الجمهورية العربية السورية
وزارة التربية

الفيزياء

كتاب الطالب
والأنشطة والتدريبات

الثاني الثانوي العلمي

٢٠١٧ - ٢٠١٨م
١٤٣٨ هـ

الجُمهوريَّةُ العربيَّةُ السّوريَّةُ
وزارةُ التَّربيةِ

الفيزياء

كتابُ الطالب

والأنشطة والتدريبات

الثّاني الثّانويّ العلمي

2017 - 2018 م

1438 - 1439 هـ

المؤسّسة العامّة للطّباعة

طُبِعَ أوّلَ مرّةٍ للعام الدّراسيّ 2011 - 2012 م

المؤلّفون

بشّار مهنا

عبد الله بو يحيى

علي الفقير

عمر أبو دان

ملك الشوّا

وردت الأسماء بحسب الترتيب الهجائيّ

المدخل

إنّ التطوّر الكبير الحاصل في مجال العلوم وتكنولوجيا المعلومات والاتصالات، وإمكانية الحصول على المعارف من مصادر مختلفة يضعنا أمام تحديات كبيرة فلم يعد الكتاب المدرسيّ الوسيلة الوتعليمية الوحيدة للمعرفة العلميّة، وإنما أصبح واحداً من مصادر المعرفة في عصر مليء بمصادر تعلميّة أخرى.

لهذا يأتي هذا الكتاب في إطار خطة وزارة التربية في تطوير المناهج بالتركيز على المتعلّم ونشاطاته التفاعليّة، وقد تمّ إعداد هذا الكتاب على أسس تربويّة سليمة في ضوء نظريّات التعلّم الحديثة التي تستند إلى استراتيجيات التعلّم النشط وفق خطة وزارة التربية حسب المعايير الحديثة لعام 2007 م.

ولكي تتحقق أهداف كتاب الطالب في مادة الفيزياء للصف الثاني الثّانوي العلمي تؤكد على ضرورة اكتساب الطلاب منهجية التفكير العلمي، وتنمية الملاحظة والتحليل والاستنتاج، مما يمكّن من تحفيز دافعية التعلّم ضمن الفريق اعتماداً على مصادر التعلّم المختلفة.

لقد شملت عملية التطوير التركيز على ربط المادة العلميّة بحياة المتعلّم وبيئته، ومواكبة المستجدات العلميّة لما لها من أثر فعّال في حياة الإنسان من خلال إثراء المادة بمجموعة من الأنشطة التي يستطيع الطالب تنفيذها في المخبر وفي الصف، وكذلك إذكاء روح الابتكار في نفوس الطلاب مما يكسبهم المهارات العلميّة والتعلميّة التي يحتاجونها إليها في حياتهم.

وقد جاء ترتيب الموضوعات في هذا الكتاب وفق المعايير الوطنية الحديثة في الجمهوريّة العربيّة السوريّة، وتشمل الوحدات الآتية:

- **الحركة والتحريك.**
- **المادة والحرارة.**
- **الكهرباء والمغناطيسية.**
- **الضوء والصوت.**

ولتحقيق أهداف هذا الكتاب يجب التأكيد على مخرجات التعلّم لأنها تركز على المتعلّم بالإضافة إلى توجيهه نحو الاستقصاء النشط للتوصّل إلى المعارف.

المؤلفون

الحركة والتحريك

- قوة توتّر نابض
- الحركة الدائرية المنتظمة
- التحريك الدوراني
- الأفعال المتبادلة في حقل الجاذبيّة
- القمر الصنعيّ
- القذائف
- النسبيّة الخاصّة

الحركة والتّحريك

الأهداف العامّة للوحدة:

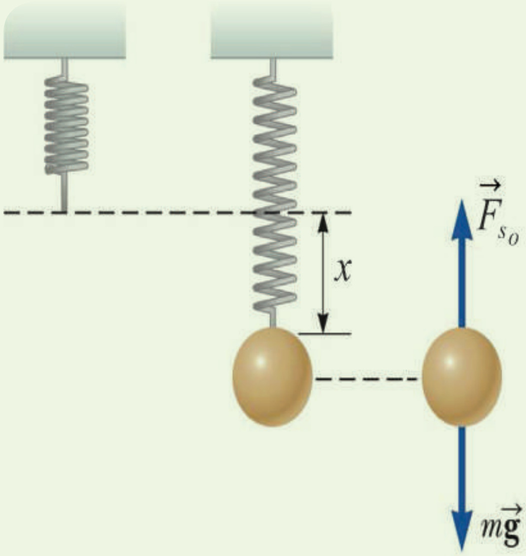
يجب أن يكون المتعلِّم في نهاية الوحدة قادراً على أن:

- يستنتج تجريبياً العلاقة بين القوة واستطالة النابض.
- يتعرّف الحركة الدائرية كحالة خاصة من الحركة المنحنية.
- يتعرّف الحركة الدورانية.
- يتعرّف قانون نيوتن العالمي.
- يستنتج علاقة سرعة القمر الصنعي على مداره.
- يتعرّف حركة القذيفة.
- يتعرّف مبادئ النسبية الخاصة.
- يحلّ تمارين ومسائل تطبيقية.

قوة توتّر نابض

الأهداف التعليمية

1. يتعرّف الجسم المرن.
2. يتعرّف حدّ المرونة.
3. يستنتج تجريبيّاً العلاقة بين القوّة واستطالة النابض.
4. يرسم المنحني البياني لتغيّرات الاستطالة بتغيّر شدّة القوّة المؤثّرة.
5. يستنتج علاقة توتّر النابض.
6. يستنتج علاقة عمل قوّة توتّر نابض من الخط البياني.
7. يصوغ علاقة الطاقة الكامنة المرونيّة في نابض.
8. يبيّن أهميّة النوابض في التطبيقات العمليّة.



ماذا يحدث عندما نعلّق ثقلاً مناسباً بنهاية نابض مرن يتدلى شاقولياً؟ يزداد طول النابض.

نعلّق ثقلاً إضافياً في نهاية النابض ماذا نلاحظ؟ تزداد استطالة النابض.

عند نزع الأثقال السابقة ماذا يحدث؟ يعود النابض إلى طوله الأصلي.

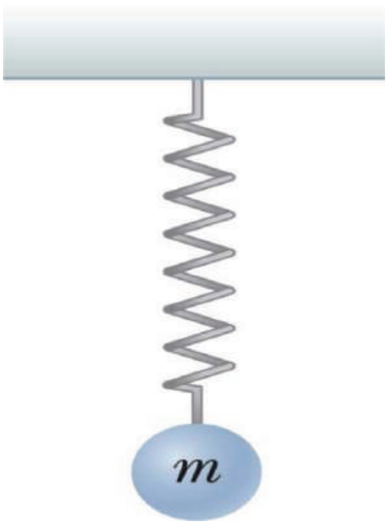
نقول عن النابض: إنّه جسم مرن لأنّه عاد إلى وضعه الأصلي بعد زوال القوّة المؤثّرة في نهايته.

الجسم المرن:

هو كلّ جسم يتغير شكله بتأثير قوة خارجية تغيراً مؤقتاً، ويزول هذا التغيّر بزوال القوة الخارجية فيعود إلى شكله الأصلي.

قوى المرونة:

إنّ حدوث تشوه في جسم صلب بتأثير **قوى خارجية** يعني انتقال بعض



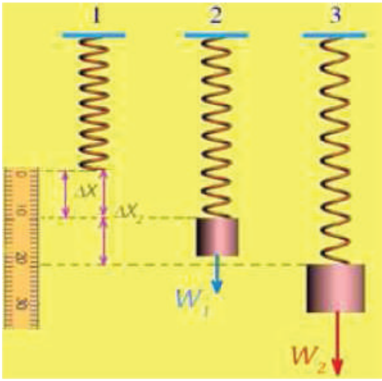
الشكل 1 - 1 - 1
جسم كتلته m معلق بنابض يسبب استطالة النابض

جزيئاته بالنسبة إلى بعضها البعض إلى وضع جديد، مما يسبب ظهور قوى بين الجزيئات تعرقل هذا التشوّه، تسعى إلى العودة إلى هيئة الجسم المشوّه وحجمه اللذين كان عليهما، تسمى هذه القوى **بقوى المرونة**.

المرونة:

المرونة هي خاصية عودة الأجسام المرنة المشوهة إلى شكلها الأصلي بعد زوال القوى الخارجية المؤثرة عليها، وعندما تتجاوز شدة القوة المسببة لتشوه الجسم حدّاً يدعى **حدّ المرونة**، يفقد الجسم مرونته، ولا يعود إلى شكله الأصلي.

ثابت صلابة نابض:



الشكل 2 - 1 - 1
تتناسب الاستطالة طرداً مع ثقل الجسم المعلّق بالنابض

- نثبّت نابضاً مرناً شاقولياً نفرضه مهمل الكتلة، حلقاته متباعدة، ونضع بجواره مسطرة مثبته شاقولياً، ومزوّدة بمؤشّر يقابل التدريجة صفراً النهاية السفليّة للنابض.
- نحمّل النابض بصنجات مناسبة مختلفة بكتلها على التوالي، ونقيس في كل مرّة استطالة النابض بعد أن يتوازن.
- ندوّن النتائج في جدول كالآتي:

m (g)	50	100	150	200
$F = W$ (N)				
x (m)				
$\frac{F}{x}$				

ماذا تستنتج من التجربة؟

نستنتج أنّ نسبة شدّة قوّة الثقل المسببة لاستطالة النابض إلى مقدار الاستطالة التي تسبّبها هذه القوة هي نسبة ثابتة تقريباً، ندعو هذه النسبة ثابت صلابة النابض k .

نتيجة:

إنّ استطالة النابض تتناسب طرداً مع شدّة القوّة المؤثّرة في طرف النابض وفق محوره.

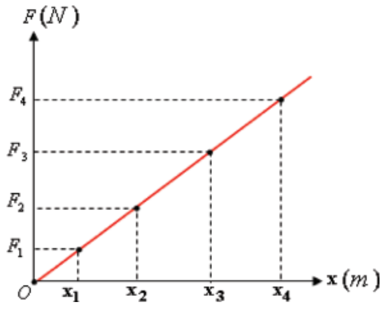
أي: $\frac{F}{x} = const$

- ارسم الخطّ البيانيّ لتغيّرات الاستطالة بتغيّر شدّة القوّة المؤثّرة، ما شكل هذا الخطّ؟

شكل الخطّ مستقيم يمرّ بمبدأ الفواصل.

ما ميل هذا المستقيم؟

ميله يمثل النسبة $\frac{F}{x}$ التي هي ثابت صلابة النابض k.



الشكل 3 - 1 - 1
الخط البياني لتغيرات استطالة النابض بتغيّر شدة القوة المؤثرة في النابض

فكّر:

ماذا يحدث عند زيادة الثقل المعلّق بالنابض إلى قيمة تتجاوز حدّ مرونة النابض؟

معلومات إثرائية:

تتعلق قيمة ثابت صلابة نابض k بالعوامل الآتية:

- نوع المادة التي صنع منها.
- طوله.
- عدد حلقاته.
- نصف قطر الحلقة.

قانون هوك:

إنّ مقدار التغيّر الذي يطرأ على الجسم المرن يتناسب طرداً مع شدّة القوّة المؤثّرة، عليه شريطة أن لا تتعدّى حدّ مرونة الجسم.

يعبّر عن قانون هوك في حالة النوابض المرنة بالعلاقة: $F = k\, x$

حيث:

k ثابت صلابة النابض ووحدته في النظام الدولي (SI) هي: $N.m^{-1}$

F شدة القوة المؤثرة في النابض تقاس بالنيوتن.

x التغيّر في طول النابض يقاس بالمتر و هو مقدار جبري:

$\overline{x} > 0$ إذا استطال النابض

$\overline{x} < 0$ إذا انضغط النابض

نتيجة:

$\overline{F} = k\, \overline{x}$ (قانون روبرت هوك)

- نقوم بإعادة التجربة السابقة من أجل نابض آخر مختلف عن النابض

الأول بنوع مادته مثلاً وندوّن النتائج في الجدول كالآتي:

m (g)	50	100	150	200
$F = W$ (N)				
x' (m)				
$\frac{F}{x'} = k'$ (N.m^{-1})				

ماذا تستنتج؟

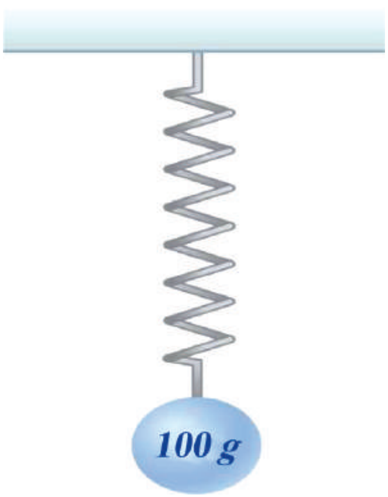
النسبة $\frac{F}{x'}$ تتغير بتغيير النابض أي: $k \neq k'$

نتيجة:

لكل نابض ثابت صلابة يميّزه عن النوابض الأخرى وتتغير قيمته من نابض إلى آخر مختلف عنه.

مثال محلول (1):

يُعلّق جسم كتلته 100 g بنهاية نابض مرن شاقولي مهمل الكتلة حلقاته متباعدة، فيستطيل بمقدار 1 cm. والمطلوب حساب قيمة ثابت صلابة النابض. $(g = 10\ m.s^{-2})$



الحل:

1- حساب قيمة ثابت صلابة النابض:

$F = k\,x$ لكن $F = W$

$$\Rightarrow k = \frac{W}{x} = \frac{m\,g}{x} = \frac{100\times10^{-3}\times10}{1\times10^{-2}} = 100\ \ N.m^{-1}$$

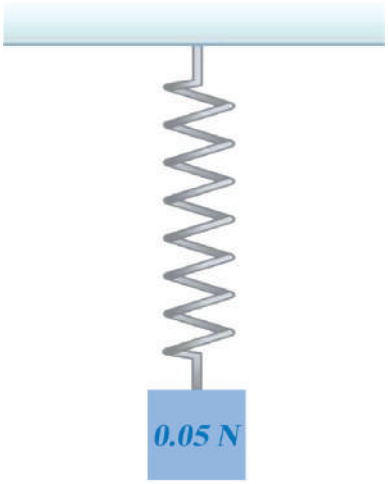
مثال محلول (2):

نــابض مــرن شــاقولي مهمل الكتلة حلقاته متباعدة يستطيل 1 cm بتأثير ثقل 0.05 N، باعتبار $g = 10\ m.s^{-2}$ المطلوب:

1- ما قيمة الكتلة المعلّقة بوحدة g ؟

2- مــا اســتطالة النابض عن وضعه الأصلي إذا علقنا كتلة 5 g إضافة إلى الكتلة السابقة؟

3- إذا أردنا للنابض أن يستطيل 3 cm عن وضعه الأصليّ، ما قيمة الثقل الواجب تعليقه بالنابض؟



الحل:

1- حساب قيمة الكتلة المعلّقة:

$$m = \frac{W}{g} = \frac{0.05}{10} = 0.005\ kg = 5\times10^{-3}\times10^{3} = 5\ g$$

2- حساب الاستطالة:

بما أن الكتلة المعلّقة تساوي الكتلة السابقة والنابض نفسه؛ لذلك الاستطالة: $x = 1+1 = 2\ cm$

ويمكن حساب الاستطالة عن طريق تطبيق قانون هوك:

$$F' = 2F \Rightarrow kx' = 2\,kx \Rightarrow x' = 2\,x \Rightarrow x' = 2\times10^{-2}\ m$$

3- حساب قيمة الثقل المعلق:

$$W = kx$$

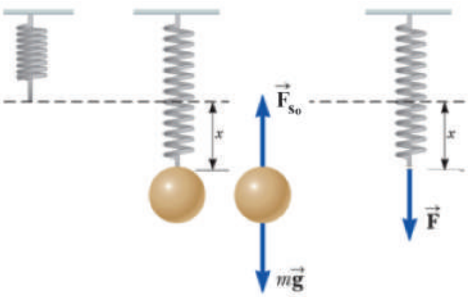
لكن: $$k = \frac{W}{x} = \frac{0.05}{1\times10^{-2}} = 5\ N.m^{-1}$$

$$W = 5\times3\times10^{-2} = 15\times10^{-2}\ N$$

قوة توتّر نابض:

في التجربة السابقة توازنت الكتلة المعلّقة في طرف النابض، وهي خاضعة لتأثير قوّة ثقلها، لماذا؟

- لوجود قوّة تعاكس قوة ثقلها مباشرة عند التوازن هي قوّة توتّر النابض $\vec{F_s}$ (القوّة التي يؤثّر بها النابض على الكتلة المعلّقة به) بحسب القانون الثالث لنيوتن (الفعل ورد الفعل).



الشكل 4 - 1 - 1
يؤثر النابض على الكتلة المعلقة به بقوة توتر النابض

أي من شرط التوازن:

$$\Sigma \vec{F} = \vec{0}$$

$$\vec{F_s} + \vec{F} = \vec{0}$$

$$\Rightarrow \quad \vec{F_s} = -\vec{F}$$

وبما أن القوتين على حامل واحد تؤول العلاقة الشعاعية إلى علاقة جبرية:

$$\Rightarrow \overline{F_s} = -\overline{F}$$

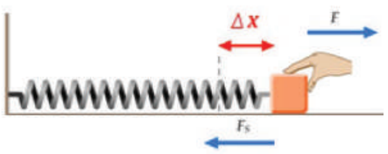
$$\Rightarrow \overline{F_s} = -k\,\overline{x}$$

نتيجة:

تتولّد في النابض قوّة توتّر نابض $\vec{F_s}$ عندما يتغيّر طول النابض عن طوله الأصليّ.

عمل قوّة توتّر نابض:

نضع جسماً صغيراً على سطح مستو أفقي أملس، ونصله بإحدى نهايتي نابض مرن جُعلت نهايته الأخرى ثابتة، كما في الشكل.

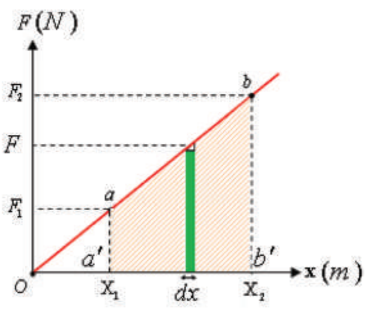


الشكل 5 - 1 - 1
نابض يستطيل بتأثير قوة الشد

- نشدّ الجسم بقوة F فيستطيل النابض بمقدار Δx، نحسب العمل العنصري dW الـذي تقوم بــه القــوة F التي نعـدّها ثـابتة من أجل انتقال عنصري dx:

$$dW = F\ dx$$

ومن الخط البياني لتغيّرات الاستطالة بتغيّر القوة المؤثرة، وفي الشكل المقابل نلاحظ أنّ الجداء Fdx يمثل مساحة المستطيل الأخضر (بإهمال مساحة المثلث الصغير)، ولحساب العمل الذي قامت به القوّة F (متغيّرة الشدّة) نقسّم شبه المنحرف $aa'b'b$ إلى مستطيلات صغيرة جداً، بحيث تمثّل مساحة كل مستطيل العمل العنصري، من أجل انتقال عنصري dx مجموع قيم مساحات المستطيلات يساوي s عددياً قيمة العمل ويساوي s مساحة شبه المنحرف $aa'b'b$



الشكل 6 - 1 - 1
الخط البياني لتغيّر القوة المؤثرة في النابض بدلالة استطالة النابض

$$W = s = \frac{aa' + bb'}{2} \times a'b'$$

$$W = \frac{F_1 + F_2}{2} \times (x_2 - x_1)$$

$$W=\frac{kx_1+kx_2}{2}\times(x_2-x_1)$$

$$W=\frac{1}{2}k(x_1+x_2)\times(x_2-x_1)$$

$$W=\frac{1}{2}k(x_2^2-x_1^2)$$

$$\overline{W}=\frac{1}{2}k(x_2^2-x_1^2)$$

وهي عبارة عمل قوّة متغيّرة الشدّة تؤثّر في النابض.

وبما أنّ: $\overline{W}_{\vec{F}} = -\overline{W}_{\vec{F}_s}$

يكون: $\overline{W}=-\frac{1}{2}k(x_2^2-x_1^2)$ **وهي عبارة عمل قوّة توتّر النابض.**

الطاقة الكامنة المرونيّة:

نعلم أنّ العمل يساوي تناقص الطاقة الكامنة المرونية.

إذن الطاقة الكامنة للنابض من أجل استطالة x_1 هي $\frac{1}{2}k\,x_1^2$ ومن أجل استطالة x_2 هي $\frac{1}{2}k\,x_2^2$

إنّ مقدار الطاقة الكامنة المرونيّة المختزنة في نابض تتناسب طرداً مع ثابت صلابة النابض، وتتناسب طرداً مع مربع تغيّر طول النابض.

يعبّر عن قانون الطاقة الكامنة المرونيّة المختزنة في النابض بالعلاقة:

$$E_p=\frac{1}{2}k\,x^2$$

حيث E_p الطاقة الكامنة المرونيّة وحدتها في الجملة الدولية هي الجول J

k ثابت صلابة النابض $N.m^{-1}$

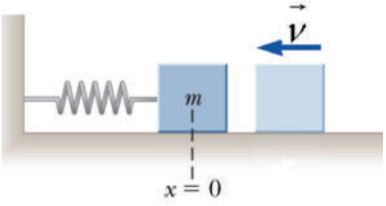
x الاستطالة m

هل تعلم:

أنّ للنوابض استخدامات كثيرة في حياتنا العملية، فالنوابض ذات الصلابة العالية تستخدم للربط بين القاطرات كمصدم للتوقّف. كذلك الأمر تستخدم في السيارات كعامل أمان، حيث تُكسبها المرونة عند اجتياز السيارة للحفر والمطبات (أتمصّورات).

مثال محلول (3):

يتحرّك جسم كتلته $m_1=0.4\ kg$ على مستوٍ أفقيّ أملس بسرعة ثابتة v باتّجاه جسم ثانٍ ساكن كتلته $m_2=0.6\ kg$ مثبّت بطرف نابض مرن أفقيّ مهمل الكتلة دون انضغاط، طوله الأصلي $\ell_0 = 25\ cm$ كما في الشكل، فيصطدم الجسمان ويرتبطان آنياً. والمطلوب:



الشكل 7 - 1 - 1
كتلة تصدم كتلة أخرى ساكنة مرتبطة بنابض فتسبب له انضغاطاً

1- ما نوع الصدم الحاصل؟ ولماذا؟

2- احسب قيمة v إذا علمت أنّ سرعة الجملة بُعيد الصدم $v' = 0.4\ m.s^{-1}$.

3- احسب الطاقة الكامنة المرونيّة العظمى التي يختزنها النابض نتيجة اصطدام جملة الكتلتين فيه. واحسب مقدار انضغاط النابض الأعظم باعتبار ثابت صلابة النابض يساوي $k = 100\ N.m^{-1}$

4- احسب طول النابض لحظة الوقوف الآني للنابض بعد انضغاطه.

5- احسب العمل الذي تبذله جملة الكتلتين على النابض خلال انضغاطه السابق. ماذا تلاحظ؟

الحل:

1- الصدم تام الليونة، لأنّ الكتلتين التحمتا وشكلتا جسماً واحداً بُعيد الصدم، له سرعة واحدة.

