أوم} .$$

$$(م) \text{ المجهولة} = ٥٠ \times \frac{٤٥}{٤٥ - ١٠٠} = ٥٠ \times \frac{٩}{١١} = ٤٠,٩ \text{ أوم} \approx ٤١ \text{ أوم تقريباً} .$$

$$= \frac{٤٥٠}{١١} = ٤٠,٩ \text{ أوم} \quad \text{أو} \quad ٤١ \text{ أوم تقريباً} .$$



حاول الحصول على أسلاك معدنية لمواد مختلفة، كالنحاس، والحديد، الألومنيوم، واجعل بعضها على شكل لولبي، ولتكن أسلاك لف الشعر مثلاً، وعين المقاومات لها، وسجل عليها المقدار؛ لاستخدامها في القيام بتجارب عملية، باستخدام القنطرة المتريية.

تقويم الوحدة

س ١: أكمل الفراغات التالية بما يناسبها من كلمات:

- أ - تعد القنطرة المترية جهازاً بديلاً لـ؛ لأن استخدامها يكون أسهل منها في تعيين قيمة مقاومة كهربائية مجهولة .
- ب - مقياس الجهد يقيس (ق.د.ك) لمصدر كهربائي بطريقة من استخدام الفولتميتر.
- ج - 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

س ٢: 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 يتحملة ملفه () .
 - ٤ - عند استخدام الجلفانومتر ذي الملف المتحرك كفولتميتر، توصل مقاومة كبيرة على التوالي مع ملف الجلفانومتر () .
 - ٥ - يتم توصيل مقاومة عيارية بالأومميتر () .
 - ٦ - يوجد أسطوانة من النحاس الأحمر داخل ملف الجلفانومتر () .
- ٣ - علل ما يلي:

- أ - يتم توصيل مقاومة كبيرة مع المقاومة للملف الفولتميتر على التوالي.
- ب - يوصل الأميتر مع مقاومة ملفه مقاومة صغيرة على التوالي.
- ج - 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.

تابع تقويم الوحدة

٥- بين بالتجربة: كيف يمكنك استخدام مقياس الجهد في تعيين (ق.د.ك) لعمود كهربائي جاف؟

٦- جلفانومتر مقاومة ملفه (٥, ٠) أوم وأكبر تدريج له (٥) أمبير؛ فإذا أردنا استخدامه ليقس شدة تيار (١٠) أمبير، فاحسب مقدار قيمة مقاومة مجزئ التيار اللازم توصيلها مع مقاومة ملفه؟

٧- جلفانومتر يمر به تيار شدته (٤, ٠) 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 - الأوممتر - الأفوممتر)؟

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 ليقس 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؟

تم الكتاب بحمد الله