2- حساب قيمة سرعة الجملة قُبيل الصدم v :

بحسب مصونيّة كميّة الحركة: (بُعيد الصدم) $P = P'$ (قبل الصدم)

$$m_1 v + 0 = (m_1 + m_2) v'$$

$$v = \frac{m_1 + m_2}{m_1} v' = \frac{0.4 + 0.6}{0.4} \times 0.4 = 1\ m.s^{-1}$$

3- حساب الطاقة الكامنة العظمى المختزنة:

الطاقة الحركية والنابض في وضع الاسترخاء ستتحوّل إلى طاقة كامنة مرونيّة أي: $E_p = E_k$

لكن: $E_k = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v'^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times (0.4)^2 = 0.08 \text{ J}$

إذاً: $\Rightarrow E_p = 0.08 \text{ J}$

قيمة انضغاط النابض:

$$E_p = \frac{1}{2} k x^2 \Rightarrow 0.08 = \frac{1}{2} \times 100 x^2 \Rightarrow x = -0.04 \text{ m}$$

4- حساب طول النابض:

$$\ell = \ell_0 + x \Rightarrow \ell = 25 - 4 = 21 \text{ cm}$$

5- حساب العمل الذي تبذله جملة الكتلتين:

$$W = \frac{1}{2} k (x_2^2 - x_1^2) = \frac{1}{2} \times 100 \times \left[(4)^2 - (0)^2\right] \times 10^{-4}$$

$$W = 8 \times 10^{-2} \text{ J}$$

نلاحظ أنّ: $E_P = W$ أي الطاقة الكامنة المرونية المختزنة في النابض تساوي العمل الذي تبذله جملة الكتلتين

ما يجب تذكّره

- القوى الخارجيّة تغيّر من شكل الجسم المرن (تسبب تشوّهاً) وعند زوال تأثير هذه القوّة يعود الجسم إلى حاله الأصليّ ما لم يتجاوز التشوّه حدّ المرونة.
- ثابت صلابة النابض k هو النسبة الثابتة التي تقيس تأثير قوّة الشدّ على الاستطالة التي تسبّبها هذه القوّة، وقيمة ثابت الصلابة تميّز النابض عن غيره من النوابض الأخرى.
- تتناسب استطالة النابض x طرداً مع شدّة القوّة F المؤثّرة في طرف النابض أي $F = k\,x$.
- قانون هوك $\overline{F} = k\,\overline{x}$ تابع خطّي.
- إنّ القوّة التي يؤثّر بها النابض على الجسم تسمّى قوّة توتّر النابض وتعطى بالعلاقة:

$$\overline{F_s} = -k\,\overline{x}$$

- عمل القوّة متغيّرة الشدّة التي تؤثّر في النابض:

$$\overline{W} = \frac{1}{2} k (x_2^2 - x_1^2)$$

- عمل قوّة توتّر النابض:

$$\overline{W} = -\frac{1}{2} k (x_2^2 - x_1^2)$$

- إنّ الطاقة الكامنة المرونيّة المختزنة في نابض:

$$E_p = \frac{1}{2} k\,x^2$$

أنشطة وتدريبات

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة وضع تحتها خطاً:

1- نابض مرن ثابت صلابته $k = 50\ N.m^{-1}$ يشد بقوة $F = 10\ N$ وفق محوره فيستطيل:

a) 2 cm　　b) 20 mm

c) 20 cm　　d) 0.2 cm

2- يضغط نابض مرن بمقدار $\Delta x = 8\ cm$ فيختزن طاقة كامنة مرونية $E_p = 4\ J$ إنّ قيمة ثابت صلابة هذا النابض تساوي:

a) $10\ N.m^{-1}$　　b) $1250\ N.m^{-1}$

c) $2\ N.m^{-1}$　　d) $1\ N.m^{-1}$

3- نابض مرن معلّق شاقولياً يحمل كتلة m_1 يضاف إليها كتلة m_2 ، فتصبح استطالته أربعة أمثال ما كانت عليها عندما تكون:

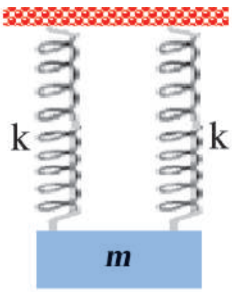
a) $m_2 = 3\ m_1$　　b) $m_2 = 5\ m_1$

c) $m_1 = 3\ m_2$　　d) $m_2 = 4\ m_1$

4- جملة النابضين المتماثلين الموضحة في الشكل تكافئ نابضاً ثابتاً صلابته :

a) $2\ k$　　b) $4\ k$

c) $\frac{1}{k}$　　d) $\frac{1}{2}k$



ثانياً: املأ الفراغات بالكلمات المناسبة:

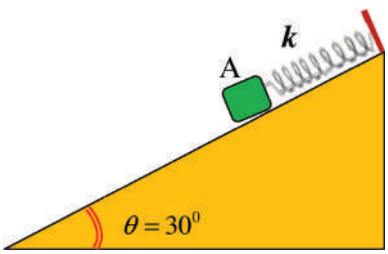
1- تزداد استطالة النابض بازدياد ....

2- تعطى الطاقة الكامنة المرونيّة المختزنة في نابض بالعلاقة...............

3- يعبّر عن قانون هوك في حالة نابض مرن بالعلاقة ....

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

1- يوضّح الشكل المجاور جسماً A كتلته $m = 100\ g$ مرتبطاً بنابض مرن ثابت صلابته $k = 10\ N.m^{-1}$ مثبت بأعلى المستوي، وباعتبار سطح المستوي المائل أملس، نأخذ $g = 10\ m.s^{-2}$ المطلوب حساب:

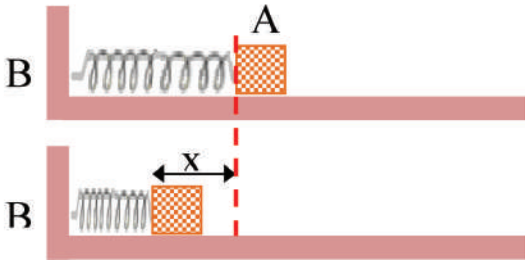


1) استطالة النابض.

2) الطاقة الكامنة المرونيّة المختزنة في النابض.

3) مقدار التغيّر في الطاقة الكامنة الثقالية للجسم A .

2- يوضّح الشكل المجاور جسماً A كتلته $m = 200\ g$ موضوع أمام حلقات نابض مرن ثابت صلابته $k = 50\ N.m^{-1}$ مثبّت في النقطة B نضغط على الجسم A وفق محور النابض بحيث يسبّب ذلك انضغاطاً في النابض مقداره $X = 2\ cm$ ونترك الجملة دون سرعة ابتدائيّة (باعتبار سطح المستوي الأفقي أملس) المطلوب:



1) حساب الطاقة الكامنة المرونيّة التي اختزنها النابض.

2) حساب السرعة الابتدائية التي ينطلق بها الجسم A لحظة عودة النابض لطوله الأصلي.

3) ما طبيعة حركة الجسم A على هذا المستوي بعد انفصاله عن النابض؟ ما المبدأ الذي اعتمدته في الإجابة؟

3- لقياس ثابت صلابة نابض مرن شدّ بقوّة $F = (5.0 \pm 0.1)\ N$ فاستطال بمقدار $X = (15.0 \pm 0.2)\ cm$ المطلوب حساب:

1) القيمة المتوسطة لثابت صلابة النابض.

2) الارتياب النسبي المرتكب (دقة القياس) في حساب ثابت صلابة النابض.

النشاط: تحديد ثابت صلابة النابض (ثابت هوك)

الهدف من النشاط:

1. إيجاد العلاقة بين القوة المؤثِّرة في نابض مرن، والاستطالة.
2. استنتاج قيمة ثابت هوك.

الموادّ والأدوات:

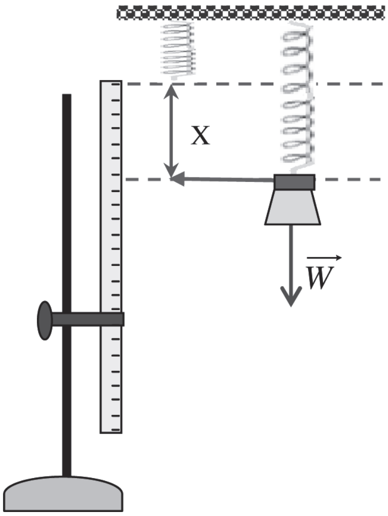
نابض مرن مُهمَل الكتلة– حامل – مسطرة – مؤشّر – حامل الأثقال المشقوقة – أثقال مناسبة.

المهارات المرجو اكتسابُها:

التوقّع، التعلّم التعاونيّ، القياس، تسجيل البيانات، استخدام الأرقام، تفسير النتائج.

الإجراءات:

1. ثبّتِ المسطرة، وعلّق النابض بالحامل، كما في الشكل المجاور.
2. علّق حامل الأثقال بالنابض، وثبّت المؤشّر بهما بحيث يتحرّك أمام المسطرة.



3. سجّل القراءة التي يشير إليها المؤشّر بعد أن يستقر.
4. ضع ثقلاً صغيراً كتلتُه $10\ g$ على حامل الأثقال وسجّل القراءة التي يشير إليها المؤشر بعد أن يستقرّ.
5. احسبِ القوة المؤثّرة في النابض $W = m\,g$ حيث إنّ الكتلة $m = m' + 10$ باعتبار m' كتلة حامل الأثقال.
6. زد الأثقال على الحامل بالتدريج، وسجل قراءة المؤشّر في كلّ مرّة، ثمّ احسب القوة المؤثرة في النابض.
7. سجّل النتائج التي حصلت عليها في الجدول التالي:

م	الكتلة المعلّقة m (kg)	القوة المؤثرة $F=W=mg$(N)	قراءة المؤشر	الاستطالة x(m)	النسبة $\frac{W}{x}$
1					
2					
3					

التحليل والاستنتاج:

1. ارسم بيانياً العلاقة بين الاستطالة على المحور الأفقيّ وقوّة الشدّ على النابض على المحور الشاقولي.
2. أوجد قيمة ثابت هوك للنابض من الرسم الذي حصلْتَ عليه.

الحركة الدائريّة المنتظمة

الأهداف التعليمية

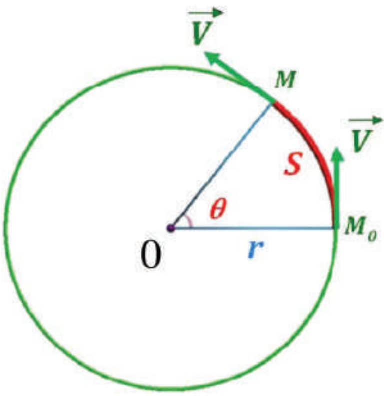
1. يتعرّف أنّ الحركـــة الدائرية حالة خاصّة من الحركة المنحنية.
2. يبيّن أنّ كل جسم حركته دائريّة منتظمة يخضع لتأثير محصّلة قوى جاذبة مركزية.
3. يحدّد خواص الحركة الدائريّة المنتظمة.
4. يصوغ قوانين الحركة الدائريّة المنتظمة.
5. يفسّر إمالة الطرق عند المنعطفات.
6. يبيّن أهميّة تطبيقات الحركة الدائريّة المنتظمة.

كثيراً ما نستخدم في حياتنا اليوميّة أجهزة كهربائيّة (كالمروحة الكهربائيّة وفرّامة اللحمة...) ما الصفة المشتركة لحركة نقاط الجزء الدائر في هذه الأجهزة؟ إنها حركة دائريّة. دراسة هذه الحركة من حيث مسبّباتها ونتائجها يسمح بفهم الكثير من الظواهر في الطبيعة.

عندما تتحرّك نقطة ماديّة في مستوٍ معين، بحيث يبقى بُعدها ثابتاً عن نقطة ساكنة في هذا المستوي تكون حركتها دائريّة. ولدراسة هذه الحركة سوف نعرض المفاهيم الآتية:

الفاصلة المنحنية ـ الفاصلة الزّاوية:

نختار مبدأ الفواصل M_0 على مسار دائري نصف قطره r فإذا تحركت نقطة ماديّة بسرعة خطّية ثابتة v خلال فاصل زمني Δt من M_0 إلى M فإنها تقطع قوساً دائرياً طوله s ندعوه الفاصلة المنحنية، يقابل هذا



الشكل 1 - 2 - 1

تمثّل s الفاصلة المنحنية بينما تمثّل θ الفاصلة الزاوية

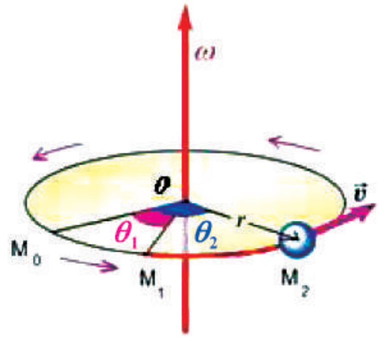
القوس زاوية مركزية θ ندعوها الفاصلة الزّاوية وتعطى بالعلاقة:

$$\theta = \frac{s}{r}$$

لاحظ أنّ وحدة θ هي راديان (rad) ووحدة كل من s و r هي المتر m.

وخلال فاصل زمني dt تقطع النقطة قوساً دائريّاً صغيراً طوله ds

وتكون السرعة الخطيّة: $v = \frac{ds}{dt}$



الشكل 2 - 2 - 1
تغير موضع النقطة المتحركة على دائرة

السرعة الزّاوية الوسطيّة والسرعة الزّاوية الآنيّة:

- نرسم دائرة مركزها o على ورقة، ونختار النقطة M_0 مبدأ لقياس الفاصلة المنحنية.
- نعدّ مبدأ الزمن اللحظة التي تكون فيها النقطة المتحرّكة في M_0.
- نحدّد على الدائرة مواضع وزوايا مختلفة في لحظات عدّة ونسجّل القيم كما في الجدول:

الزاوية	الموضع	الزمن
θ_1	M_1	t_1
θ_2	M_2	t_2

إنّ الزّاوية التي يمسحها نصف القطر $0M$ خلال الفاصل الزمني $\Delta t = t_2 - t_1$ هي: $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$، وتدعى تغيّر الفاصلة الزاويّة أو الإزاحة الزاوية

تعرّف السرعة الزّاوية الوسطيّة بأنّها معدّل تغيّر الفاصلة الزّاوية $\Delta\theta$ خلال فاصل زمني Δt، أي:

$$\omega_{avg} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$ وتقاس بوحدة: $rad.s^{-1}$

هل تعبّر السرعة الزّاوية الوسطية عن قيمة السرعة الزّاوية للنقطة في كلّ لحظة؟

لا، ليس بالضرورة، لأنّه في الحركة الدائريّة، بشكل عام، هذا غير محقّق؛ لأنّ السرعة الزّاوية يمكن أن تتغيّر من لحظة إلى أخرى، كما في حركة المثقب الكهربائي الذي له عدة سرعات زاوية.

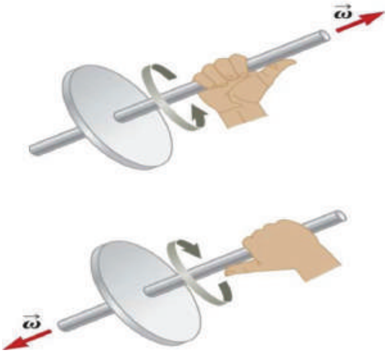
أمّا في الحركة الدائريّة المنتظمة فهذا محقق حيث $\omega = const$ أي ثابت.

لمعرفة قيمة السرعة الزّاوية في كل لحظة، نلجأ إلى مفهوم السرعة الزّاوية الآنيّة ω حيث تقترب السرعة الزّاوية الوسطيّة من السرعة الزّاوية الآنيّة كلّما صغُر الفاصل الزمني Δt أي إنّ السرعة الزّاوية الآنيّة:

$$\overline{\omega} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\overline{\theta}}{dt} = (\overline{\theta})'_t$$

أي أنّ السرعة الزّاوية الآنيّة هي مشتق تابع الفاصلة الزّاوية بالنسبة للزمن.

ملاحظة: نستخدم أحياناً مفهوم شعاع الدوران $\vec{\omega}$، وهو شعاع ينطبق على محور دوران الجسم، وطويلته تساوي السرعة الزّاوية، وجهته تتحدّد بقاعدة اليد اليمنى، كما في الشكل (1 - 2 - 3).



الشكل 1 - 2 - 3

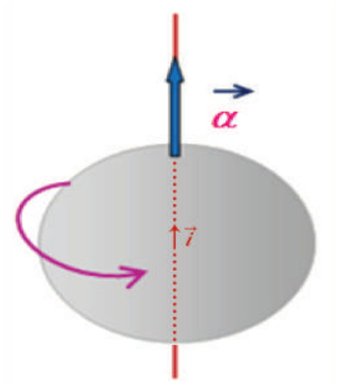
جهة شعاع الدوران

التسارع الزّاوي الوسطي:

يعرّف التسارع الزّاوي الوسطي بأنّه معدّل تغيّر السرعة الزّاوية خلال فاصل زمني Δt.

يدور جسم صلب حول محور ثابت Δ، إذا كانت سرعته الزّاوية ω_1 في اللحظة t_1 وأصبحت سرعته الزّاوية ω_2 في اللحظة t_2 نعرّف التسارع الزّاوي الوسطي α_{avg} بالعلاقة:

$$\overline{\alpha}_{avg} = \frac{\overline{\omega}_2 - \overline{\omega}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\overline{\omega}}{\Delta t}$$



الشكل 1 - 2 - 4

شعاع التسارع الزاوي

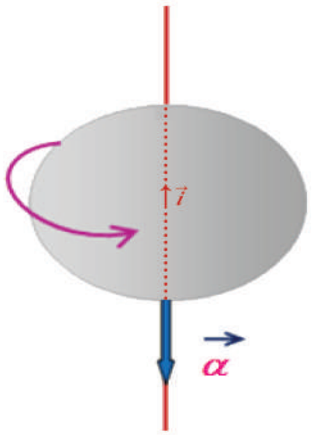
(حركة متسارعة)

عند دوران المروحة السقفيّة من السكون فإنّ سرعتها الزّاوية تزداد خلال فاصل زمني لتبلغ سرعة زاويّة محدّدة. إنّ معدّل تغيّر سرعتها الزّاوية خلال هذا الفاصل الزمني يدعى بالتسارع الزّاوي الوسطي.

التسارع الزّاوي الآني:

لمعرفة قيمة التسارع الزاويّ في كل لحظة، نلجأ إلى مفهوم التسارع الزاويّ الآني، فعندما يسعى الفاصل الزمني Δt نحو الصفر يؤول التسارع الزّاوي الوسطي إلى التسارع الزّاوي الآني α :

$$\overline{\alpha} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\overline{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\overline{\omega}}{dt} = (\overline{\omega})'_t = (\overline{\theta})''_t$$



الشكل 1 - 2 - 4

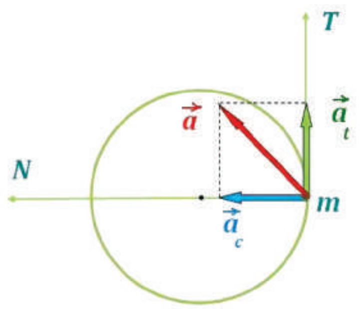
شعاع التسارع الزاوي

(حركة متباطئة)

أي أنّ التسارع الزّاوي الآني α هو المشتق الأول لتابع السرعة الزاويّة الآنيّة ω بالنسبة للزمن، وهو المشتق الثاني لتابع الفاصلة الزاويّة θ بالنسبة للزمن.

التسارع في الحركة الدائريّة:

مركبتا شعاع التسارع الآني



الشكل 5 - 2 - 1

شعاع التسارع المماسي $\vec{a}_t$

و شعاع التسارع الناظمي $\vec{a}_c$

لتكن m نقطة مادية متحركة بحركة دائريّة، وليكن $\vec{a}$ شعاع تسارعها.
يمكن تحليل هذا الشعاع إلى مركبتين إحداهما $\vec{a}_t$ تمسّ المسار بنقطة والأخرى $\vec{a}_c$ ناظمية على المماس للمسار، أي:

$$\vec{a} = \vec{a}_c + \vec{a}_t$$

1- التسارع المماسي $\vec{a}_t$:

نـدعو مـركبة شـعاع التسـارع على الممـاس بشـعاع التسارع المماسي $\vec{a}_t$ ، وهو يعبّر عن تغيّر القيمة الجبرية لشعاع السرعة الخطّية بتغيّر الزمن.

$$\overline{a}_t = \frac{d\overline{v}}{dt} = (\overline{v})'_t = (\overline{s})''_t$$

فالتسارع المماسي هو المشتق الأول لتابع السرعة الخطية بالنسبة للزمن، وهو المشتق الثاني لتابع الفاصلة المنحنية بالنسبة للزمن.

2- التسارع الناظمي $\vec{a}_c$:

ندعو مركبة شعاع التسارع على الناظم بشعاع التسارع الناظمي $\vec{a}_c$ الذي يعبّر عن تغيّر حامل شعاع السرعة بتغيّر الزمن. ويعطى بالعلاقة:

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

حيث r نصف قطر انحناء المسار.

تعريف الحركة الدائريّة المنتظمة:

حركة مسـارها دائـريّ، يحافـظ شـعاع سرعتها $\vec{v}$ على شدّة ثابتة (طويلة ثابتة).

أو يقطع فيها المتحرّك على محيط الدائرة أقواساً متساوية في أزمنة متساوية.

توابع الحركة الدائريّة المنتظمة:

إنّ التـابع الزمنيّ لكـل مـن الفاصلة المنحنية s ، والفاصلة الزّاوية θ في الحركة الدائريّة المنتظمة تابعٌ من الدرجة الأولى بالنسبة للزمن.

$$\overline{S} = \overline{v}t + \overline{S}_0$$
$$\overline{\theta} = \overline{\omega}t + \overline{\theta}_0$$

الدور والتواتر:

الدور T: هو الزمن اللازم ليتمّ المتحرّك دورة كاملة. رمزه T وحدته في الجملة الدوليّة هي الثانية s .

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi r}{\omega r} \quad \Rightarrow \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

التواتر f: هو عدد الدورات التي ينجزها المتحرّك في وحدة الزمن.

رمزه f وحدته في الجملة الدوليّة الهرتز **Hz** أو (دورة. ثانية$^{-1}$)

1 دورة يلزمها زمن قدره T ثانية
f دورة يلزمها زمن قدره 1 ثانية

مما سبق نجد أن التواتر f يرتبط بالدور T بالعلاقة:

$$f = \frac{1}{T} \quad \Rightarrow \quad T = \frac{1}{f}$$

التسارع في الحركة الدائريّة المنتظمة

في الحركة الدائريّة المنتظمة السرعة الخطّية ثابتة، لذلك نكتب:

$$v = const$$

$$\Rightarrow \overline{a}_t = \frac{d\overline{v}}{dt} = 0$$

$$\Rightarrow a = a_c = \frac{v^2}{r}$$

نتيجة:

يوصف التسارع في الحركة الدائرية المنتظمة بأنه تسارع جاذب مركزي.

الربط بين القيم الخطيّة والقيم الزاويّة

لدينا العلاقة:

$$(1) \; ..... \; \overline{s} = r\,\overline{\theta}$$

1- العـلاقة بين السرعة الخطية والسرعة الزاوية:

باشتقاق طرفي العلاقة (1) بـالنسـبة لـلـزمـن، حيـث نجد: $r = const$

$$(\overline{s})'_t = r\,(\overline{\theta})'_t \Rightarrow$$
$$\overline{v} = r\,\overline{\omega}$$

2- العلاقة بين التسارع والسرعة الزاويّة:

باشتقاق العلاقة (1) مرتين بالنسبة للزمن نحصل على عـلاقة للتسارع المماسي بالسرع الزاويّة:

$$(\overline{s})''_t = r\,(\overline{\theta})''_t \Rightarrow$$
$$(\overline{v})'_t = r\,(\overline{\omega})'_t \Rightarrow$$
$$\overline{a}_t = r\,\overline{\alpha}$$

بينما نحصل على علاقة التسارع الناظمي بالسرعة الزاويّة من خلال:

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

$$v = \omega r \Rightarrow a_c = \frac{\omega^2 r^2}{r} \Rightarrow$$

$$a_c = \omega^2 r$$

مثال محلول (1):

تدور نقطة مادية بحركة دائرّية منتظمة بتواتر $\frac{5}{\pi}$ Hz والمطلوب حساب:

1- نصف قطر الدائرة التي ترسمها النقطة الماديّة إذا كانت سرعتها الخطّية $2\ m.s^{-1}$.

2- المسافة المقطوعة خلال 5 دورات.

3- الزاوية الممسوحة خلال 0.2 s.

4- التسارع الناظمي.

الحل:

1- حساب نصف قطر الدائرة:

$$f = \frac{5}{\pi}\ Hz \qquad , \qquad v = 2\ m.s^{-1}$$

$$v = \omega r$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi\left(\frac{5}{\pi}\right) = 10\ rad.s^{-1}$$

$$r = \frac{v}{\omega} = \frac{2}{10} = 0.2\ m$$

2- حساب المسافة المقطوعة:

$$\Delta s = ?$$

$$\overline{\Delta s} = \overline{v}\,t$$

لكن: $t = 5T = 5\times\frac{1}{f} = 5\times\frac{\pi}{5} = \pi\ s$

$$\overline{\Delta s} = 2\times\pi = 2\pi\ m$$

3- حساب الزّاوية:

$$\theta = \omega\, t = 10\times 0.2 = 2\ rad$$

4- حساب التسارع الناظمي:

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = 100\times 0.2 = 20\ m.s^{-2}$$

الدراسة التحريكية:

القوّة الجاذبة المركزيّة

- نثبّت ســـاقاً أفقيّة على محـــور محرّك شـاقولي، كما في الشكل (6 - 2 - 1 - أ).
- ندخل كتلة معدنيّة مثقوبة بالساق الأفقيّة الملساء، كما في الشكل (6 - 2 - 1 - ب).
- لنحدد القوى الخارجيّة المؤثّرة في مركز عطالة الكتلة.

إنّها:

قوة ثقل الكتلة $\vec{W}$ وهي شاقوليّة نحو الأسفل، وقوّة رد فعل الساق الناظمي $\vec{R}$. ما محصلة القوى الخارجيّة المؤثرة في الكتلة؟

تكون محصلة القوى معدومة، لأنّ الكتلة ساكنة:

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{R} = \vec{0}$$

- ندير الجملة بسرعة زاوية ثابتة، فنلاحظ أنّ الكتلة تنزلق على طول الساق مبتعدة باستمرار عن محور الدوران.
- ماذا نستنتج من ذلك؟

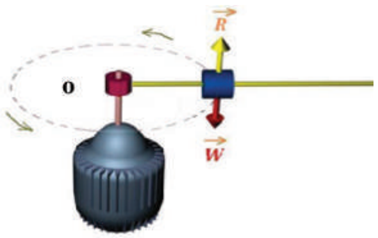
لا يمكن لمركز عطالة الكتلة أن يرسم مساراً دائريّاً لعدم وجود قوّة تشدّه نحو محور الدوران وتمنعه من استمرار الانزلاق.

- نربط الكتلة بنابض يثبّت طرفه الآخر بنقطة o واقعة على محور الدوران، كما في الشكل (6 - 2 - 1 - جـ). ندير الجملة بسرعة زاوية ثابتة صغيرة بحيث لا يفقد النابض حدّ مرونته. ماذا يلاحظ مراقب خارجيّ؟
- يستطيل النابض بمقدار معيّن، ويثبت طوله عندما يرسم مركز عطالة الكتلة مساراً دائريّاً.

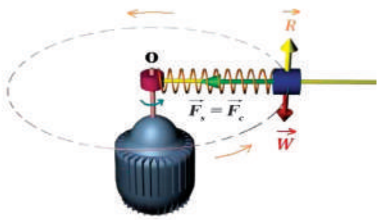
من أجل سرعة زاوية ثابتة وكتلة معيّنة تكون استطالة النابض ثابتة وتتناسب مع قوّة شدّ النابض للكتلة نحو محور الدوران مما يمنعها من الانفلات.

نلاحظ أنّ محصّلة القوى الخارجيّة المؤثّرة هي قوّة تتّجه إلى مركز المسار الدائري، لذلك نسمّيها القوّة الجاذبة المركزيّة.

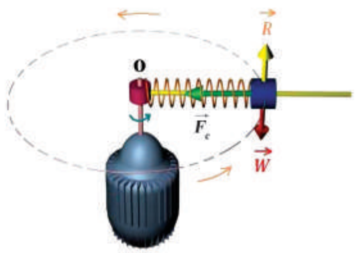
الشكل 6 - 2 - 1
أ- محرك مع ساق معدنية أفقية



الشكل 6 - 2 - 1
ب- محرك مع ساق معدنية أفقية وكتلة منزلقة



الشكل 6 - 2 - 1
جـ- محرك مع ساق معدنية أفقية وساق وكتلة معلقة بنابض يديرها المحرك بحركة دائرية منتظمة



الشكل 6 - 2 - 1
د- القوة الجاذبة المركزية

نتيجة:

تتولّد في النابض قوّة توتّر $\vec{F}_s$ تمثّل القوّة الجاذبة المركزيّة $\vec{F}_c$ التي تجعل مسار مركز عطالة الكتلة دائريّاً.

لنطبق القانون الأساسيّ في التحريك على الكتلة المتحرّكة:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{W} + \vec{R} + \vec{F_s} = m\vec{a} \quad \text{...........} (1)$$

بالإسقاط على محور منطبق على $\vec{F_s}$ وبجهتها نجد:

$$0 + 0 + F_s = m\,a_c$$

لكن: $F_s = F_c$

$$\Rightarrow F_c = m\frac{v^2}{r} = m\,\omega^2 r$$

عناصر القوّة الجاذبة المركزيّة هي:

- **الحامل:** منطبق على نصف قطر المسار الدائري.
- **الجهة:** نحو مركز المسار الدائري دوماً.
- **الشدة:** ثابتة $F_c = m\,a_c = m\frac{v^2}{r}$

ما العلاقة بين $\vec{R}$ و $\vec{W}$ ؟

بإسقاط طرفي العلاقة (1) على محور شاقولي عمودي على الساق ومارّ من مركز عطالة الكتلة:

$$\overline{W} + \overline{R} = 0$$

$$\Rightarrow \overline{W} = -\overline{R}$$

نتيجة:

لكي يرسم مركز عطالة جسم مساراً دائريّاً بحركة منتظمة بالنسبة لمراقب خارجي لا بدّ من وجود قوّة جاذبة مركزيّة لها شدّة ثابتة تتناسب طرداً مع كتلة الجسم.

مفهوم قوّة العطالة النابذة:

في الشكل المرسوم جانباً:

- كيف يفسّر مراقب داخلي (مرتبط بالكتلة) توازن هذه الكتلة على بعد ثابت من محور الدوران في التجربة السابقة ؟

المراقب الداخلي (دالامبير):

هو مراقب مرتبط بالجملة المتحركة يرى مركز عطالة هذه الجملة ساكناً لأنّه يتحرك معها بالسرعة نفسها والتسارع نفسه (نظرته سكونيه).

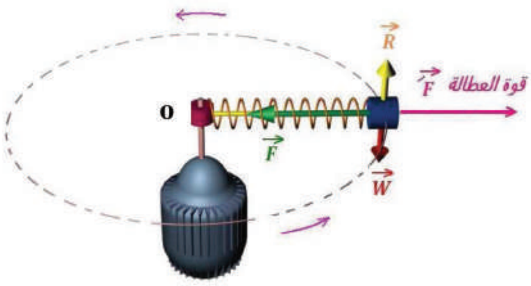
المراقب الخارجي (نيوتن):

هو مراقب ساكن والجملة متحركة بالنسبة له (نظرته حركيه).

- بالنسبة لهذا المراقب تكون الكتلة ساكنة، ومن ثمّ محصلة القوى المؤثّرة معدومة، ولمّا كانت قوة توتّر النابض تؤثّر في مركز عطالة الكتلة فلا بدّ من وجود قوّة معاكسة لهذه القوّة وتساويها بالشدّة. نسمّي هذه القوّة بقوّة العطالة النابذة $\vec{F'}$:

$$\vec{F_c} + \vec{F'} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad \vec{F'} = -\vec{F_c}$$

$$\Rightarrow \quad \vec{F'} = -m\,\vec{a_c}$$



الشكل 7 - 2 - 1
قوة العطالة النابذة

حدّد عناصر قوّة العطالة النابذة.

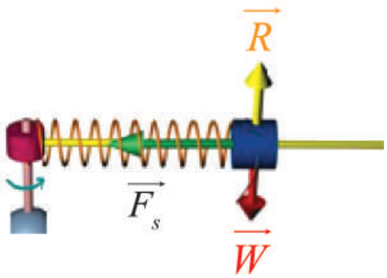
- **الحامل:** منطبق على نصف قطر المسار الدائري.
- **الجهة:** بعكس جهة $\vec{a_c}$ دوماً.
- **الشدّة:** $F' = m\,a_c = m\,\dfrac{v^2}{r} = m\,\omega^2\,r$

هل تعلم:
إنّ قوة العطالة تدوم بدوام التسارع، وتزول بزواله.

مثال محلول (2):

يعلّق جسمٌ كتلته $50\ g$ بنابض مرن أفقي مهمل الكتلة، حلقاته متباعدة، طوله الأصليّ $48\ cm$ كما في الشكل المجاور.
ندير الساق الأفقية حول المحور الشاقولي بسرعة زاوية تقابل تواتراً قدره $2\ Hz$، فإذا علمت أنّ قيمة ثابت صلابة النابض تساوي $200\ N.m^{-1}$ وأنّ $g = 10\ m.s^{-2}$ المطلوب:

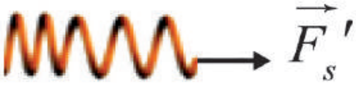
1- استنتج بالرموز العلاقة المحدّدة لاستطالة النابض أثناء الدوران السابق، ثمّ احسب قيمتها.
2- احسب قوّة شدّ النابض للكتلة أثناء الدوران السابق.
3- احسب القوّة الناظمية التي تؤثّر بها الساق على الكتلة (رد الفعل).
4- احسب شدة القوّة الجاذبة المركزيّة.



الشكل 8 - 2 - 1
(أثناء الدوران)

الحل:

تؤثّر في مركز عطالة الكتلة القوى الخارجيّة الآتية: $\vec{W}$ قوّة الثقل، $\vec{R}$ قوّة رد الفعل الناظمي للساق، $\vec{F_s}$ قوّة توتّر النابض.



وفي النابض:

تؤثّر القوّة $F_s' = k\,x$ التي تسبب الاستطالة x

1- استنتاج استطالة النابض:

$$\sum \overrightarrow{F} = m\,\overrightarrow{a_c}$$

$$\Rightarrow \overrightarrow{W} + \overrightarrow{R} + \overrightarrow{F_s} = m\,\overrightarrow{a_c}$$

بالإسقاط على محور أفقي منطبق على الساق الأفقية ومار من مركز عطالة الجسم يتجه نحو مركز الدوران:

$$0 + 0 + F_s = m\,a_c$$

$$\Rightarrow F_s = m\,a_c \Rightarrow F_s = m\,\omega^2\,r$$

لكن: $r = \ell_0 + x$

$$F_s = m\,\omega^2\,(\ell_0 + x)$$

لكن بما أنّ النابض مهمل الكتلة: $F_s = F_s' = k\,x$

$$\Rightarrow \quad k\,x = m\,\omega^2\ell_0 + m\,\omega^2\,x$$

بالإصلاح نجد: $x = \dfrac{m\,\omega^2\,\ell_0}{k - m\,\omega^2} = \dfrac{m\,(2\,\pi f)^2\,\ell_0}{k - m\,(2\,\pi f)^2}$

وهي العلاقة المحدّدة لاستطالة النابض أثناء الدوران. بالتعويض وعلى اعتبار $\pi^2 = 10$ نجد:

$$x = \frac{50\times10^{-3}\times(2\pi\times2)^2\times48\times10^{-2}}{200 - 50\times10^{-3}\times(2\pi\times2)^2} = 2\times10^{-2}\ \text{m}$$

2- حساب قوة شد النابض:

$$F_s = F_s' = k\,x = 200\times2\times10^{-2} = 4\ \text{N}$$

3- إنّ القوّة التي تؤثّر بها الساق على الكتلة هي قوّة رد الفعل وتساوي قوّة ثقل الكتلة؛ لأنّ الساق أفقيّة:

$$R = W = m\,g = 50\times10^{-3}\times10 = 0.5\ \text{N}$$

4- القوّة الجاذبة المركزيّة تمثّل قوّة شدّ النابض:

$$F_c = F_s = 4\ \text{N}$$

الفيزياء في حياتنا:

من الأمثلة على وجود قوّة العطالة النابذة:

- التصاق الملابس بجدار حوض الغسّالة الآليّة أثناء دورانه.
- رامي مطرقة يدور بسرعة زاوية ثابتة، ويشعر أنّ المطرقة ثابتة بالنسبة له، ويبذل جهداً بشدّ سلك المطرقة ليمنعها من الانفلات بتأثير قوّة العطالة النابذة.

الشكل 9 - 2 - 1
يشعر رامي المطرقة بتأثير قوة العطالة النابذة

المثقّلة

جهاز دوّار يستخدم لفصل الدقائق العالقة داخل سائل ما يراد تحليل مكوناته!

يدوّر السائل بسرعة زاوية كبيرة بحيث تصبح قوّة العطالة النابذة المؤثّرة في الدقائق العالقة أكبر منها في دقائق السائل، نتيجة لارتفاع كثافة الدقائق العالقة بالنسبة إلى دقائق السائل، فلا يستطيع السائل شدّ الدقائق العالقة إلى موقعها، فتبتعد عن مركز الدوران بفعل استمرار الحركة باتجاه سطح الأسطوانة، فتنفصل عن السائل مجتمعة في قعر الأنبوب.

إمالة الطرق عند المنعطفات

- هل شاهدت فيلماً عن سباق الدراجات الناريّة؟ ماذا يفعل سائق الدراجة عند اجتياز المنعطف؟

الشكل 10 - 2 - 1
يميل سائق الدراجة عند اجتيازه المنعطف

يميل راكب الدراجة عند المنعطف بزاوية عن الأفق تتعلّق بسرعته لكي يجتاز المنعطف بسلام (لا يجنح).

هل يمكن لمركبة (سيارة) تتحرّك بسرعة ثابتة على منعطف دائري أملس أن تجتازه بسلام؟

لتحقيق ذلك يجب أن تكون محصّلة القوى المؤثّرة في مركز عطالة المركبة قوّة جاذبة مركزيّة أفقية.

يخضع مركز عطالة المركبة إلى تأثير $\vec{R}$ قوّة ردّ الفعل الناظمي للطريق على العجلات.

$\vec{W}$ قوّة ثقل المركبة، شاقولية تتجه نحو الأسفل.

الحالة الأولى: الطريق أفقيّة: محصّلة هاتين القوتين معدومة؛ لأنّهما متعاكستان مباشرة.

$$\sum \vec{F} = \vec{W} + \vec{R} = \vec{0}$$

الحالة الثانية: الطريق مائلة عن الأفق بزاوية θ :

ننشئ رسماً لمركز عطالة مركبة على منعطف دائري يميل عن الأفق بزاوية θ ونحدّد عليه القوى الخارجيّة المؤثّرة بإهمال قوى الاحتكاك.

من الشكل $\vec{R}$، $\vec{W}$ ليستا على استقامة واحدة، تحليل $\vec{R}$ إلى مركبة شاقولية $\vec{R_v}$ تعاكس $\vec{W}$، وهكذا نجد أنّ المحصلة تساوي $\vec{F_c} = \vec{R_H}$.

إذاً محصّلتهما قوّة جاذبة مركزيّة أفقية ثابتة الشدّة تُكسب مركز عطالة المركبة تسارعاً ناظمياً $\vec{a_c}$ وتمنع المركبة من الانزلاق الجانبي، لذلك تدور بسلام.

$$\sum \vec{F} = \vec{R} + \vec{W} = m\vec{a_c}$$

- نحدّد على الشكل علاقة ميل الطريق عند المنعطف:

$$\tan\theta = \frac{R_H}{R_V} = \frac{F_c}{W} = \frac{ma_c}{mg}$$

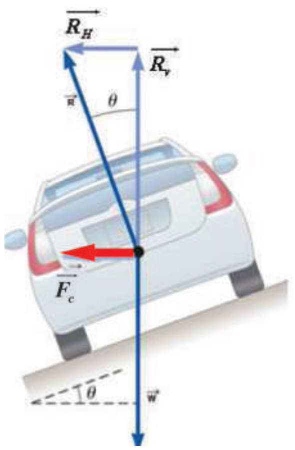
$$\Rightarrow \tan\theta = \frac{v^2}{r\,g}$$

حيث r تمثّل نصف قطر المسار الدائري عند المنعطف.

ناقش هذه العلاقة:

- توضع قبل المنعطفات شاخصات مروريّة تحدّد قيمة السرعة المناسبة لاجتياز المنعطف بسلام وذلك لأنّ هذه السرعة تتعلّق بنصف قطر المنعطف وميله.
- لا علاقة لميل الطريق عند المنعطف بكتلة المركبة.

الشكل 11 - 2 - 1
أ- سيارة تسير على الطريق



الشكل 11 - 2 - 1
ب- سيارة تسير على طريق مائلة محصلة القوى $\vec{F}$ أفقية

ما يجب تذكره

- الفاصلة المنحنية $s = \theta r$ وهي طول القوس $\overset{\frown}{M_0 M}$ في اللحظة t على مسار دائري باعتبار M_0 مبدأ للفواصل.
- السرعة الزّاوية الوسطية $\overline{\omega}_{avg} = \frac{\Delta \overline{\theta}}{\Delta t}$ والسرعة الزّاوية الآنيّة
$$\overline{\omega} = \frac{\overline{v}}{r} = \frac{d\,\overline{\theta}}{d\,t} = (\overline{\theta})'_t$$
- التسارع الزّاوي الوسطي $\overline{\alpha}_{avg} = \frac{\Delta \overline{\omega}}{\Delta t}$
والتسارع الزّاوي الآني $\overline{\alpha} = \frac{d\,\overline{\omega}}{d\,t} = (\overline{\omega})'_t$
- يعطى شعاع التسارع بالعلاقة: $\vec{a} = \vec{a}_c + \vec{a}_t$
حيث:
$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$
$$\overline{a}_t = r\,\overline{\alpha}$$
- التسارع في الحركة الدائريّة المنتظمة هو تسارع ناظمي فقط $a = a_c$
- توابع الحركة الدائريّة المنتظمة:
$$v = const$$
$$\overline{s} = \overline{v}t + \overline{s}_0$$
$$\overline{\theta} = \overline{\omega}t + \overline{\theta}_0$$

- الدور هو الزمن اللازم لدورة كاملة $T = \frac{2\pi}{\omega}$
- التواتر هو عدد الدورات في وحدة الزمن وهو مقلوب الدور $f = \frac{1}{T}$
- كلّ نقطة ماديّة حركتها دائريّة منتظمة تخضع لمحصّلة قوى خارجيّة هي قوّة جاذبة مركزية ثابتة الشدّة تُكسبها تسارعاً ناظمياً حامله نصف قطر المسار وجهته جهة القوّة الجاذبة المركزيّة.
- يتوازن الجسم الدائر بالنسبة لمراقب مرتبط بالجسم (مراقب داخلي) تحت تأثير قوّة العطالة النابذة التي تساوي وتعاكس بجهتها القوّة الجاذبة المركزيّة.
- تُمال الطرق عند المنعطفات لتكون محصّلة القوى الخارجيّة المؤثّرة في المركبة عند اجتياز هذا المنعطف هي قوّة جاذبة مركزيّة تمنع المركبة من الانزلاق الجانبي (أي تمنعها من أن تجنح).

أنشطة وتدريبات

أولاً: اكتب المصطلح العلميّ الذي تدلّ عليه كل من العبارات الآتية:

1- زاوية مركزية طول قوسها يساوي نصف قطر الدائرة .

2- عدد الدورات التي ينجزها متحرّك خلال وحدة الزمن .

3- حركة مركز عطالة جسم على محيط دائرة تقطع أقواساً متساوية خلال أزمنة متساوية.

4- قيمة الزّاوية التي يمسحها نصف قطر الدائرة خلال وحدة الزمن .

5- طول القوس الذي يقطعه مركز عطالة جسم على محيط الدائرة خلال وحدة الزمن .

6- الزمن اللازم لينجز المتحرّك دورة كاملة .

7- محصّلة القوى في الحركة الدائريّة المنتظمة.

ثانياً: ضع الكلمات المناسبة في الفراغ لتكمل العبارات العلميّة الآتية:

1- يقطع متحرك في حركة دائرية .... أقواس............ في ....

2- شعاع السرعة الخطّية في حركة دائريّة منتظمة متغير ...... متغيّر....... ثابت.........

3- ينتج شعاع التسارع الناظميّ من تغيّر............... بتغيّر ....

4- ينتج شعاع التسارع المماسيّ من تغيّر .... بتغيّر ....

5- القوّة الجاذبة المركزيّة متغيّرة .... متغيّرة .... ثابتة ....

6- كل نقطة ماديّة حركتها دائريّة .... تخضع لمحصلة قوى ....

7- يتجه شعاع التسارع الناظميّ في حركة دائريّة منتظمة دوماً ....

8- في حركة دائريّة منتظمة يتعامد شعاع .... مع شعاع ....

9- عندما تدور مركبة على منعطف دائري لا تنزلق جانبياً بسبب وجود قوّة ....

10- عنفة مولّدة لتيار متناوب تواتره 50 Hz فإنها تدور في 2 s .... دورة.

11- إنّ القيم الآنيّة للمقادير الفيزيائيّة تعطي .... أكثر .... من القيم الوسطى.

ثالثاً: ضع إشارة ✓ أمام العبارة الصحيحة وإشارة × أمام العبارة الخاطئة، ثمّ صحّحها في كلّ ممّا يأتي:

1- تعطى عبارة السرعة الخطية في الحركة الدائريّة المنتظمة بحاصل قسمة الزّاوية الممسوحة على الزمن اللازم لمسحها.

2- تعطى عبارة التسارع الناظمي في الحركة الدائريّة المنتظمة بحاصل قسمة مربّع السرعة الخطّية على الزمن.

3- السرعة الزّاوية في الحركة دائريّة منتظمة هي حاصل قسمة تغيّر الإزاحة الزّاوية على تغيّر الزمن.

4- عندما تدور عنفة مولّدة تيار كهربائي فإنّ سرعتها الزّاوية تعتمد على تسارعها المماسي.
5- تزداد السرعة الزّاوية لنقطة ماديّة حركتها دائريّة منتظمة بزيادة دور حركتها.
6- الراديان وحده قياس السرعة الزّاوية و $rad.s^{-1}$ وحدة قياس السرعة الخطّية.
7- عندما يسير راكب دراجة حول مسار دائري فانّه يميل بدراجته نحو المركز.
8- كلّما ازداد تواتر الحركة ازدادت السرعة الزّاوية.

رابعاً: ضع علامة ✓ لأنسب إجابة لتكمل بها كلاً من العبارات الآتية:

1- قوّة الجذب المركزيّة من أجل كتلة m ثابتة على مسار دائري منتظم تتناسب:

a) طرداً مع السرعة الخطّية. b) عكساً مع السرعة الخطّية.

c) طرداً مع مربع السرعة الخطّية. d) عكساً مع مربع السرعة الخطّية.

2- نثبّت كرة كتلتها **500 g** بنهاية خيط معدني متين مهمل الكتلة طوله **0.5 m** ويدور بصورة منتظمة في مستوٍ أفقي محدثاً 25 دورة خلال 5 ثوانٍ، فتكون قوّة الجذب المركزيّة المؤثّرة في مركز عطالة الكرة مقدرة بوحدة الكيلوغرام ثقلي باعتبار $g = 10\ m.s^{-2}\ ,\ \pi^2 \approx 10$:

a) **25** b) **0.25**

c) **12.5** d) **3.125**

3- نثبّت كرة في نهاية خيط طوله **40 cm** ندير الخيط في مستوٍ أفقي ليرسم مساراً دائريّاً بحركة منتظمة دورها $0.2\ s$ فيكون تسارعها الناظمي في الجملة الدوليّة باعتبار $(\pi^2 \approx 10)$:

a) 400 b) 40π

c) 200 d) 20π

4- يدور جسم بحركة دائريّة منتظمة نصف قطر مسارها **1 m** تواتر حركته **0.5 Hz** فإن سرعته الخطّية في الجملة الدوليّة هي:

a) $\frac{\pi}{2}$ b) π

c) 2π d) 10π

5- تدور عنفة مولّدة تيار كهربائي بسرعة زاوية $60\pi\ rad.s^{-1}$ فيكون تواترها بالهرتز:

a) 20 b) 30

c) 60 d) $\frac{1}{30}$

6- إن جهة قوّة العطالة النابذة دوماً:

a) من جهة شعاع السرعة.
b) عكس جهة شعاع السرعة.
c) من جهة شعاع التسارع الناظمي.
d) عكس جهة شعاع التسارع الناظمي.

7- إنّ التسارع الناظمي في الحركة الدائريّة المنتظمة:

a) يتناسب طرداً مع السرعة.
b) يتناسب طرداً مع السرعة الزّاوية.
c) يتناسب عكساً مع السرعة الزّاوية.
d) يتناسب طرداً مع مربع السرعة الزّاوية.

8- إنّ قوّة الجذب المركزيّة في حركة دائريّة منتظمة:

a) متغيّرة بكل عناصرها.
b) ثابتة بكل عناصرها.
c) ثابتة الجهة فقط.
d) ثابتة الشدّة فقط.

9- إنّ شعاع السرعة الخطّية في الحركة الدائريّة المنتظمة:

a) ثابت بالحامل.
b) ثابت بالجهة.
c) ثابت بالشدّة.
d) ثابت بكل عناصره.

10- إنّ التسارع الجاذب المركزي (الناظمي) يعبّر عن تغيّر:

a) القيمة الجبرية لشعاع السرعة بتغيّر الزمن.
b) حامل شعاع السرعة بتغيّر الزمن.
c) شعاع السرعة بتغيّر الزمن.
d) شدّة وجهة شعاع السرعة بتغيّر الزمن.

11- إنّ التسارع المماسي يعبّر عن تغيّر:

a) القيمة الجبرية لشعاع السرعة بتغيّر الزمن.
b) حامل شعاع السرعة بتغيّر الزمن.
c) شعاع السرعة بتغيّر الزمن.
d) شدّة وجهة شعاع السرعة بتغيّر الزمن.

12- إنّ قوّة الجذب المركزيّة ثابتة الشدّة في:

a) الحركة الدائريّة المتغيّرة.
b) الحركة الدائريّة المنتظمة.
c) الحركة المستقيمة المنتظمة.
d) الحركة المستقيمة المتغيّرة.

13- في الحركة الدائريّة المنتظمة يكون:

a) $\vec{v}\,.\,\vec{a} \rangle 0$ b) $\vec{v}\,.\,\vec{a} \langle 0$

c) $\vec{v}\,.\,\vec{a} = 0$ d) $\vec{v} = c\,.\vec{a}$ حيث c ثابت

14- نقطة ماديّة حركتها دائريّة منتظمة تنجز 14 دورة خلال $2\,s$ يكون دور حركتها T مساوياً:

a) 12 s b) 16 s

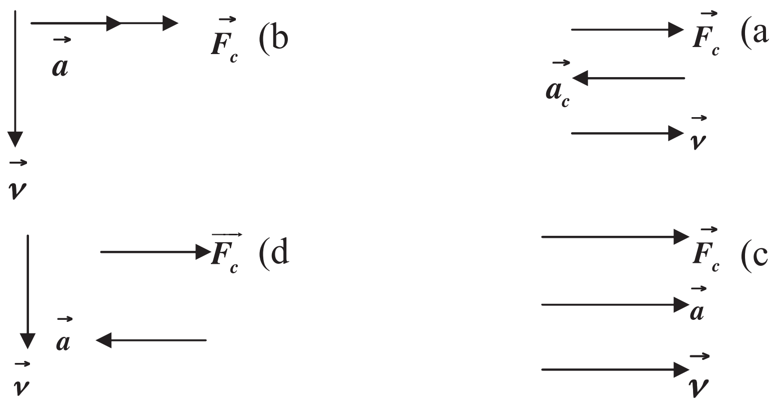
c) $\frac{1}{7}\,s$ c) 7 s

15- جسم حركته دائريّة منتظمة يخضع إلى قوّة جذب مركزي F_{c1} ، فإذا جعلنا نصف قطر مساره مثلي ما كان عليه. تبقى سرعة الجسم نفسها حين تكون قوّة الجذب المركزي F_{c2} مساوية:

a) $F_{c_1} = \frac{1}{2} F_{c_2}$ b) $F_{c_2} = F_{c_1}$

c) $F_{c_1} = 2\ F_{c_2}$ d) $F_{c_2} = 4\ F_{c_1}$

16- أحد المخططات التالية يمثل العلاقة بين جهة كلّ من أشعّة: السرعة الخطّية والتسارع الجاذب المركزي والقوّة الجاذبة المركزيّة لجسم يتحرّك حركة دائريّة منتظمة:



خامساً: أعطِ تعليلاً علمياً لما يأتي:

1- في الحركة الدائريّة المنتظمة، السرعة ثابتة القيمة، إلاّ أنّ التسارع غير معدوم.

2- شعاع التسارع في الحركة الدائريّة المنتظمة يتجه دوماً نحو مركز الدائرة.

3- عندما يدور راكب دراجة حول مسار دائري فإنّه يميل بدراجته نحو مركز المسار.

4- انعدام محصّلة القوى الخارجيّة بالنسبة لمراقب داخلي أثناء دوران مركبة بحركة دائريّة منتظمة، ومع ذلك لا تقف المركبة.

سادساً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1- استنتج بالرموز العلاقة التي تربط بين القيم الخطّية والقيم الزّاوية للسرعة والتسارع، انطلاقاً من العلاقة:
$s = r\,\overline{\theta}$

2- انطلاقاً من القيمة الوسطيّة للسرعة الزّاوية استنتج السرعة الزّاوية الآنيّة، ما العلاقة بينها وبين السرعة الخطّية؟ حدّد عناصرها مع الرسم.

3- انطلاقاً من العلاقة $\vec{a} = \vec{a}_c + \vec{a}_t$ برهن أنّه في الحركة الدائريّة المنتظمة تتحقّق العلاقة:

$$a = a_c = \frac{v^2}{r}$$

سابعاً: حل المسائل الآتية: (نعتبر $g = 10\ m.s^{-2}$ إلاّ إذا أشار النصّ إلى خلاف ذلك)

المسألة الأولى: جسم صغير الأبعاد كتلته $0.1\ kg$ يدور بحركة دائريّة منتظمة، نصف قطر مسارها $r = 2\ m$ بسرعة خطّية $1\ m.s^{-1}$ والمطلوب حساب:

1. دور الحركة، وتواترها.
2. السرعة الزّاوية.
3. التسارع الناظمي.
4. قوّة الجذب المركزيّة.
5. قوّة العطالة النابذة.

المسألة الثانية: نثبّت جسماً كتلته $0.1\ kg$ بطرف خيط متين مهمل الكتلة طوله $1\ m$ ندير الجسم بصورة منتظمة في مستوٍ أفقي أملس بمعدّل 60 دورة كلّ $30\ s$، والمطلوب حساب:

1. تواتر الحركة.
2. السرعة الزّاوية والسرعة الخطّية للجسم والمسافة الخطّية التي يقطعها الجسم خلال دور كامل.
3. التسارع المماسيّ والتسارع الناظميّ.
4. قوّة شدّ الحبل.

المسألة الثالثة: تدور سيارة كتلتها **1000 kg** على منعطف دائري نصف قطره **1 km** بسرعة **$72\ km.h^{-1}$** والمطلوب حساب:

1. قوّة الجذب المركزيّة.
2. ميل المنعطف الواجب أن يكون عليه حتّى لا يصيب العجلات انزلاق جانبي.
3. كم يجب رفع الطرف الخارجي للمنعطف الدائري الذي عرضه $6\ m$ لتدور المركبة بسلام.

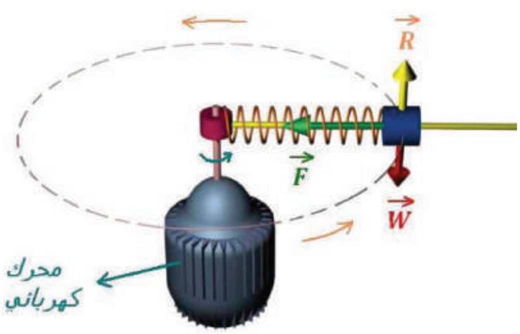
المسألة الرابعة: نقطة ماديّة كتلتها $m = 100\ g$ تدور بسرعة زاوية ثابتة تقابل $\frac{5}{\pi}$ دورة في كلّ ثانية على بُعْد ثابت من محور دوران ثابت، إذا علمت أنّ سرعتها الخطّية $10\ m.s^{-1}$ المطلوب حساب:

1. نصف قطر المسار الدائري واحسب دور الحركة.
2. التسارع المماسي والناظمي.
3. المسافة المقطوعة خلال 4 دورات.
4. محصّلة القوى المؤثّرة بالنقطة وجهتها. ماذا نسمّيها؟
5. كمّية حركة النقطة.

المسألة الخامسة: يدور راكب دراجة على منعطف أملس يميل **°45** على الأفق، نصف قطره **40 m** ، والمطلوب حساب السرعة الخطّية التي يجب أن تعطى له حتى لا يصيب العجلات انزلاق جانبيّ.

المسألة السادسة: انظر الشكل المرافق، حيث الساق ملساء أفقية، وباعتبار الكتلة $m = 100\ g$ في مكان حيث قيمة تسارع الجاذبيّة الأرضيّة فيه : $g = 10\ m.s^{-2}$

1. ما اسم القوّة التي تبديها الساق على الكتلة وهي ساكنة؟ احسب قيمتها، وعيّن حاملها وجهتها. هل تتعلّق قيمة هذه القوّة بالسرعة لو أدرنا الساق الأفقيّة حول محورها الشاقولي؟



2. ندير الساق الأفقية بسرعة زاوية ثابتة $10\ rad.s^{-1}$ احسب قوّة شدّ النابض للجسم بفرض طول النابض أثناء الدوران **20 cm** .

3. ماذا نسمي القوّة التي يشدّ بها الجسم النابض؟ وهل تحقق شرط توازنه؟ احسب قيمتها.
4. نضاعف السرعة الزّاوية للدوران ونجعل الكتلة المعلّقة ربع ما كانت عليه. تحقّق أنّ طول النابض يبقى نفسه $20\ cm$ أثناء الدوران السابق من أجل التوتّر نفسه.

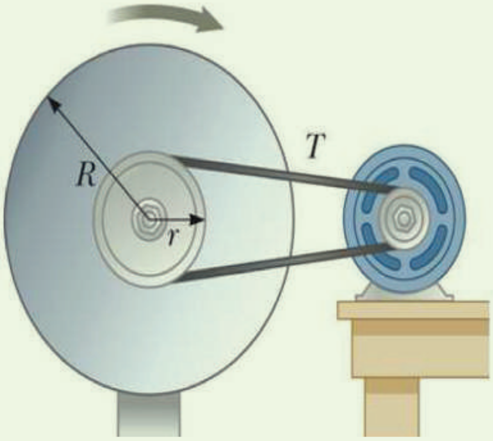
المسألة السابعة: تتحرّك نقطة ماديّة بحركة دائريّة منتظمة نصف قطرها $r = 1\ m$ ، تسارعها $9\ m.s^{-2}$،
المطلوب:

1. احسب السرعة الخطّية.
2. احسب المسافة المقطوعة خلال نصف دقيقة.
3. هل يتساوى التغيّر النسبي للمسافة التي تقطعها النقطة مع التغيّر النسبي للزمن؟ بيّن السبب.

الدرس الثالث

التحريك الدوراني

الأهداف التعليمية



1. يتعرّف عزم العطالة لنقطة ماديّة.
2. يتعرّف عزوم العطالة لأجسام متنوعة (متناظرة ومتجانسة) حول محور Δ مارّ بمركز عطالتها.
3. يطبّق نظرية هايغنز.
4. يتعرّف العزم الحركي لنقطة ماديّة.
5. يتعرّف العزم الحركي لجسم صلب.
6. يطبّق نظرية التسارع الزّاوي.
7. يبيّن أهميّة الحركة الدورانيّة في التطبيقات العملية.

الحركة الدورانيّة من أكثر الحركات شيوعاً في حياتنا اليومية، كحركة دوران عقارب الساعة، وحركة دوران المروحة السقفية، وبعض الآلات الكهربائيّة ....

مفهوم عطالة جسم صلب:

عندما تصعد إلى حافلة نقل الركاب، وتبدأ الحافلة بالإقلاع من السكون بتسارع جهته بجهة الحركة، فإنّ جسمك يبدي انحرافاً عكس جهة شعاع تسارع الحركة، أي يمانع جهة شعاع التسارع، ويزداد هذا الانحراف بزيادة شدّة شعاع التسارع؛ لذلك يلجأ السائق إلى وضع حزام الأمان، وللسبب نفسه يضع ركّاب الطائرة أحزمة الأمان عند الإقلاع أوالهبوط.

نعرّف عطالة جسم صلب بأنّها مقدار ممانعة الجسم لتغيير شعاع سرعة مركز عطالته، سواء أكان التغيّر في حامل أو جهة أو شدّة شعاع السرعة.

افترض أنّك تريد تحريك مكتبة بيتك المليئة بالكتب التي كتلتها كبيرة نسبياً، فماذا تفعل لتسهيل الأمر؟ إنّك تقوم بإفراغها من الكتب لتُنقص من كتلتها فيسهل تحريكها.

لذلك فإنّ الكتلة تميّز عطالة الجسم وهي عدد حقيقي موجب وحدته في الجملة الدولية kg.

هل يتغيّر الأمر في التحريك الدوراني؟ هذا ما سنتعرفه في درسنا هذا.

وجدنا أنّ الكتلة تبدي ممانعة لتغيير شعاع سرعة مركز عطالتها في الحركة الانسحابية، أمّا في الحركة الدورانيّة حول محور دوران ثابت Δ فإنّ لهذه الكتلة عزم عطالة يبدي ممانعة لتغيير سرعتها الزّاوية، وهو مقدار موجب دوماً.

عزم عطالة نقطة ماديّة تدور حول محور ثابت Δ:

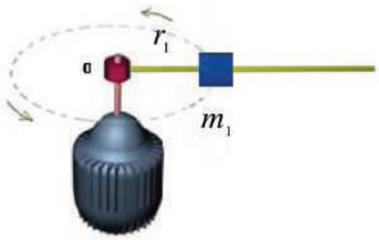
مفهوم عزم العطالة:

- نأخذ كرتين متماثلتين إحداهما مصمتة والثانية جوفاء ونضعهما على سطح أفقي أملس وندوّرهما باليد. ماذا نلاحظ؟

تدور الكرتان بسرعتين زاويتين مختلفتين، حيث إنّ الكرة الجوفاء تدور بسرعة زاوية أكبر، أي إنّ ممانعتها لتغيير سرعتها الزّاوية أقل مما هو عليه للكرة المصمتة، كذلك الأمر عند تدوير قرصين مختلفين بالكتلة حول المحور نفسه فإنّنا نرى سهولة في تدوير القرص الأصغر بالكتلة؛ مما يدلّ على أنّه يملك عزم عطالة أقلّ ممّا هو عليه عند القرص الأكبر في الكتلة.

تجربة:

- نثبّت كتلة m_1 على بُعد r_1 من محور الدوران، كما في الشكل، ونجعل المحرّك يدور فتدور الكتلة m_1 بسرعة زاوية معيّنة.
- نعيد التجربة السابقة بعد أن نجعل البُعد r_2 حيث $r_2 > r_1$ فنلاحظ أنّ الجملة تدور بسرعة زاوية أقلّ، أيّ إنّ ممانعة الكتلة لتغيير سرعتها الزّاوية تزداد بازدياد بُعدها عن محور الدوران.



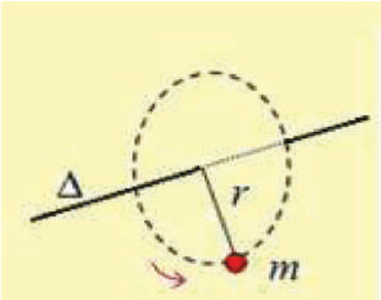
الشكل 1 - 3 - 1
تتغير سرعة الدوران بتغير بعد الكتلة عن محور الدوران

• فـي تجربــة ثالثــة نثبّت كتلـة m_2 حيث $m_2 > m_1$ على البُعد r_1 السابق نفسه، فنلاحظ أنّ سرعة الدوران قد نقصت عنها في التجربة الأولى، أي إنّ ممانعة الكتلة لتغيير سرعتها الزّاوية تزداد بازدياد الكتلة.

النتيجة:

إنّ تغيّر السرعة الزّاوية لنقطة ماديّة يتعلّق بعاملين:

1. كتلة النقطة m.
2. بُعد النقطة عن محور الدوران r.



الشكل 2 - 3 - 1
نقطة مادية كتلتها m تدور بحركة دائرية منتظمة حول محور الدوران Δ

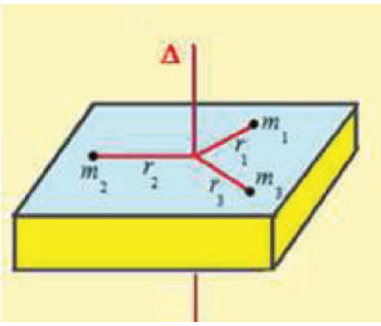
وقد أثبتت الدراسات التجريبية أنّ ممانعة الكتلة لتغيير سرعتها الزّاوية (**عزم العطالة**) تتناسب طرداً: مع كتلة النقطة ومع مربّع بُعدها عن محور الدوران.

ومن هنا نعرّف عزم عطالة نقطة مادية بالنسبة لمحور ثابت Δ بالعلاقة:

$$I_\Delta = m\ r^2$$

حيث r بُعد النقطة عن محور الدوران، لاحظ أنّ وحدة I_Δ في الجملة الدوليّة هي $kg.m^2$.

عزم عطالة جسم صلب يدور حول محور ثابت Δ :



الشكل 3 - 3 - 1
عزم عطالة جسم صلب حول محور الدوران

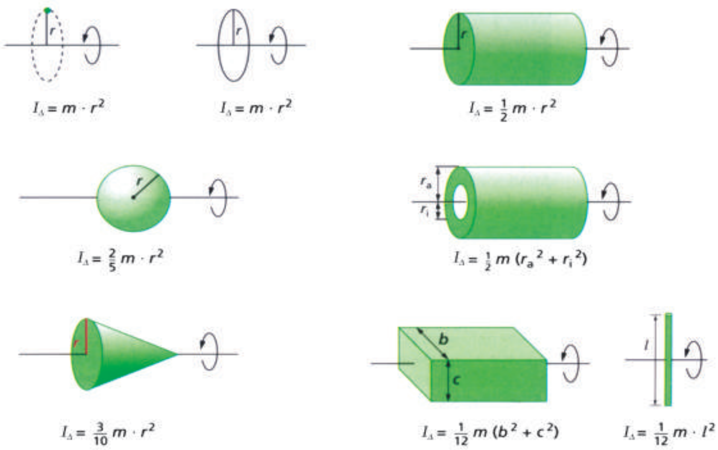
يمكن حساب عزم عطالة جسم صلب متجانس بالنسبة إلى أحد محاور تناظره بأن يجزّأ إلى عناصر ماديّة صغيرة، كتلها m_1، m_2، m_3،... m_n تبعـد عـن المحـور مسـافات r_1، r_2، r_3، ... r_n على الترتيب، فيكون عزم عطالة الجسم يساوي مجموع عزوم عطالة أجزائه حول محور الدوران:

$$I_\Delta = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots\dots\dots + m_n r_n^2$$

$$I_\Delta = \sum_{i=1}^{i=n} m_i r_i^2$$

عزوم العطالة لأجسام متنوعة (متناظرة ومتجانسة) حول محور ثابت Δ مار بمركز عطالتها:

يُبرهن أنّ عزم عطالة الأجسام الآتية يُعطى بالعلاقات أدناه:



الشكل 4 - 3 - 1

عزوم العطالة لأجسام مختلفة حول محور دوران مار من مركز عطالتها

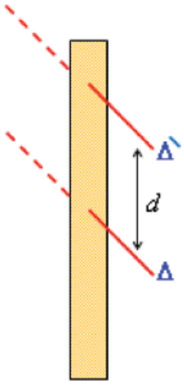
الشكل 5 - 3 - 1

الرقص الفني على الجليد يزيد راقص الجليد من سرعته الزاوية أثناء دورانه بضم ذراعيه ورفعها شاقولياً بمحاذاة جسمه، وإذا أراد إنقاص سرعته الزاوية فإنّه يزيد من عزم عطالته بمدّ ذراعيه.

نظرية هايغنز

تهدف نظرية هايغنز لإيجاد عزم عطالة جسم صلب حول محور Δ' ثابت موازٍ لمحور Δ مارّ بمركز عطالته، وتنص على ما يأتي: إن عزم العطالة $I_{\Delta'}$ لجسم صلب بالنسبة إلى محور Δ' يساوي عزم عطالته I_Δ بالنسبة إلى محور Δ يوازي المحور Δ' ويمر من مركز عطالته، يضاف إليه جداء كتلة الجسم الصلب m في مربّع البُعد بين المحورين d ويُعبّر عنها رياضياً بالعلاقة:

$$I_{\Delta'} = I_\Delta + m\,d^2$$



الشكل 6 - 3 - 1

دوران جسم صلب حول محور دوران لا يمر من مركز عطالته

الطاقة الحركيّة لجسم صلب يتحرك حركة دورانيّة:

نجزئ الجسم إلى عناصر ماديّة صغيرة كتلها m_1، m_2، m_3، ... m_n تبعد عن محور الدوران مسافات على الترتيب r_1، r_2، r_3، ... r_n فتكون الطاقة الحركيّة للجسم تساوي مجموع الطاقات الحركيّة لأجزائه، أي:

$$E_k = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{2} m_i\, v_i^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} m_i\, (r_i\, \omega)^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} m_i\, r_i^2\, \omega^2$$

$$E_k = \frac{1}{2}\omega^2 \sum_{i=1}^{i=n} m_i r_i^2$$

$$\Rightarrow E_k = \frac{1}{2}\omega^2 I_\Delta$$

وهي عبارة الطاقة الحركيّة لجسم صلب يتحرّك حركة دورانيّة.

نظرية الطاقة الحركيّة:

عندما ينتقل جسم صلب على مسار ما بين وضعين a و b بتأثير محصلة قوى خارجيّة $\sum \vec{F}$ فإنّ العمل الذي تنجزه هذه المحصلة خلال فاصل زمني Δt يساوي التغيّر في الطاقة الحركية للجسم الصلب خلال الفاصل الزمني Δt نفسه، ويعطى بالعلاقة:

$$\overline{\Delta E_k} = \sum \overline{W}_{\vec{F}(a\to b)}$$

مثال محلول (1):

تنطلق سيارة كتلتها 1000 kg من السكون على أرض أفقية ملساء لتبلغ سرعة $20\ m.s^{-1}$. احسب عمل محصلة القوى الخارجيّة المؤثّرة في مركز عطالة السيارة.

الحل:

المعطيات: $m = 1000\ kg\ ,\ v_a = 0\ ,\ v_b = 20\ m.s^{-1}$

نطبق نظرية الطاقة الحركية بين الوضعين:

الأول: عند بدء الحركة $(v_a = 0 \Rightarrow E_{k_a} = 0)$

الثاني: عند موضع بلوغ السرعة $20\ m.s^{-1}$

$$\overline{\Delta E_k} = \sum \overline{W}_{\vec{F}(a\to b)}$$

$$\sum \overline{W}_{\vec{F}(a\to b)} = E_{k_b} - E_{k_a}$$

$$\sum \overline{W}_{\vec{F}(a\to b)} = \frac{1}{2} m v_b^2 - \frac{1}{2} m v_a^2$$

$$\sum \overline{W}_{\vec{F}(a\to b)} = \frac{1}{2}\times 1000 \times (20)^2 - 0 \Rightarrow \sum \overline{W}_{\vec{F}(a\to b)} = 2\times 10^5\ J$$

العزم الحركي لنقطة ماديّة تدور حول محور دوران ثابت Δ

إنّ شعاع العزم الحركيّ $\vec{L}$ لنقطة ماديّة كتلتها m تدور على بُعد ثابت r عن محور دوران Δ ثابت عمودي على مستوي دورانها هو عزم شعاع كمّية حركتها $\vec{P}$.

$$\vec{L} = \vec{r} \wedge \vec{p}$$

$$L = r\, p \sin\frac{\pi}{2}$$

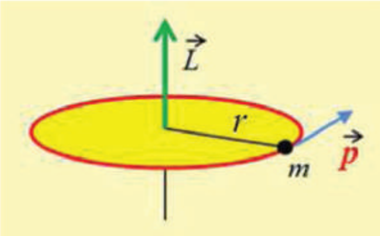
$$L = r\, p$$

$$L = r\, m\, v = r\, m\, \omega r$$

$$L = m r^2 \omega$$

$$L = I_\Delta\, \omega$$

حيث: L: تقاس في الجملة الدولية بوحدة: $kg.m^2.rad.s^{-1}$



الشكل 7 - 3 - 1
العزم الحركي لنقطة مادية تدور حول محور دوران ثابت

الترابط مع الرياضيات
الجداء الشعاعي لشعاعين هو شعاع عمودي على مستويهما

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B}$$

$$C = A.B.\sin\alpha$$

حيث: $\alpha = \widehat{\vec{A},\vec{B}}$

مثال محلول (2):

تدور نقطة ماديّة كتلتها $m = 100\ g$ على بُعد ثابت من محور دوران Δ، بسرعة زاوية ثابتة تقابل $\frac{5}{\pi}$ دورة في الثانية، فيبلغ عزم عطالتها حول ذلك المحور $0.001\ kg.m^2$. يطلب حساب:

1. بُعد النقطة الماديّة عن محور الدوران.
2. السرعة الخطّية للنقطة.
3. كمّية حركة النقطة أثناء دورانها.
4. العزم الحركيّ للنقطة حول محور الدوران.
5. الطاقة الحركيّة لهذه النقطة أثناء دورانها.

الحلّ:

1- حساب بُعد النقطة الماديّة عن محور الدوران:

$$I_\Delta = m\, r^2 \quad \Rightarrow$$

$$0.001 = 0.1 \times r^2 \quad \Rightarrow$$

$$r = 0.1\ m$$

2- حساب السرعة الخطيّة:

$$v=\omega r$$

$$\omega=2\pi\ f=2\pi\times\frac{5}{\pi}=10\ \text{rad.s}^{-1}$$

$$\Rightarrow v=10\times0.1=1\ \text{m.s}^{-1}$$

3- حساب كميّة حركة النقطة:

$$P=m\,v=0.1\times1=0.1\ \text{kg.m.s}^{-1}$$

4- حساب العزم الحركيّ للنقطة:

$$L=I_{\Delta}\,\omega=0.001\times10=0.01\ \text{kg.m}^2\text{.rad.s}^{-1}$$

5- حساب الطاقة الحركيّة أثناء دوران النقطة:

$$E_k=\frac{1}{2}I_{\Delta}\,\omega^2\Rightarrow E_k=\frac{1}{2}\times0.001\times(10)^2=0.05\ \text{J}$$

العزم الحركيّ لجسم صلب

يمكن إيجاد شعاع العزم الحركيّ لجسم صلب كتلته m يدور حول محور ثابت Δ بأن نجزِّىء الجسم الصلب إلى عناصر ماديّة صغيرة يمكن اعتبار كل منها نقطة ماديّة كتلها m_1، m_2، m_3، .... m_n تبعد عن المحور مسافات r_1، r_2، r_3، .... r_n على الترتيب، فيكون شعاع العزم الحركيّ لهذا الجسم يساوي المجموع الشعاعي للعزوم الحركيّة لأجزائه، ولأنّ الأشعة على حامل واحد وبجهة واحدة يمكننا جمع العزوم الحركيّة سلمياً:

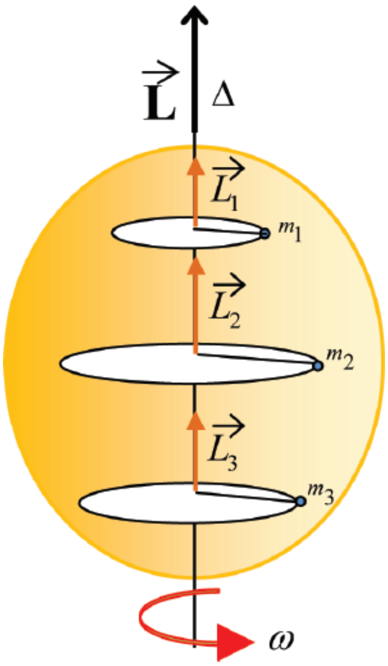
$$L=L_1+L_2+L_3+\cdots\cdots\cdots$$

$$L=m_1r_1^2\,\omega+m_2r_2^2\,\omega+m_3r_3^2\,\omega+\cdots\cdots$$

$$L=(m_1r_1^2+m_2r_2^2+m_3r_3^2+\cdots\cdots)\,\omega$$

$$L=(\sum_{i=1}^{i=n}m_i\,r_i^2)\,\omega$$

$$\boxed{L=I_{\Delta}\,\omega}$$



الشكل 8 - 3 - 1
العزم الحركي لجسم صلب

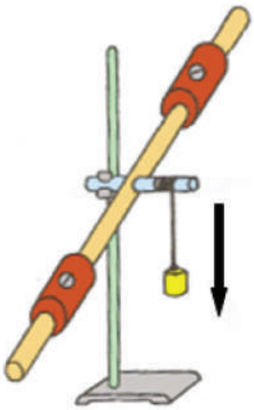
نتيجة: العزم الحركيّ لجسم صلب يدور حول محور Δ ثابت يساوي جداء عزم عطالته حول ذلك المحور في سرعته الزّاوية حول المحور نفسه.

نظرية التسارع الزّاوي

الحالة الأولى:

نثبّت على ساق أفقية جسمين كتلة كلّ منهما m على بُعد متساوٍ r_1 من محور الدوران كما في الشكل. ويمكن للساق أن تدور بدوران ملفاف بتأثير العزم الثابت لقوة توتّر الخيط نتيجة هبوط الجسم المعلّق بالخيط مسافة محددة 10 cm مثلاً بدءاً من السكون.

لاحظ تغيّر السرعة الزاوية للجسمين (التسارع الزاويّ).



الشكل 9 - 3 - 1
أ) التسارع الزاوي لجسمين من أجل بُعد r_1 عن محور الدوران

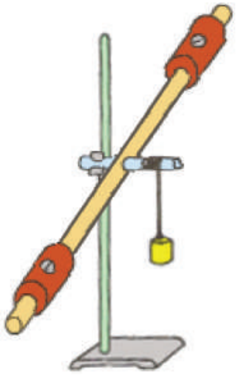
الحالة الثانية:

نكرّر التجربة السابقة من أجل بُعد $r_2 > r_1$، ماذا يحصل لعزم العطالة؟ نترك الجسم المعلّق بالخيط يهبط المسافة السابقة نفسها بدءاً من السكون.

لاحظ تغيّر السرعة الزّاوية للجسمين في هذه الحالة.

ماذا تستنتج؟

إنّ التغيّر في السرعة الزّاوية للجسمين خلال فاصل زمني محدّد (التسارع الزّاوي) في الحالة الثانية أصغر منه في الحالة الأولى نتيجة زيادة عزم العطالة من أجل عزوم القوى نفسها.



الشكل 9 - 3 - 1
ب) يتغير التسارع الزاوي بتغير البعد عن محور الدوران

نتيجة:

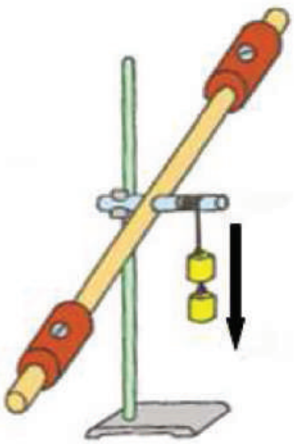
عند تطبيق عزم ثابت على جملة ماديّة يمكنها الدوران، فإنّ التسارع الزّاوي للجملة يتناسب عكساً مع عزم عطالة الجملة.

الحالة الثالثة:

نكرر التجربة السابقة بعد إضافة جسمٍ آخر يعلّق بالخيط مساوٍ في ثقله الجسم المعلّق السابق، ونجعلهما يهبطان المسافة السابقة r_1 نفسها بدءاً من السكون.

ماذا تستنتج؟

يزداد التسارع الزّاوي بزيادة العزم المحصّل للقوى الخارجيّة المؤثرة من أجل عزم عطالة ثابت للجملة.



الشكل 9 - 3 - 1
جـ) علاقة التسارع الزاوي بالعزم المحصل للقوى الخارجية المؤثرة

نتيجة:

يتناسب التسارع الزّاوي لجملة ماديّة طرداً مع العزم المحصّل للقوى الخارجيّة المؤثّرة على الجملة بثبات عزم عطالتها.

نصّ نظريّة التسارع الزّاوي:

يمكننا بإجراء القياسات التوصّل إلى نصّ نظريّة التسارع الزّاوي:

إذا دار جسم صلب حول محور ثابت Δ كان العزم الحاصل للقوى الخارجيّة المؤثّرة فيه بالنسبة للمحور Δ مساوياً جداء تسارعه الزّاوي في عزم عطالته حول ذلك المحور.

يُعبّر عن نظريّة التسارع الزّاوي بالعلاقة:

$$\sum \overline{\Gamma}_{\Delta} = I_{\Delta}\overline{\alpha}$$

كما يمكننا التحقّق من ذلك بالاستنتاج الرياضي:

لدينا من العلاقة التجريبية $\sum \overline{\Gamma}_{\Delta} = \dfrac{\Delta L}{\Delta t}$ عندما يتناهى الفاصل الزمني Δt إلى الصفر فإنّ:

$$\sum \overline{\Gamma}_{\Delta} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \overline{L}}{\Delta t} = \frac{d\,\overline{L}}{d\,t} = (\overline{L})'_t$$

لكنّ $\quad L = I_{\Delta}\overline{\omega} \quad$ و $\quad I_{\Delta} = const$

$$\Rightarrow \sum \overline{\Gamma}_{\Delta} = I_{\Delta}\frac{d\,\overline{\omega}}{d\,t} = I_{\Delta}\overline{\alpha}$$

$$\sum \overline{\Gamma}_{\Delta} = I_{\Delta}\overline{\alpha}$$

حيث:

Γ_{Δ}: m.N

I_{Δ}: kg.m^2

α: rad.s^{-2}

الفيزياء وكرة القدم:

كلنا نذكر تلك التسديدة التي قام بها اللاعب البرازيلي روبرتو كارلوس عام 1997 ، عندما اعتقد الجميع أنّها تتجه خارج المرمى ، لقد صوّب لاعبنا من ضربة حرة على بعد 30 متراً، وقد تجاوزت حائط المدافعين بأقل من متر قبل انحنائها وتوضّعها في أقصى الزاوية اليسرى من المرمى.
درس الفيزيائيون هذه الظاهرة وكان لديهم تفسير سهل وعلمي لمثل هذه الضربات، حيث تخضع مثل هذه الضربات إلى قوى تسمى (تأثير ماغنوس).
حيث تدور الكرة حول نفسها، وحركة الكرة بهذه الطريقة في الهواء تؤدي إلى اختلاف سرعة الهواء الذي تخترقه الكرة على جانبيها، بحيث يكون سريعاً على أحد جانبيها وبطيئاً في الجانب الآخر.

مثال محلول (3):

يبدأ قرص متجانس كتلته **m = 100 g** حركته من السكون حول محور أفقي Δ مارّ من مركزه وعمودي على مستويه ليبلغ سرعة زاوية **$20\ rad.s^{-1}$** بتسارع زاوي ثابت **$2\ rad.s^{-2}$** ، فإذا علمت أنّ عزم عطالة القرص حول محور الدوران **$0.002\ kg.m^2$** فالمطلوب:

1. احسب نصف قطر القرص إذا كان عزم عطالته حول محور الدوران يعطى بالعلاقة:

$$I_\Delta = \frac{1}{2} m r^2$$

2. احسب العزم المحصّل للقوى الخارجيّة.
3. احسب تغيّر العزم الحركيّ للقرص خلال الفترة الزمنية السابقة.
4. بتطبيق نظرية الطاقة الحركيّة احسب عمل قوى الإلجام التي تجعل القرص يتباطأ حتّى يتوقف .

الحل:

1- حساب نصف قطر القرص:

$$I_\Delta = \frac{1}{2} m r^2 \quad \Rightarrow$$

$$2\times10^{-3} = \frac{1}{2}\times10^{-1}\times r^2 \quad \Rightarrow$$

$$r = 2\times10^{-1}\ \text{m}$$

2- حساب العزم المحصّل:

$$\sum\Gamma_\Delta = I_\Delta\,\alpha \quad \Rightarrow$$

$$\Gamma_\Delta = 2\times10^{-3}\times2 = 4\times10^{-3}\ \text{m.N}$$

3- حساب تغيّر العزم الحركيّ:

$$\Delta L = L_2 - L_1 \quad \Rightarrow \quad \Delta L = I_\Delta(\omega_2 - \omega_1)$$

$$\Delta L = 2\times10^{-3}(20-0)$$

$$\Delta L = 4\times10^{-2}\ \text{kg.m}^2\text{.rad.s}^{-1}$$

4- حساب عمل قوّة الإلجام:

$$\overline{\Delta E_k} = \overline{W_{\vec{F}}} + \overline{W_{\vec{W}}} + \overline{W_{\vec{R}}}$$

لكنّ نقطة تأثير كل من قوّة الثقل $\vec{W}$ وقوّة ردّ فعل محور الدوران $\vec{R}$ ساكنتان، فعملهما معدوم. إذاً:

$$\overline{\Delta E_k} = \overline{W_{\vec{F}}} \Rightarrow$$

$$\overline{W_{\vec{F}}} = \overline{E_{k_2}} - \overline{E_{k_1}}$$

$$\overline{W_{\vec{F}}} = 0 - \frac{1}{2} I_{\Delta} \omega^2$$

$$\overline{W_{\vec{F}}} = -\frac{1}{2} \times 2 \times 10^{-3} \times (20)^2$$

$$\overline{W_{\vec{F}}} = -0.4 \text{ J}$$

وهو عمل سالب لأنّه عمل مقاوم.

ما يجب تذكره

- إنّ عطالة جسم صلب هي مقدار ممانعة الجسم لتغيير شعاع سرعة مركز عطالته.
- إنّ عزم عطالة جسم صلب يدور حول محور دوران ثابت هو مقدار ممانعة الجسم لتغيير سرعته الزاوية.
- يتعلّق عزم عطالة نقطة ماديّة بعاملين:
  1- كتلة النقطة.
  2- مربّع بُعدها عن محور الدوران أثناء دورانها.
- عزم عطالة جسم صلب يدور حول محور دوران ثابت هو مجموع عزوم عطالة جميع أجزاء الجسم حول المحور نفسه.
- للأجسام المتناظرة حول محور الدوران عزم عطالة يتعلّق بشكل الجسم ووضع محور الدوران بالنسبة له.
- تُطبّق نظرية هايغنز لإيجاد عزم عطالة جسم صلب حول محور دوران ثابت Δ' لا يمر من مركز عطالة الجسم وموازٍ لمحور الدوران Δ المارّ من مركز عطالة الجسم الصلب. ويعبّر عنها بالعلاقة: $I_{\Delta'} = I_{\Delta} + m d^2$
- إنّ الطاقة الحركيّة لجسم صلب يدور حول محور دوران Δ بسرعة زاوية ω تساوي: $E_k = \frac{1}{2} I_{\Delta} \omega^2$ حيث I_{Δ} عزم عطالة الجسم بالنسبة للمحور Δ
- إنّ العزم الحركيّ لنقطة ماديّة تدور محور ثابت Δ هو: $L = I_{\Delta} \omega$ بينما للجسم الصلب هو:

$$L = \left(\sum_{i=1}^{i=n} m_i r_i^2\right) \omega = I_{\Delta} \omega$$

- في الحركة الدورانيّة حول محور دوران ثابت تُحسب عزوم القوى المؤثّرة بالأجسام الصلبة أو التسارع الزّاوي لها من العلاقة:

$$\sum \overline{\Gamma}_{\Delta} = I_{\Delta} \overline{\alpha}$$

أنشطة وتدريبات

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1- تتغيّر السرعة الزّاوية لدولاب من $\omega_1 = 50\ rad.s^{-1}$ إلى $\omega_2 = 90\ rad.s^{-1}$ خلال فاصل زمني قدره $\Delta t = 10\,s$ فيكون تسارعه الزّاوي الوسطي:

a) $a_{avg} = 0.25\ rad.s^{-2}$ b) $a_{avg} = 4\ rad.s^{-2}$

c) $a_{avg} = 2\ rad.s^{-2}$ d) $a_{avg} = 40\ rad.s^{-2}$

2- كرة مصمتة نصف قطرها $r = 10\ cm$ وكتلتها $m = 1\ kg$ حيث $I_\Delta = \frac{2}{5} mr^2$ يبلغ عزمها الحركيّ حول محور مارّ من مركزها $L = 5\times10^{-2}\ kg.m^2.rad.s^{-1}$ عندما تكون سرعتها الزّاوية:

a) $\omega = 2\times10^{-2}\ rad.s^{-1}$ b) $\omega = 12.5\ rad.s^{-1}$

c) $\omega = 2\ rad.s^{-1}$ d) $\omega = 25\ rad.s^{-1}$

3- كرتان متجانستان مصمتتان، لهما الكتلة نفسها، نصف قطر كل منهما على الترتيب r_1، r_2 ، وعزم عطالة كلّ منهما حول محور مــارّ من مركزهــا علــى الترتيب I_1، I_2 ، فــإذا كـان $r_1 = 2r_2$ فإنّ:

a) $I_1 = 4I_2$ b) $I_1 = 32I_2$

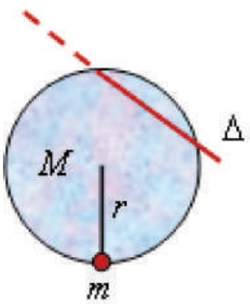
c) $I_1 = 0.25I_2$ d) $I_1 = 8I_2$

ثانيا: فسّر ما يأتي:

1- ازدياد سرعة دوران راقص على الجليد عندما يضمّ يديه.

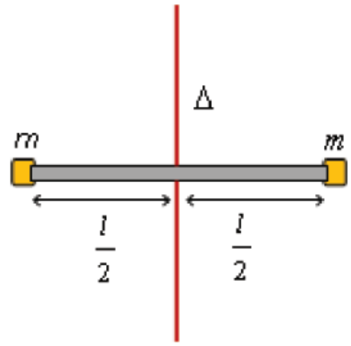
2- يثبّت دولاب معدني قطره كبير وكتلته كبيرة نسبياً على جذع بعض الآلات.

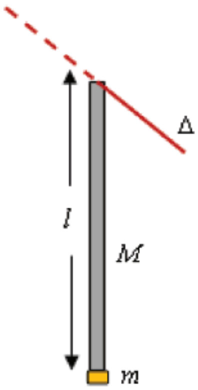
ثالثاً: أوجد عبارة عزم العطالة لكلّ من الجمل الماديّة (الموضّحة بالأشكال) بالنسبة للمحور Δ:



1- قرص متجانس كتلته M نصف قطره r يثبت في نقطة من محيطه كتلة نقطيّة m حيث $M = m$ ، عزم عطالة القرص حول محور مار بمركزه $I_{\Delta/c} = \frac{1}{2}Mr^2$

2- ساق متجانسة، كتلتها M ، طولها L تُثَبَّتُ في طرفيها كتلتان نقطيتان كتلة كل منهما m . (عزم عطالة الساق حول محور مار من مركز ثقلها $I_{\Delta/c} = \frac{1}{12}ML^2$)

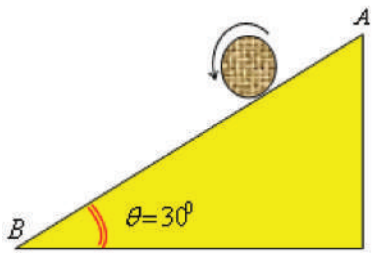




3- ساق متجانسة كتلتها M طولها L تحمل في نهايتها السفلية كتلة نقطيّة m

(عزم عطالة الساق حول محور مار من مركز ثقلها $I_{\Delta/c} = \frac{1}{12}ML^2$)

رابعاً: حلّ المسائل الآتية:



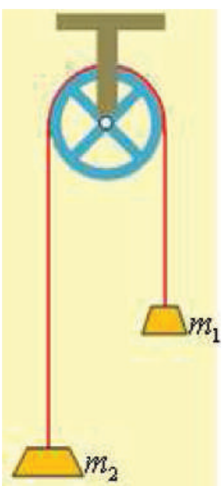
المسألة الأولى: قرص متجانس كتلته $M = 2\,kg$ ونصف قطره $r = 25\ cm$ يبدأ حركته من السكون من A قمة مستو مائل وفق خط ميله الأعظم الذي يميل على الأفق بزاوية $\theta = 30^0$ ليتدحرج دون انزلاق فيصل إلى B نهاية المستوي المائل بسرعة زاوية $\omega = 2\ rad.s^{-1}$ والمطلوب:

1) احسب عزم عطالته حول محوره.

2) استنتج العلاقة المحدّدة لتسارع مركز عطالته ثم احسب قيمته.

3) احسب الطاقة الحركيّة للقرص لحظة وصوله إلى B

عزم عطالة قرص بالنسبة لمحوره $I = \frac{1}{2}M\,r^2$



المسألة الثانية: تتألّف ماكنة أتود من بكرة نصف قطرها $r = 10\ cm$ كتلتها $M = 200\ g$. يمرّ على محزّ البكرة خيط مهمل الكتلة لا يمتط، ولا ينزلق على محيطها، عُلِّقَ في كلّ من نهايتيه على الترتيب الكتلتان $m_1 = 100\ g$ ، $m_2 = 150\ g$ تبدأ الجملة حركتها من السكون والمطلوب:

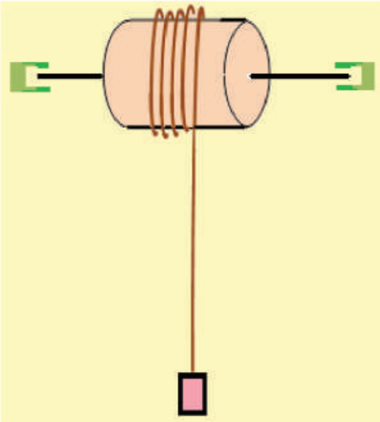
1) استنتج العلاقة المحدّدة للتسارع الخطّي لكل من الكتلتين واحسب قيمته.

2) احسب التسارع الزّاوي للبكرة.

3) احسب قوة توتر الخيط (شدّ الخيط).

4) احسب سرعة الكتلة m_1 بعد زمن قدره $2\ s$ من لحظة بدء الحركة.

بفرض: عزم عطالة البكرة يعطى بالعلاقة: $I_{\Delta/c} = M\ r^2$ والمقاومات مهملة.



المسألة الثالثة: أسطوانة مصمتة، كتلتها $M = 800\ g$ ونصف قطرها $r = 10\ cm$ يمكن أن تدور حول محور أفقي Δ ثابت بدون احتكاك، نلفّ على هذه الأسطوانة خيطاً مهمل الكتلة لا يمتطّ، ونعلّق بنهايته المتدلية جسماً صغيراً كتلته $m = 100\ g$ ، تبدأ الجملة حركتها من السكون والمطلوب:

1) استنتج قيمة التسارع الزّاوي للأسطوانة.

2) احسب تسارع الجسم.

3) احسب سرعة الجسم بعد مرور زمن $t = 10\ s$

عزم عطالة أسطوانة بالنسبة لمحورها $I_{\Delta/c} = \frac{1}{2} Mr^2$ ، $g = 10\ m.s^{-2}$

الدرس الرابع

الأفعال المتبادلة في حقل الجاذبيّة

الأهداف التعليمية

1. يتعرّف قانون الجاذبيّة العام.
2. يستنتج حقل الجاذبيّة المتولّد عن نقطة ماديّة.
3. يستنتج قانون حقل الجاذبيّة الأرضي.
4. يستنتج العلاقة بين حقل الجاذبيّة الأرضيّة والارتفاع عن مركز الأرض.
5. يثمّن جهود العلماء في دراسة حركة النجوم والكواكب حول الشمس.
6. يبيّن أهميّة قانون الجاذبيّة العام في التطبيقات العملية.

شغل رصد الفضاء والأرض العديد من العلماء منذ القدم، وامتازت ملاحظاتهم بدقّة مدهشة، فراقبوا حركة النجوم والكواكب حول الشمس، ووضع العالم كبلر ثلاثة قوانين تصف حركة الكواكب حول الشمس، لكنّها لم تعط تفسيراً لهذه الحركة.

قانون الجاذبيّة العام

اعتمد نيوتن على قانون كبلر المتعلّق بحركة النجوم وحركة القمر حول الأرض، والأرض والكواكب السيّارة حول الشمس، واستعمل لذلك قانون الفعل وردّ الفعل حيث تمكّن عام 1680 من صياغة قانون الجاذبيّة العام.

وسّع نيوتن أفكاره لتشمل أيّ جسمين، واقترح أنّ القوّة الجاذبة بين كتلتين نقطيّتين تتناسب:

1- طرداً مع جداء الكتلتين.

2- عكساً مع مربّع البُعد بين الكتلتين.

الشكل 1 - 4 - 1
العالم جوهانس كبلر (1571 - 1630)
درس حركة الكواكب حول الشمس

وعليه فإنّ:

كلّ كتلتين نقطيتين m_1، m_2 تفصل بينهما مسافة d يؤثّر أحدهما بالآخر بقوتين متبادلتين $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ تتناسب شدّتهما المشتركة طرداً مع حاصل جداء كتلتي الجسمين، وعكساً مع مربّع المسافة بين مركزيهما.

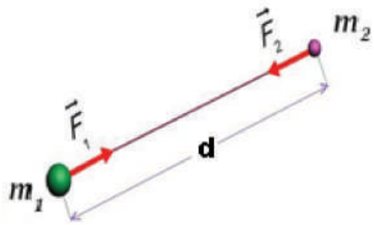
$$F_1 = F_2 = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

حيث: G ثابت الجاذبيّة العام، وقد أدت تجارب العالم الانكليزي كافنديش إلى تقدير قيمته وهي تساوي في جملة وحدات النظام الدولي SI:

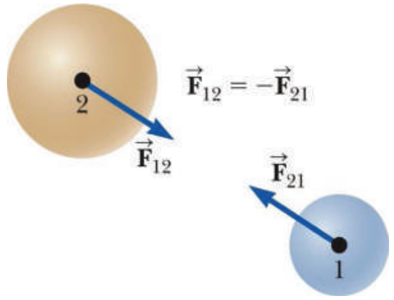
$$G = 6.673 \times 10^{-11}\ N.m^2.kg^{-2}$$

وبالتالي يصبح قانون الجذب العام بالشكل:

$$F_1 = F_2 = 6.673 \times 10^{-11} \frac{m_1 m_2}{d^2}$$



الشكل 2 - 4 - 1
قوة التجاذب بين كتلتين



الشكل 3 - 4 - 1
قانون نيوتن العالمي

إضاءة:

استنتج العالم الفرنسي كولوم تجريبيّاً أنّ شدّة القوّة الكهربائيّة المتبادلة (التجاذب أو التنافر) بين شحنتين كهربائيتين نقطيّتين تعطى بعلاقة تشبه قانون الجاذبيّة العام، سمّي قانون كولوم:

$$F_{A/B} = F_{B/A} = k\frac{q_A\, q_B}{d^2}$$

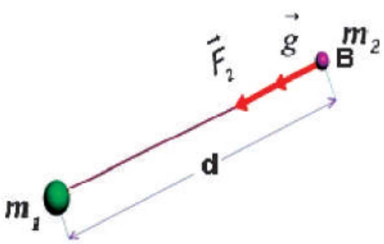
حيث k ثابت كولوم، وقيمته في جملة وحدات النظام الدولي SI:

$$k = 9\times10^{9}\ N.m^2.C^{-2}$$

حقل الجاذبيّة المتولّد عن كتلة نقطيّة

كيف ينتقل تأثير كلّ من الكتلتين إلى الأخرى، على الرغم من البُعد بينهما (التأثير المتبادل)؟ لا يمكن تفسير ذلك إلاّ بوجود الحقول ومن يقوم هنا بنقل التأثير هو حقل الجاذبيّة. تولّد الكتلة m_1 عند نقطة B حقلاً للجاذبيّة g يؤثر في الكتلة m_2 بقوّة جاذبة تتناسب طرداً مع الكتلة m_2:

$$F_2 = m_2\, g$$



الشكل 4 - 4 - 1
حقل الجاذبية المتولد عن كتلة نقطية

ولدينا من قانون الجاذبيّة العام:

$$F_2 = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

بالمساواة والاختزال نجد:

$$g = G\frac{m_1}{d^2}$$

وهي عبارة شدّة حقل الجاذبيّة المتولّد عن كتلة نقطيّة.

نتيجة:

حقل الجاذبية المتولد عن الكتلة m في النقطة B يتناسب طرداً مع الكتلة m وعكساً مع مربع البُعد بين الكتلة المولّدة للحقل والنقطة.

حقل الجاذبيّة المتولّد عن الأرض

نترك جسماً من ارتفاع قريب من سطح الأرض دون سرعة ابتدائيّة. نعلم أنّه سيسقط نحو الأرض بتأثير قوّة الجذب الكتلي، وهي تساوي ثقل الجسم بتقريب مقبول. (باعتبار أنّ الأرض كرة متجانسة كتلتها M متجمعة في مركزها).

ويمكن حساب ثقل الجسم بدلالة كتلته m وكتلة الأرض M والبُعد بين مركز عطالة الجسم ومركز الأرض d بالعلاقة:

$$W = G\frac{Mm}{d^2}$$

ويعطى ثقل الجسم أيضاً بالعلاقة:

$$W = mg$$

بمقارنة العلاقتين نجد:

$$g = G\frac{M}{d^2}$$

العلاقة بين الجاذبيّة الأرضيّة والارتفاع عن سطح الأرض:

يتناسب حقل الجاذبيّة الأرضي عكساً مع مربّع البُعد عن مركز الأرض d.

تعطى شدّة حقل الجاذبيّة الذي تولّده الأرض في كلّ نقطة من سطحها (باعتبارها كرويّة) بالعلاقة:

$$g_0 = G\frac{M}{R^2}$$

حيث R نصف قطر الأرض

ماذا يحصل لشدّة حقل الجاذبيّة الأرضي على ارتفاع h عن سطح الأرض؟

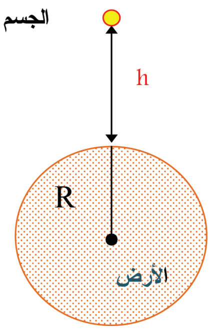
نعمة الجاذبية الأرضية

الأرض هي الكوكب الوحيد المناسب تماماً للحياة المريحة والمستقرة، فحجم الأرض وكتلتها وبعدها عن الشمس وسرعة دورانها حول نفسها وحول الشمس، مناسب جداً للحياة، وأي تغير في الأرض سيؤدي إلى اختلال الحياة على ظهرها.

ولكنّ هناك أمراً مهماً جداً لولاه لا يمكن لنا أن نستقر على هذه الأرض، وهو الجاذبية الأرضية، فكوكب الأرض يمتاز بجاذبية محددة مناسبة للحياة المستقرة، ولو كانت جاذبية الأرض أقل مما هي عليه (مثل القمر) فإن الإنسان سيطير في الهواء عندما يبذل أي جهد، ولو كانت الجاذبية أكبر مما هي عليه (مثل المشتري) لالتصق الإنسان بالأرض، ولم يعد قادراً على الحركة.

تشدنا الأرض نحو مركزها، بفعل قوة جاذبيتها، ولذلك فإننا نحس بالاستقرار على ظهرها. لو كنا على سطح القمر مثلاً فإن وزن أحدنا سيكون أقل مما هو عليه على الأرض بست مرات.

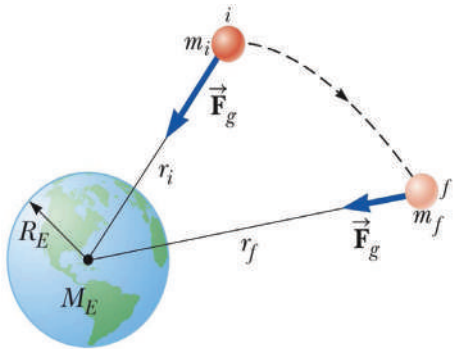
ولا نحس بنعمة الجاذبية إلا عندما نغادر الأرض! وهذا ما يشكو منه رواد الفضاء الذين صعدوا إلى الفضاء الخارجي وعاشوا حالة انعدام الجاذبية.



الشكل 5 - 4 - 1
تتناقص الجاذبية الأرضية بازدياد الارتفاع عن سطح الأرض

- تتناقص شدّة الحقل.

تعطى شدّة حقل الجاذبيّة على ارتفاع h من سطح الأرض بالعلاقة :



الشكل 6 - 4 - 1
الأرض تولد حقلاً للجاذبية

$$\boxed{g_h = G\frac{M}{d^2}}$$

حيث: $d = R + h$

نسب العلاقتين السابقتين فنجد: $\frac{g_h}{g_0} = \frac{R^2}{(R+h)^2}$

ومنه نجد: $$\boxed{g_h = g_0\frac{R^2}{(R+h)^2}}$$

نتيجة:

إنّ قيمة g_h تتناقص بزيادة الارتفاع عن سطح الأرض.

إضاءة

مظاهر الكتلة!

في دراستنا السابقة نظرنا إلى كتلة الجسم بمظهرين مختلفتين:

الأول: **مظهر عطالي:** يتجلّى في تحديد الكتلة لتسارع الجسم عندما تؤثّر عليه قوّة معيّنة F ، وتعرف هذه الكتلة بالكتلة العطالية m_i:

$$F = m_i a$$

مثال: زيادة ونقصان الكتلة.

الثاني: **مظهر تجاذبي:** يتجلّى في قوّة التجاذب بين كتلتين M، m وتعرف بالكتلة التجاذبية m:

$$F = G\frac{mM}{d^2}$$

مثال: السقوط الحر.

ما يجب تذكّره

- قانون الجاذبيّة العام (قانون نيوتن):

$$F_1 = F_2 = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

- قيمة ثابت الجاذبية $G = 6.673\times10^{-11}$ ووحدته في الجملة الدولية SI هي $N.m^2.kg^{-2}$
- شدة حقل الجاذبيّة المتولّد عن كتلة نقطيّة m يعطى بالعلاقة:

$$g = G\frac{m}{d^2}$$

- تعطى شدّة حقل الجاذبيّة على ارتفاع h عن سطح الأرض بالعلاقة:

$$g_h = g_0\frac{R^2}{(R+h)^2}$$

أنشطة وتدريبات

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1- إنّ شدّة حقل الجاذبيّة الأرضيّة على ارتفاع $R=h$ حيث R نصف قطر الأرض هو:

a) $g_h = 2g_0$ b) $g_h = \frac{1}{2}g_0$ c) $g_h = \frac{1}{4}g_0$ d) $g_h = 4g_0$

2- إنّ وحدة ثابت الجاذبيّة العام G في النظام الدولي SI:

a) N.m.kg b) $N.m^2.kg^{-1}$ c) $N.m.kg^{-2}$ d) $N.m^2.kg^{-2}$

3- كتلتان m_1 ، m_2 البُعد بينهما d والقوّة المتبادلة F بينهما نجعل البُعد بينهما مثلي ما كان عليه ونضاعف كتلة كلّ منهما، فتكون القوة المتبادلة F' تساوي:

a) $F' = F$ b) $F' = 2F$ c) $F' = \frac{1}{2}F$ d) $F' = 4F$

4- عندما نرتفع عن سطح الأرض ثلاثة أمثال نصف قطر الأرض R فإنّ شدّة حقل الجاذبيّة على هذا الارتفاع g_h:

a) $g_h = \frac{g_0}{16}$ b) $g_h = \frac{g_0}{3}$ c) $g_h = 3g_0$ d) $g_h = 9g_0$

ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1- انطلاقاً من قانون الجاذبيّة العام استنتج شدّة حقل الجاذبيّة المتولّد عن كتلة نقطيّة في نقطة B تبعد عن الكتلة النقطيّة مسافة d، ثم حدّد عناصر شعاع هذا الحقل. بيّن أثر مضاعفة الكتلة النقطية على شدّة هذا الحقل.

2- هل قوّة الفعل المتبادل بين كرتين من الرصاص، كتلة كلّ منهما 1 kg تختلف عن قوّة الفعل المتبادل بين كرتين من البلاستيك، لهما الكتلة نفسها، والبُعد بين مركزيهما نفسه؟ ولماذا؟

3- كيف تحدّى الإنسان الجاذبية الأرضية؟ اكتب موضوعاً حول ما تشاهده في هاتين الصورتين:

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى: قارن بين شدّة قوّة التجاذب الكتلي وشدّة القوّة الكهربائيّة، بين البروتون والإلكترون في ذرة الهدروجين. علماً أنّ: كتلة البروتون $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg كتلة الإلكترون $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg، نصف قطر ذرة الهدروجين $r_0 = 0.53 \times 10^{-10}$ m، القيمة المطلقة لشحنة الإلكترون $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C.
ماذا تستنتج ؟

المسألة الثانية: حدّد عناصر قوّة جذب القمر للأرض إذا علمت أنّ كتلة الأرض $M_E = 5.97 \times 10^{24}$ kg وكتلة القمر $M_m = 7.36 \times 10^{22}$ kg والمسافة بين مركزيهما 3.84×10^{8} m

المسألة الثالثة: المسافة بين بروتونين في النواة 4×10^{-15} m وكتلة البروتون $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg، والمطلوب:

1- احسب شدّة قوّة التنافر الكهربائي المتبادل بين بروتونين في النواة، علماً أنّ شحنة البروتون $e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$.

2- احسب شدة قوة التجاذب الكتلي بين البروتونين.

3- فسّر تماسك النواة مع وجود هذا التنافر بين بروتوناتها.

المسألة الرابعة: يحمل طالب محفظة كتلتها 3 kg، ويحمل طالب آخر محفظة كتلتها 3 kg والبُعد بين مركزي ثقلي المحفظتين 1 m: المطلوب:

1- احسب قوّة الجاذبيّة بين مركزي ثقلي المحفظتين.

2- احسب قوّة الجاذبيّة لأحد المحفظتين والأرض.

3- قارن النتائج، ماذا تستنتج ؟

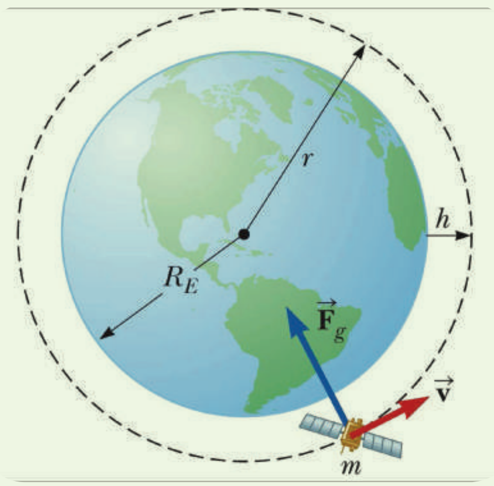
المسألة الخامسة: يدور قمر صنعيّ على ارتفاع 300 km من سطح الأرض، باعتبار الأرض كرة نصف قطرها 6400 km وتسارع الجاذبيّة الأرضيّة $g_0 = 10\ m.s^{-2}$. المطلوب :

1- احسب قيمة تسارع الجاذبيّة على هذا الارتفاع.

2- إذا أصبح الارتفاع عن سطح الأرض نصف ما كان عليه، بيّن بالحساب: أيزداد تسارع الجاذبيّة أم ينقص؟ علّل ذلك؟

الدرس الخامس

القمر الصنعيّ



الأهداف التعليمية

1. يتعرّف حركة القمر الصنعيّ.
2. يستنتج علاقة السرعة الخطيّة للقمر الصنعيّ.
3. يوضّح أن سرعة القمر الصنعيّ تتعلّق بارتفاعه عن سطح الأرض ولا تتعلّق بكتلته.
4. يستنتج دور حركة القمر الصنعيّ.
5. يبيّن أهميّة الأقمار الصنعيّة في الاتصالات.
6. يوضّح دور القمـر الصنعيّ في استكشـاف خامات الأرض.

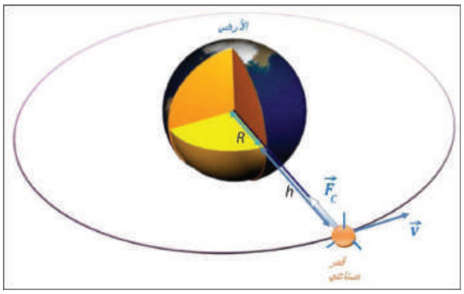
تعدّ الأقمار الصنعيّة التي تدور حول الأرض بحركة دائريّة منتظمة على ارتفاع مناسب جزءاً مهماً في حياتنا اليومية، حيث نستخدمها في مختلف جوانب حياتنا بدون أن نلاحظ ذلك. من توقّعات حالة الطقس، إلى أخبار الساعة حول العالم، والاتصالات الهاتفية الدولية، واتصالات الانترنت وغيرها.

يستطيع القمر الصنعيّ أن يحقق الاتصال مابين عدد من المحطات الأرضيّة خلافاً للكبل الذي يستطيع أن يصل بين محطّتين فقط.

السرعة المدارية للقمر الصنعيّ

نعدّ الأرض كرويّة، نصف قطرها R وأنّ قمراً صنعياً يدور حولها على ارتفاع ثابت h من سطحها يتحرّك بسرعة ثابتة، لنستنتج عبارة سرعته الخطّية، ودوره.

ندرس القوى المؤثّرة في القمر بإهمال قوى مقاومة الهواء بسبب ارتفاعه الكبير عن سطح الأرض.



الشكل 1 - 5 - 1
القوّة المؤثّرة في قمر صنعيّ تتجه نحو مركز الأرض

إنّ مسار القمر دائرة مركزها مركز الأرض o ، ويبدو القمر ساكناً على مداره بالنسبة إلى مراقب داخلي مرتبط بالقمر الصنعيّ تحت تأثير قوتين:

- قوّة جذب الأرض للقمر: $F = m g_h$
- قوّة العطالة النابذة الناجمة عن دوران القمر بحركة منتظمة حول الأرض: $F_c = m a_c$

تبقى سرعة القمر على مداره ثابتة القيمة عندما:

$$F = F_c \Rightarrow m g_h = m a_c$$

$$\Rightarrow g_h = a_c \Rightarrow g_h = \frac{v^2}{(R+h)} \Rightarrow$$

$$v^2 = g_h (R+h) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

أمّا قيمة g_h على مسار القمر فترتبط مع قيمتها على سطح الأرض g_0 بالعلاقة:

$$g_h = g_0 \frac{R^2}{(R+h)^2}$$

نعوّض في (1):

$$v^2 = g_0 \frac{R^2}{(R+h)^2}(R+h) \Rightarrow$$

$$\boxed{v = R\sqrt{\frac{g_0}{(R+h)}}}$$

وهي علاقة السرعة الخطية (المداريّة) للقمر الصنعي.

زمن دور حركة القمر:

ترتبط السرعة الخطّية للقمر بالسرعة الزاويّة بالعلاقة:

$$v = \omega (R+h) \Rightarrow$$

$$\omega = \frac{v}{(R+h)} \Rightarrow$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\boxed{T = 2\pi \frac{(R+h)}{v}}$$

هل تعلم؟ أنّ القمر الصنعيّ لا يحمل رائد فضاء، إنّما المركبة الفضائيّة هي التي تحمل روّاد الفضاء.

لاحظ أنّ: سرعة القمر الصنعيّ تكون ثابتة من أجل ارتفاع معيّن $h = const$ ، ولتغيير الارتفاع يجب تغيير قيمتها. ولا تتعلّق السرعة بكتلة القمر الصنعيّ m .

بقاء قمر صنعيّ فوق محطة أرضيّة

تتشارك دول العالم في نظم الاتصالات الفضائيّة، ومن أجل ذلك توضع أقمار صنعيّة في مدارات مخصصة تبقى ثابتة بالنسبة إلى محطة أرضيّة. ما الغاية من ذلك؟ هل هي لدراسة الأحوال الجويّة أم لدراسة ظواهر فيزيائيّة معيّنة، أم للاتصالات فقط؟

حقيقة الأمر، يبقى القمر الصنعيّ فوق المحطة الأرضيّة لتحقيق هذه الغايات وأكثر. فما شروط بقائه فوق محطّته الأرضيّة؟

- أن يكون دور القمر الصنعيّ T_s مساوياً دور الأرض T_G أيّ:

$$T_G = T_s$$

- أن يرسم مساراً دائريّاً في مستوي خط الاستواء، مركزه مركز الأرض.
- أن تكون جهة دورانه مع جهة دوران الأرض نفسها.

هل تعلم؟

أنّه لتغطية الاتصالات بين دول العالم كافّة يجب وضع ثلاثة أقمار صنعيّة موزّعة بانتظام.

أهميّة الأقمار الصنعيّـة:

✴ في مجال الاتصالات:

إنّ الحاجة لنقل المعلومات، وتزاحم الأخبار، وسرعة الاستجابة لبثّها، جعل الاعتماد على البث الفضائي لا بدّ منه رغم كلفته الباهظة. حيث لا يعوق القمر الصنعيّ المسافة أو الموقع. لأنّ الموجه الكهرطيسيّة التي تحمل المعلومات تُوجَّه نحو القمر الصنعيّ الذي بدوره يعيد بثّها نحو اتجاه معيّن في أيّ مكان من الكرة الأرضيّة بسرعة الضوء.

يستخدم القمر الصنعيّ هوائيّات ضخمة تعتمد على تواترات متعددة.

استكشف: من أين يستمدّ القمر الصنعيّ طاقته الكهربائيّة؟

الأقمار الصناعية والمناخ:
بعد أن استطلع البحارة والمستكشفون كوكبنا، نعمل اليوم على وضع خريطة تحدد مكانه في الفضاء. وتقوم الأقمار الصناعية في مدار الأرض، بمهمة المراقبة عنا. تعزز التكنولوجيا المنافسة في عالم يسارع في التغيير. تعتمد أنظمة الاتصالات على الأقمار الصناعية لتسرع في نقل المعلومات حول العالم. تعزز أقمار الأبحاث مفاهيمنا حول طريقة عمل الكوكب. ينطلق ميتيوسات، وهو قمر صناعي للمناخ، إلى ارتفاع ست وثلاثين ألف كيلومتر. يعلق على سرعة المدار الفلكي، فيبدو أنه يدور فوق خط الاستواء. تعرض الميتيوسات علينا ظروف المناخ العام. الهواء الساخن الذي يصعد من خط الاستواء، يتجه شمالا وجنوبا، والغيوم الكثيفة تحمل حرارة خط العرض. تسجل الأقمار الصناعية كل التفاصيل؛ لتبسط المعلومات المعقدة من قبل اختصاصيين عبر التلفزة والصحف. التنبؤ الزمني في الإعصار يساعدنا على التغطية، الرياح بسرعة ثلاثمائة كيلومتر في الساعة، وفقدان سبل المواصلات، والحوادث والموت. هذا ما يبدو عليه الحال بعد إعصار في بنغلادش. لا نستطيع وقف الإعصار، ولكن نستطيع التحكم بالفيضانات. يمكن للمهندسين، من خلال الأقمار الصناعية، أن يحددوا أفضل أماكن الحواجز والسدود، التي تنقذ حياة الكثيرين وأراضيهم. هذه انطلاقة توبيكس بوسيدون. صور هذا القمر الصناعي الكرة الأرضية من الفلك. ولكنه يهتم بالمحيط وحده. ويقيس المتغيرات في مقاييس البحار بدقة أربعة فاصلة ثلاثة سنتيمترات.

✴ في مجال استكشاف خامات الأرض:

توفّر صور الأقمار الصنعيّة من خلال البيانات الدورية المنتظمة مسحاً جيولوجيــاً عن موارد الأرض مــن نفط وثروات معدنية متنوعة، حيث تستفيد منها مراكز البحوث والدراسات العلميّة.

يسمى هذا البحث بالحس الفائق، وهو يحصد موسما غنيا. خلال شهر واحد، حمل توبيكس بوسيدون من المعلومات حول البحار، أكثر مما حملته كل السفن والبحارة على مدار مائة عام. المحيطات مفتاح لمناخنا. إذ إنّ الأمتار الثلاثة العليا منها، تحتفظ بنسبة سخونة موازية، لكل ما في الغلاف الخارجي بكامله. يساعد تبادل هذه السخونة بين المحيطات والغلاف الخارجي على تحديد المناخ لدينا. لهذا فبمراقبة التيارات والحرارة، يمكن أن نتنبأ بالمناخ. نتعرف على حرارة المحيط بالمتغيرات في مستويات البحر. فإذا ما كانت دافئة، تتمدد البحار وترتفع، أما إذا كانت باردة، فيهبط المحيط. تم اكتشاف ظاهرة النينيو في المحيط الهادئ عبر القمر الصناعي. حين يهاجم النينيو، يهبط تبادل الرياح، والمياه الدافئة، الحمراء هنا، تنساب شرقا بدل الغرب.

ما يجب تذكّره

- يحقّق القمر الصنعيّ الاتصال بين المحطات الأرضيّة، مما يسهّل تبادل المعلومات بشكل آني.
- يبقى القمر الصنعيّ متوازناً على مداره تحت تأثير قوّتي جذب الأرض له وقوة العطالة النابذة الناجمة عن دوران القمر الصنعيّ حول الأرض.
- تعطى السرعة المدارية للقمر الصنعيّ بالعلاقة:

$$v = R\sqrt{\frac{g_0}{R+h}}$$

- يعطى دور حركة القمر الصنعيّ بالعلاقة:

$$T = 2\pi\frac{(R+h)}{v}$$

- لبقاء القمر الصنعيّ فوق محطة أرضيّة يجب توفّر ثلاثة شروط:

1- دوران بنفس جهة دوران الأرض.

2- أن يكون دور القمر يساوي دور حركة الأرض.

3- مدار القمر يقع في مستوي خط الاستواء.

أنشطة وتدريبات

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1- إذا كان ارتفاع القمر الصنعيّ عن سطح الأرض $R = h$ فتكون شدّة حقل الجاذبيّة على هذا الارتفاع:

a) $g_h = g_0$

b) $g_h = \frac{g_0}{2}$

c) $g_h = 2g_0$

d) $g_h = \frac{g_0}{4}$

2- إنّ دور حركة القمر الصنعيّ هو:

a) $T = \frac{2\pi}{v}(R+h)$

b) $T = \frac{2\pi}{v}(R-h)$

c) $T = \frac{v}{2\pi}(R+h)$

d) $T = 2\pi v (R-h)$

ثانياً:اكتب موضوعاً حول الأفكار الآتية مستعيناً بمدرسك وبما يتوفّر لديك من مراجع:

1- ناقش مع مدرّسك أنّ الأقمار الصنعيّة المستخدمة في نظام تحديد الموقع (GPS):

a- هل هي متحرّكة أم ثابتة بالنسبة لموقع محدّد على سطح الأرض؟

b- هل هي على ارتفاعات عالية مقارنة مع نصف قطر الأرض؟

2- الأقمار المستخدمة في البثّ التلفزيوني:

a- هل هي متحرّكة أم ثابتة بالنسبة لموقع محدّد على سطح الأرض؟

b- هل هي على ارتفاعات عالية مقارنة مع نصف قطر الأرض؟

3- في مركبة الفضاء أثناء دورانها حول الأرض لا يشعر رائد الفضاء بوزنه. فسّر سبب ذلك.

ثالثاً: حل المسائل الآتيـة:

المسألة الأولى: يدور قمر صنعيّ كتلته 200 kg في مسار دائري على ارتفاع $h = R$ من سطح الأرض التي نعتبرها كرويّة نصف قطرها $R = 6400$ km . المطلوب:

1- استنتج علاقة السرعة الخطّية للقمر على مداره بإهمال تأثير الهواء، واحسب قيمتها.

2- أوجد دور حركة القمر، واحسب قيمته.

3- احسب قوّة الجذب المركزيّة المؤثّرة في القمر خلال دورانه بالسرعة السابقة.

المسألة الثانية: يدور قمر صنعيّ بحركة دائريّة منتظمة حول الأرض على ارتفاع $h = 3600\ \text{km}$ وباعتبار أنّ الأرض كرة نصف قطرها $R = 6400\ \text{km}$ وقيمة حقل الجاذبيّة الأرضيّة على سطحها. بفرض $g_0 = 10\ \text{m.s}^{-2}$ وبإهمال تأثير الهواء، فالمطلوب:

1- استنتج علاقة السرعة الخطيّة للقمر على مداره بإهمال تأثير الهواء، واحسب قيمتها.

2- احسب دور حركة هذا القمر.

3- هبط القمر خلال إحدى دوراته ارتفاع $\Delta h = -500\ \text{m}$ وبقيّ مساره دائريّاً. أوجد التغيّر في السرعة الخطيّة للقمر بدلالة T ، Δh واحسب قيمته.

القذائف

الأهداف التعليمية

1. يتعرّف القذيفة.
2. يدرس حركة القذيفة.
3. يميّز بين حالات متعدّدة لمسار القذيفة.
4. يذكر تطبيقات القذائف.

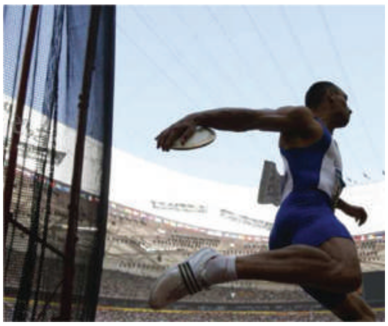
يتنافس الرياضيّون للحصول على الميداليّات الذهبيّة في مسابقة رمي القرص، حيث يكون المتسابق الذي يستطيع رمي القرص لمسافة أفقيّة أبعد هو الفائز. وهذا ما يحتاج إلى البراعة التي تتجلى في أمرين أساسيين هما:

1- اختيار زاوية رمي مناسبة.

2- تزويد القرص بسرعة ابتدائيّة مناسبة.

لذلك فإنّ رامي القرص يحتاج إلى تزويد القرص بسرعة ابتدائية مناسبة، ويجب أن تتمتّع مادّة القرص بكثافة كافية للتغلب على مقاومة الهواء لحركته، وهذا ما يشبه حركة القذيفة.

فما القذيفة؟ وما طبيعة حركتها؟ هذا ما سندرسه في هذا الدرس.



الشكل 1 - 6 - 1
إنّ زاوية رمي القرص وسرعته عاملان حاسمان في هذه اللعبة

تعريف القذيفة:

هي جسم ماديّ أبعاده صغيرة كتلته m ، مزوّد بسرعة ابتدائيّة $\overrightarrow{v_0}$ ، كثافته كبيرة بحيث يُهمل تأثير الهواء فيه أمام قوّة ثقله.

يرسم أثناء حركته مساراً أبعاده صغيرة، بحيث نعتبر حقل الثقالة $\overrightarrow{g}$ منتظماً، ويمكن تحقيق ذلك بدراسة مركز عطالة الجسم.

دراسة حركة القذيفة:

بما أنّ القذيفة مزوّدة بسرعة ابتدائيّة $\overrightarrow{v_0}$ وهي تخضع إلى تأثير قوة ثقلها $\overrightarrow{W}$ فقط:

$$\overrightarrow{F} = \overrightarrow{W} \Rightarrow m\overrightarrow{a} = m\overrightarrow{g} \Rightarrow \overrightarrow{a} = \overrightarrow{g} = \overrightarrow{const}$$

ندرس الحركة على المحورين: $\overrightarrow{ox}$ ، $\overrightarrow{oy}$ باعتبار أنّ نقطة القذف مبدأ للفواصل، وأنّ لحظة القذف مبدأ للزمن.

أ- على المحور الأفقي $\overrightarrow{ox}$: لا يوجد تأثير لحقل الجاذبيّة الأرضيّة على هذا المحور

$$g = 0 \qquad \Rightarrow \qquad a_x = 0$$

بالتالي فإنّ حركة مسقط القذيفة هي مستقيمة منتظمة يحدّدها التابع الزمني:

$$\overline{x} = \overline{v}_{0_x}\, t$$

ب- على المحور الشاقولي $\overrightarrow{oy}$: يوجد تأثير لحقل الجاذبيّة الأرضيّة حيث: $\overline{a}_y = \overline{g} = const$

حركة المسقط هي حركة مستقيمة متغيّرة بانتظام توابعها، كما مرّ معنا، هي:

$$(1) .... \overline{v}_y = \overline{g}\, t + \overline{v}_{0_y}$$

$$(2) .... \overline{y} = \frac{1}{2}\overline{g}\, t^2 + \overline{v}_{0_y}\, t$$

المناقشة:

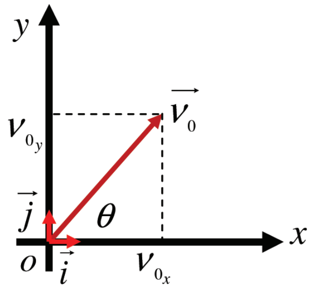
1- إذا كان شعاع السرعة الابتدائيّة $\overrightarrow{v_0}$ يميل بزاوية θ عن المحور الأفقي $\overrightarrow{ox}$ ، فالقذف عندئذٍ يدعى **بالقذف المائل**، وتدعى θ بزاوية

الرمي ويكون المسار في مستوٍ شاقولي يحوي على $\vec{v}_0$ و $\overrightarrow{ox}$ ويسمى مستوي الرمي الشاقولي.

لشعاع السرعة الابتدائيّة $\vec{v}_0$ مسقطان كما في الشكل:

$$v_{0_x} = v_0 \cos\theta$$

$$v_{0_y} = v_0 \sin\theta$$



الشكل 2 - 6 - 1
مركبتا شعاع السرعة

وتصبح توابع الحركة على المحور:

$\overrightarrow{oy}$	$\overrightarrow{ox}$
$(2)............\bar{v}_y = \bar{g}\,t + v_0 \sin\theta$	$(1).......\ \bar{x} = (v_0 \cos\theta)\, t$
$(3)...........\bar{y} = \frac{1}{2}\bar{g}\,t^2 + (v_0 \sin\theta)t$	

معادلة حامل المسار:

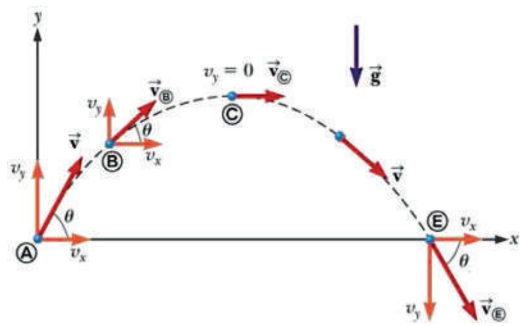
هي معادلة تحوي على $\boldsymbol{x}$ و $\boldsymbol{y}$ وخالية من الوسيط الزمني $\boldsymbol{t}$ ويمكن استنتاجها من حذف الوسيط $\boldsymbol{t}$ من توابع $\bar{x}$ و $\bar{y}$ من العلاقة (1) نجد:

$$t = \frac{\bar{x}}{v_0 \cos\theta}$$

نعوّض في (3) فنجد:

$$\bar{y} = \frac{1}{2}\bar{g}\frac{1}{v_0^2 \cos^2\theta}x^2 + v_0 \sin\theta \frac{\bar{x}}{v_0 \cos\theta}$$

$$\boxed{\bar{y} = \frac{\bar{g}}{2v_0^2 \cos^2\theta}x^2 + \bar{x}\tan\theta}$$



الشكل 3 - 6 - 1
يتغيّر شعاع السرعة في كل نقطة من المسار

تمثّل معادلة قطع مكافئ، فالمسار محمول على قطع مكافئ.

المدى الأفقي:

هو المسافة الأفقية بين نقطة القذف ونقطة تلاقي مسار القذيفة مع المحور $\overrightarrow{ox}$.

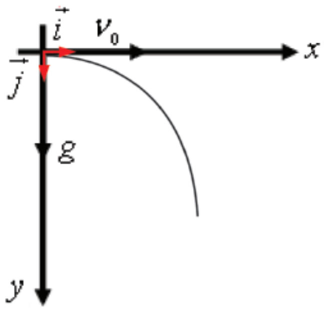
يمكن حسابه بجعل $\bar{y} = 0$ في معادلة حامل المسار أو بجعل $\bar{y} = 0$ في المعادلة (3) ونحسب الزمن $\boldsymbol{t}$ ثمّ نبدل عنه في المعادلة (1) فنحصل على قيمة المدى الأفقي x.

ذروة المسار:

هي أعلى نقطة تصلها القذيفة في مسارها. وهنا نلاحظ أنّ مسقط شعاع السرعة على المحور $\overrightarrow{oy}$ معدوم، كما في الشكل: $v_y = 0$

وبالتالي تصبح السرعة عند الذروة: $v = v_{0_x} = v_0 \cos\theta$

2- إذا كانت السرعة الابتدائية للقذيفة أفقية، فإنّ القذف يدعى أفقياً وتكون $\theta = 0$



الشكل 4 - 6 - 1

القذف الأفقي

$$v_{0_x} = v_0 \cos\theta = v_0$$
$$v_{0_y} = v_0 \sin\theta = 0$$

لتبسيط دراسة هذا النوع من القذف نوجّه المحور $\overrightarrow{oy}$ نحو الأسفل، بحيث يصبح $a_y = g$ ، وتصبح التوابع على المحورين بالشكل:

$\overrightarrow{ox}$	$\overrightarrow{oy}$
$(1) \ldots\ldots\ \overline{x} = \overline{v_0}\, t$	$(2) \ldots\ldots\ldots\ldots \overline{v}_y = g\, t$
	$(3) \ldots\ldots\ldots\ldots \overline{y} = \frac{1}{2} g\, t^2$

3- إذا كانت السرعة الابتدائيّة للقذيفة شاقولية عندها تكون زاوية الرمي $\theta = \frac{\pi}{2}$ rad فتصبح:

$$v_{0_x} = 0$$
$$v_{0_y} = v_0$$

تقتصر الدراسة في هذه الحالة على المحور الشاقولي $\overrightarrow{oy}$ والتوابع هي:

الشكل 5 - 6 - 1

القذف الشاقولي

$$\overline{a} = \overline{g}$$
$$\overline{v} = \overline{g}\, t + \overline{v_0}$$
$$\overline{y} = \frac{1}{2} \overline{g}\, t^2 + \overline{v_0}\, t$$

ويمكن استخدام العلاقة الخالية من الزمن:

$$v^2 - v_0^2 = 2\, \overline{g}\, \overline{y}$$

مثال محلول (1):

نقذف كرة صغيرة من قمّة بناء شاقولي يرتفع عن الأرض $25\ m$ بسرعة ابتدائيّة $20\sqrt{2}\ \ m.s^{-1}$ نحو الأعلى، يصنع حاملها زاوية 45° مع المحور $\overrightarrow{ox}$ في مكان تبلغ فيه قيمة تسارع الجاذبيّة الأرضية $g = 10\ m.s^{-2}$. المطلوب:

1- ادرس حركة القذيفة واكتب توابعها الزمنية على المحورين $\overrightarrow{ox}$ ، $\overrightarrow{oy}$، واستنتج معادلة حامل المسار.

2- احسب الزمن اللازم لتصل القذيفة إلى الأرض بدءاً من لحظة القذف.

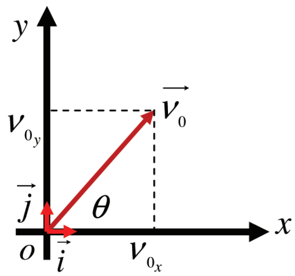
3- احسب بُعد نقطة التقاء القذيفة بالأرض عن مسقط نقطة القذف أسفل البناء.

4- احسب المدى الأفقي للقذيفة.

5- احسب السرعة عند الذروة، واحسب ارتفاع تلك الذروة عن سطح الأرض.

الحل:

1- $$\overrightarrow{v_0}\begin{cases} v_{0_x} = v_0 \cos\theta = 20\sqrt{2}\times\dfrac{1}{\sqrt{2}} = 20\ \ m.s^{-1} \\ v_{0_y} = v_0 \sin\theta = 20\sqrt{2}\times\dfrac{1}{\sqrt{2}} = 20\ \ m.s^{-1} \end{cases}$$



الشكل 6 - 6 - 1
مسقط شعاع السرعة الابتدائية

تخضع الكرة أثناء حركتها إلى تأثير قوّة ثقلها $\overrightarrow{W}$ فقط:

$$\sum \overrightarrow{F} = \overrightarrow{W} \Rightarrow m\,\overrightarrow{a} = m\,\overrightarrow{g} \Rightarrow \overrightarrow{a} = \overrightarrow{g} = \overrightarrow{const}$$

ندرس الحركة على المحورين: $\overrightarrow{ox}$ ، $\overrightarrow{oy}$ باعتبار أنّ نقطة القذف مبدأ للفواصل وأنّ لحظة القذف مبدأ للزمن.

$\overrightarrow{ox}$	$\overrightarrow{oy}$
$\overline{a}_x = 0$	$\overline{a}_y = -g = -10\ m.s^{-2}$
الحركة مستقيمة منتظمة	الحركة مستقيمة متغيرة بانتظام
$v_x = v_{0_x} = 20\ \ m.s^{-1}$	$\overline{v}_y = \overline{g}\,t + \overline{v}_{0_y}$
$\overline{x} = \overline{v}_0\ t$	$\overline{v}_y = -10t + 20\ ....(2)$
$\overline{x} = 20\,t\ ....(1)$	$\overline{y} = \frac{1}{2}\overline{g}\,t^2 + \overline{v}_{0y}\,t$
	$\overline{y} = -5t^2 + 20t\ ....(3)$

1- استنتاج معادلة حامل المسار:

من المعادلة (1) نجد: $t=\frac{\overline{x}}{20}$

بالتعويض في المعادلة (3) ينتج:

$$\overline{y}=-\frac{1}{80}x^2+\overline{x} \quad .... (4)$$

حامل المسار قطع مكافئ.

2- لحساب الزمن: عند وصول القذيفة إلى سطح الأرض:

$\overline{y}=-25\ \text{m}$ نعوض في المعادلة (3)

$$-25=-5t^2+20t$$

$$5t^2-20t-25=0$$

$$t^2-4t-5=0$$

$$(t-5)(t+1)=0$$

بالحلّ نجد:

$t_1=-1\ \text{s}$ مرفوض

$t_2=5\ \text{s}$ مقبول

3- حساب المسافة على الأرض:

$x=?$ عندما $t=5\ s$ نعوّض في المعادلة (1):

$$x = 20 \times 5 = 100\ \text{m}$$

4- عند بلوغ المدى الأفقي: $y=0$ نعوّض في المعادلة (4):

$$0=-\frac{1}{80}x^2+x$$

$$\frac{1}{80}x^2=x$$

$$x = 80\ \text{m}$$

5- حساب السرعة عند الذروة، وحساب ارتفاع الذروة عن سطح الأرض:

عند الذروة $v_y=0$

$$v=\sqrt{v_x^{\ 2}+v_y^{\ 2}} \Rightarrow$$

$$v=v_x=20\ \text{m.s}^{-1}$$

نعوّض عن $v_y = 0$ في المعادلة (2):

$$0 = -10t + 20 \Rightarrow$$

$$10t = 20 \Rightarrow t = 2\ \text{s}$$

نعوّض عن $t = 2$ s في المعادلة (3):

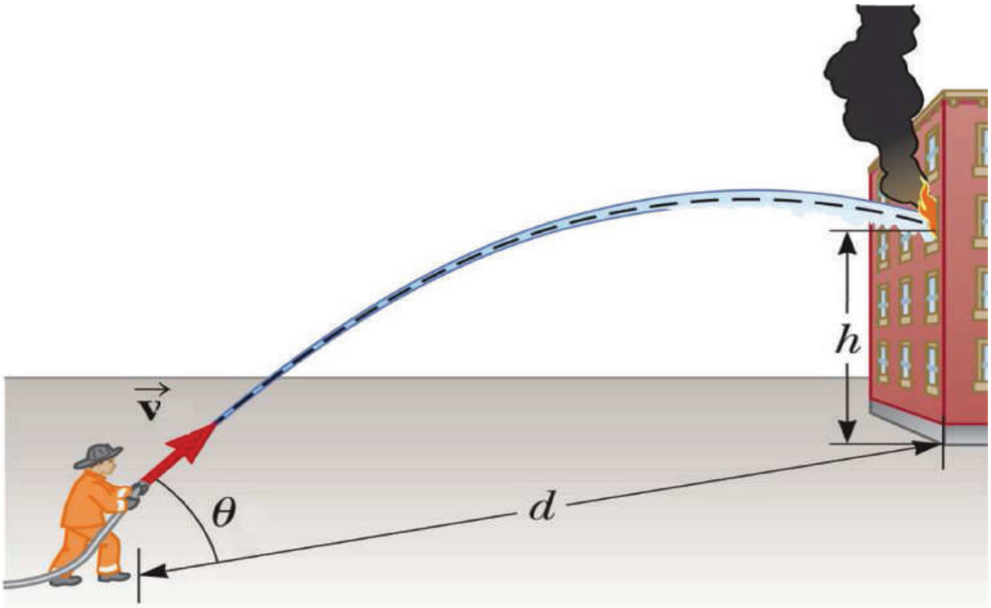
$$\bar{y} = -5 \times (2)^2 + 20 \times 2$$

$$\bar{y} = 20\ \text{m}$$

$$\bar{y} = 20 + 25 = 45\ \text{m}$$

تطبيقات القذائف:

لحركة القذائف أهميّة في حياتنا العملية، فرجال الإطفاء يعتمدون في عملهم لإطفاء الحرائق على تحديد زاوية خرطوم المياه وضخّ المياه بسرعة ابتدائيّة مناسبة لتصل إلى الطوابق العليا.



الشكل 7 - 6 - 1
خبرة رجل الإطفاء تسمح له بالتوجيه الأمثل لخرطوم المياه

- إنّ بعض أنواع الري في الزراعة تعتمد المبدأ نفسه، وذلك للحد من هدر المياه وللتوفير الاقتصادي (توفير الخراطيم).
- يعتمد لاعبو الجمباز على سرعتهم الابتدائيّة عند قذف أجسامهم نحو الأعلى، وكذلك لاعبو القذف بالزانة ليجتازوا ارتفاعات عالية.

ما يجب تذكّره

- القذيفة هي جسم صغير الأبعاد مزوّد بسرعة ابتدائيّة وخاضع لتأثير قوّة ثقله فقط.
- يتحدّد نوع القذف بحسب زاوية الرمي θ التي يصنعها شعاع السرعة الابتدائيّة $\overrightarrow{v_0}$ مع المحور الأفقي $\overrightarrow{ox}$.
- في القذف المائل والأفقي تكون حركة مسقط القذيفة على المحور $\overrightarrow{ox}$ مستقيمة منتظمة تابعها الزمني $\overline{x} = \overline{v}_{0_x} t$، بينما على المحور $\overrightarrow{oy}$ مستقيمة متغيّرة بانتظام توابعها:

$$\overline{v}_y = \overline{g}\, t + \overline{v}_{0_y}$$

$$\overline{y} = \frac{1}{2}\overline{g}\, t^2 + \overline{v_{0y}}\, t$$

- يختلف المدى الأفقي بحسب زاوية الرمي من أجل السرعات الابتدائيّة نفسها، ويكون أعظم مدى أفقي من أجل زاوية رمي $\theta = 45^\circ$.
- ذروة المسار هي أعلى نقطة تصلها القذيفة.
- تكون سرعة القذيفة أعظم ما يمكن لحظة ملامستها الأرض: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$

أنشطة وتدريبات

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1- تتحرّك طائرة أفقياً بسرعة ثابتة على ارتفاع h عن سطح الأرض، وفي لحظة ما تسقط منها قنبلة تكون حركتها بالنسبة لمراقب خارجي ساكن بالنسبة لسطح الأرض:

a) سقوطاً حرّاً   b) قذفاً مائلاً   c) قذفاً شاقوليّاً   d) قذفاً أفقيّاً

2- تكون حركة القذيفة على مسارها في القذف المائل:

a) منحنية منتظمة   b) منحنية متغيّرة بانتظام

c) منحنية مستوية متغيّرة   d) دائريّة منتظمة

3- عند الذروة في القذف المائل تكون سرعة القذيفة:

a) v_x b) v_y c) v_0 d) v_{0y}

4- في القذف المائل نحو الأعلى لحظة وصول القذيفة إلى مداها الأفقي يكون:

a) $v_x = 0$ b) $v_y = 0$ c) $v = v_0$ d) $v = 0$

5- إذا كان الزمن اللازم لبلوغ الذروة في القذف المائل نحو الأعلى يساوي t_1 فإنّ زمن الوصول إلى نقطة المدى الأفقي t_2:

a) $t_2 = \frac{1}{2}t_1$ b) $t_2 = \frac{1}{4}t_1$ c) $t_2 = 2t_1$ d) $t_2 = 4t_1$

ثانياً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى: نقذف كرة أفقياً من ارتفاع معين h ، وفي اللحظة نفسها والارتفاع نفسه، نترك كرة أخرى لتسقط سقوطاً حرّاً، فتصلان إلى سطح الأرض في اللحظة نفسها. فسّر ذلك باستخدام العلاقات الرياضية المناسبة. هل يتعلّق الأمر بالسرعة الابتدائيّة للقذيفة أم بتغيّر كتلة كل منهما؟

المسألة الثانية: ما الزّاوية التي يجب أن يقذف بها لاعب كرة قدم كرته بسرعة ابتدائيّة $10\sqrt{2}\ m.s^{-1}$ نحو الأعلى لتصل إلى زميله الذي يتحرّك مبتعداً عنه بجهة ورود الكرة بسرعة ثابتة $10\ m.s^{-1}$ على أرض أفقية؟

المسألة الثالثة: يُقذف جسمٌ شاقولياً نحو الأعلى بسرعة ابتدائية $50\ m.s^{-1}$ وحين يعود ساقطاً من الأعلى يصادف حاجزاً أفقياً موضوعاً على بُعد شاقولي $55\ m$ تحت نقطة القذف، فإذا كانت كتلة الجسم $10\ kg$ وتسارع الجاذبيّة الأرضية $g = 10\ m.s^{-2}$ بإهمال تأثير الهواء يُطلب:

1- ادرس حركة الجسم واكتب التوابع الزمنية لحركته.

2- ما أعلى مسافة يصلها الجسم المقذوف عن الحاجز الأفقي.

3- احسب الزمن الذي يستغرقه الجسم ليصل إلى أعلى ارتفاع عن نقطة القذف بدءاً من لحظة القذف.

4- احسب الزمن اللازم للعودة إلى نقطة القذف بدءاً من لحظة القذف. ماذا تلاحظ؟ ولماذا؟

5- احسب السرعة لحظة ملامسة القذيفة للحاجز الأفقي، واحسب الطاقة الحركيّة للجسم المقذوف عندئذٍ.

المسألة الرابعة: ينطلق منطاد شاقولياً نحو الأعلى من السكون من سطح الأرض الأفقية بتسارع ثابت $1\ m.s^{-2}$، وبعد $30\ s$ من لحظة انطلاقه ينفلت حجر صغير من المنطاد، وبإهمال تأثير الهواء، المطلوب:

1- احسب أقصى ارتفاع يصل إليه الحجر عن سطح الأرض علماً أنّ $g = 10\ m.s^{-2}$

2- احسب الزمن الذي استغرقه الحجر ليصل إلى الأرض بدءاً من لحظة الانفلات.

3- احسب سرعة الحجر لحظة ملامسته الأرض.

4- ما سرعة المنطاد بعد $10\ s$ من صعوده؟ وما المسافة المقطوعة خلال ذلك الزمن؟

المسألة الخامسة: نقذف كرة صغيرة بسرعة ابتدائيّة أفقية قيمتها $15\ m.s^{-1}$ من نقطة ترتفع $5\ m$ عن سطح الأرض الأفقية في مكان حيث $g = 10\ m.s^{-2}$ المطلوب:

1- ادرس حركة الكرة بعد قذفها واستنتج معادلة حامل المسار.

2- احسب بُعد نقطة وصول الكرة إلى الأرض عن الشاقول المارّ من نقطة القذف.

3- حدّد عناصر شعاع سرعة الكرة لحظة وصولها إلى الأرض مع الرسم.

4- غاصت الكرة بالأرض وفق حامل شعاع سرعتها لحظة ملامستها الأرض، احسب المسافة التي تقطعها ضمن الأرض وحتّى تقف بفرض أنّ مقاومة الأرض ثابتة وتبلغ شدّتها $325\ N$ ، وأنّ بقية القوى مهملة أمامها. علماً أنّ كتلة الكرة $0.1\ kg$

المسألة السادسة: تتحرّك طائرة وفق مسار أفقي مستقيم على ارتفاع $8000\ m$ عن سطح الأرض الأفقية بسرعة ثابتة $720\ km.h^{-1}$ سقطت منها قذيفة، ثمّ تابعت الطائرة بالسرعة نفسها، وبإهمال تأثير الهواء على القذيفة يطلب:

1- ادرس حركة القذيفة واستنتج معادلة حامل المسار.

2- احسب زمن وصول القذيفة إلى الأرض بدءاً من لحظة سقوطها من الطائرة.

3- احسب بُعد موضع ملاقاة القذيفة للأرض عن شاقول الطائرة لحظة سقوط القذيفة.

4- حدّد موضع الطائرة عند ذلك اللقاء. ماذا تلاحظ؟

5- احسب سرعة القذيفة لحظة ملامستها الأرض. $g = 10\ m.s^{-2}$

المسألة السابعة: تقذف كرة من نقطة تعلو سطح الأرض الأفقية $1\ m$ بسرعة ابتدائيّة نحو الأعلى $\overrightarrow{v_0}$ يميل حاملها على الشاقول بزاوية 60° لتصل الكرة الأرض الأفقية بعد $1\ s$ من لحظة القذف في مكان: $g = 10\ m.s^{-2}$، المطلوب:

1- ادرس حركة القذيفة وأوجد التوابع الزمنية لحركتها بدلالة v_0.

2- أوجد قيمة v_0.

3- أوجد معادلة حامل المسار.

4- احسب المدى الأفقي للقذيفة.

5- احسب بُعد نقطة ملاقاة القذيفة للأرض عن مسقط نقطة القذف.

6- احسب السرعة لحظة ملامسة القذيفة للأرض.

7- ما ارتفاع ذروة المسار عن سطح الأرض الأفقية؟

النشاط: تسارع حركة السقوط الحرِّ والقذف الأفقيّ واحد

الهدف من النشاط:

إثبات أنّ تسارع حركة السقوط الحر والقذف الأفقي واحد

المهارات المرجو اكتسابها:

الملاحظة، التوقّع، العمل التعاوني، القياس، تفسير النتائج

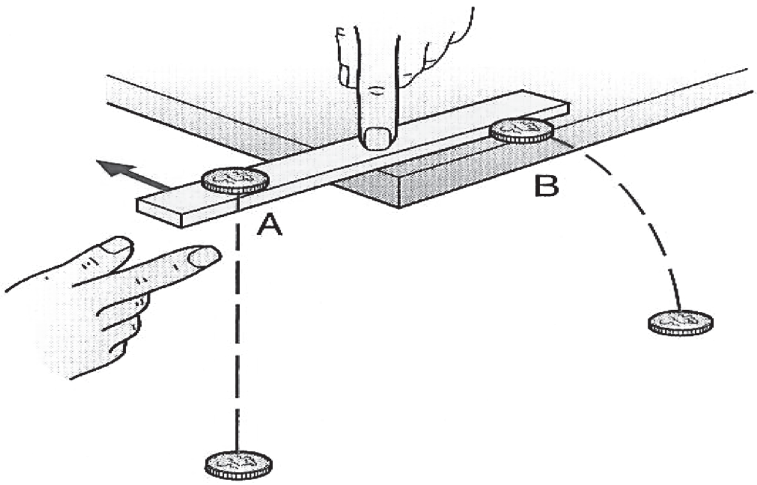
الأدوات المستخدمة:

مسطرة، قطع نقود معدنية.

الإجراءات:

- إذا سقطت قطعة نقود، وقذفت أخرى أفقيّاً فهل تصلان الأرض معاً، ولماذا ؟

قم بإجراء التجربة الآتية:

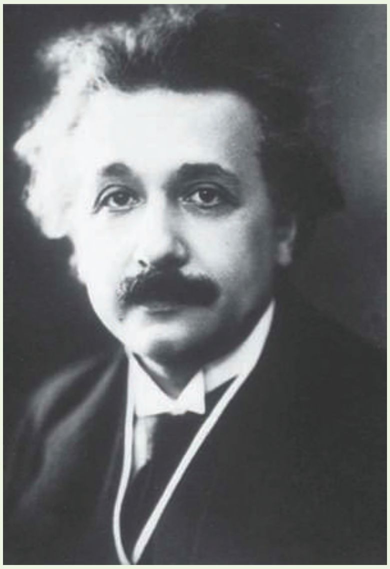


- ضع مسطرة فوق سطح منضدة أفقية بالقرب من حافّتها، وضع قطعتين من النقود إحداهما تلامس المسطرة وقريبة من حافة المنضدة (B)، والثانية فوق المسطرة (A) كما في الشكل، اضغط على المسطرة ثم ادفع نهايتها أفقياً باتجاه السهم بقوة عند ذلك تسقط القطعة (A) سقوطاً حراً بينما (B) تقذف أفقياً. أصغ إلى صوت ارتطام (اصطدام) قطعتي النقود بالأرض، هل ترتطمان باللحظة نفسها ؟

التحليل والاستنتاج:

....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....
....

النسبيّة الخاصّة



الأهداف التعليمية

1. يتعرّف مبادئ النسبيّة الخاصّة.
2. يكتب العلاقة بين الطاقة والكتلة في الميكانيك النسبي.
3. يثمّن جهود العلماء في دراسة حركة الجسيمات السريعة القريبة من سرعة الضوء.

تصف قوانين نيوتن حركة الأجسام التي تتحرّك بسرعاتٍ صغيرة مقارنة بسرعة الضوء، ولكنّ هذه القوانين لا تسمح بدراسة الحركة عندما تبلغ سرعة الأجسام قيماً قريبة من سرعة انتشار الضوء.

إنّ النظريّة النسبيّة الخاصّة تسمح بوصف حركة الأجسام التي تتحرّك بسرعة قريبة من سرعة انتشار الضوء، وهي تُعطي الوصف الدقيق لحركة الأجسام بشكل عام، ويجب ألاّ نفهم من ذلك أنّ قوانين نيوتن خاطئة، ولكن ضمن تقريب السرعات الصغيرة تتطابق قوانين نيوتن مع قوانين النسبيّة الخاصّة.

إذاً: عندما تكون سرعة الجسم قريبة من سرعة انتشار الضوء في الخلاء يكون الخطأ في النتائج كبيراً إذا طبّقنا قوانين نيوتن، وفي هذه الحالة نلجأ إلى الميكانيك النسبي الذي يُفسر الظواهر التجريبية بشكل صحيح من أجل مجال واسع من السرعات من $v = 0$ وحتّى السرعات القريبة من سرعة انتشار الضوء في الخلاء.

ملاحظة: نقول عن الأجسام التي تتحرّك بسرعة قريبة من سرعة الضوء إنّها أجسام نسبية.

يجب أن ننتبه إلى أنّه لا نضطّر إلى استخدام قوانين النسبيّة الخاصّة في حياتنا اليوميّة، حيث تتحرك الأجسام بسرعات صغيرة، وقد لا نستخدمها على الإطلاق في حياتنا، لكننا نستخدم تطبيقات الميكانيك النسبي، كما في الاتصالات عبر الأقمار الصنعيّة وغيرها، غير أنّ العاملين في بعض الأبحاث العلمية قد يضطّرون لاستخدام قوانين الميكانيك النسبي، كما هو الحال في دراسة الجسيمات المسرّعة.

النسبيّة الخاصّة:

نشر أينشتاين عام 1905م نظريّته النسبيّة الخاصّة التي تشمل تفسير ظواهر، مثل تمدّد الزمن، وتقلّص الأطوال في جمل المقارنة المتحرّكة، والعلاقة التي تربط بين الكتلة والطاقة (يمكن للمادة أن تتحول إلى طاقة كما يحدث في المفاعل النووي مثلاً). وعالج أينشتاين في نظريته النسبيّة الخاصّة حركة جمل المقارنة الغاليلية التي تتحرّك بسرعاتٍ ثابتة بالنسبة لجملة مقارنة مرتبطة بمركز المجموعة الشمسية، وهي الجمل التي يطبّق فيها مبدأ العطالة.

مبادئ النظرية النسبيّة الخاصّة:

تعتمد النسبيّة الخاصّة على مبدأين أساسيّين:

1- سرعة انتشار الضوء هي نفسها بالنسبة لأيّ مراقب، بعبارة أخرى سرعة انتشار الضوء مستقلّة عن جملة المقارنة التي يجري فيها القياس.

ولإيضاح ذلك تخيّل نفسك تركب سيارة تسير على طريق مستقيمة بسرعة ثابتة، يتوقّف على الطريق صديق لك ويحمل جهاز ليزر موّجهاً بجهة حركتك، إذا قاس شخص ثالث متوقّف على الطريق سرعة انتشار حزمة الليزر سيجدها مساوية $c \approx 3\times10^{8}\ \mathrm{m.s^{-1}}$ وهي سرعة انتشار الضوء، إذا كان لديك جهاز قياس لسرعة انتشار الضوء وقست سرعة انتشار الضوء وأنت في السيارة (وهي جملة عطالية لأنّها تتحرّك بسرعة ثابتة بالنسبة للجملة المرتبطة بسطح الأرض التي نفترضها عطالية) فستجد أنّ السرعة تساوي أيضاً $c \approx 3\times10^{8}\ \mathrm{m.s^{-1}}$، هذه النتيجة تختلف عمّا تعوّدنا عليه عند تركيب السرعات.

2- تأخذ القوانين الفيزيائية التعبير الرياضي نفسه في جميع جمل المقارنة العطالية.

مثال على ذلك إذا كان لديك في المثال السابق كرتان مشحونتان فإنّ قوّة التأثير المتبادل بين الشحنتين ستكون نفسها، سواء أقمت أنت بقياسها أم قاسها شخص متوقّف على الطريق.

الكتلة والطاقة في الميكانيك النسبي:

1- الكتلة:

الكتلة ثابتة في الميكانيك الكلاسيكي من أجل السرعات الصغيرة أمام سرعة انتشار الضوء في الخلاء، بينما في الميكانيك النسبي فإنّ الكتلة غير ثابتة وهي تزداد بزيادة السرعة.

حيث:

$$m = \gamma m_0$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{(1-\frac{v^2}{c^2})}}$$

- عندما تكون السرعات صغيرة فإنّ v تُهمل أمام سرعة انتشار الضوء c أي تكون:

$$\gamma = 1 \Rightarrow m = m_0$$

- عندما تكون السرعة بجوار سرعة انتشار الضوء $v \approx c$ فإنّ:

$\gamma \to \infty$ أي تزداد الكتلة.

2- الطاقة:

تعطى الطاقة الكلية في الميكانيك النسبي بالعلاقة: $E = \gamma m_0 c^2$

وهي عبارة عن:

1- طاقة سكونية: من أجل $v = 0$ يكون:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{(1-\frac{v^2}{c^2})}} \Rightarrow \gamma = 1$$

$$\Rightarrow E_0 = m_0 c^2$$

وهي الطاقة التي نحصل عليها فيما لو تحولت الكتلة بكاملها إلى طاقة.

2- طاقة حركية:

$$E_k = E - E_0$$

$$E_k = \gamma m_0 c^2 - m_0 c^2$$

$$E_k = (\gamma - 1) m_0 c^2$$

هل يمكن انطلاقاً من العلاقة السابقة التوصّل إلى علاقة الطاقة الحركيّة في الميكانيك الكلاسيكي؟

تؤول هذه العلاقة إلى ما هي عليه في الميكانيك الكلاسيكي $E_k = \frac{1}{2} m_0 v^2$ من أجل $v \ll c$:

لنحسب قيمة γ من قانون التقريب: $(1+\varepsilon)^n \approx 1 + n\varepsilon$:

باعتبار $\varepsilon \ll 1$ فإنّ:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{(1-\frac{v^2}{c^2})}} \Rightarrow \gamma = (1-\frac{v^2}{c^2})^{-\frac{1}{2}} \Rightarrow \gamma = 1 + \frac{v^2}{2c^2}$$

$$\Rightarrow E_k = (1 + \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} - 1) m_0 c^2$$

$$\Rightarrow E_k = \frac{1}{2} m_0 v^2$$

- إنّ الكتلة تكافئ طاقة حيث إنّه في الانشطار النووي تكون كتلة مجموع النوى الناتجة عن الانشطار أقلّ من كتلة مجموع النوى الداخلة في هذا الانشطار، وترتبط الطاقة الناتجة عن ذلك الانشطار E بفرق الكتلة Δm بالعلاقة:

$$\Delta E = \Delta m\, c^2$$

3- كميّة الحركة:

نعلم أنّ كميّة حركة جسم غير نسبي كتلته m_0 يتحرّك بسرعة v تعطى بالعلاقة: $P = m_0 v$

وعندما تصبح حركة الجسم نسبية فإنّ علاقة كمّية حركته تصبح: $P = \gamma m_0 v$

بعض آثار النسبيّة الخاصّة

من النتائج التي تبدو غريبة للنسبيّة الخاصّة: تمدّد الزمن وتقلّص الطول.

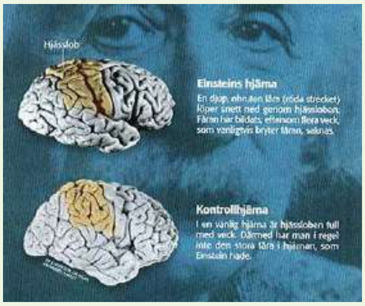
تمدّد الزمن

لنفترض أنّ مراقبين يحمل كلّ منهما ميقاتية لقياس الزمن، الأوّل في مركبة فضائية نفترضها ساكنة، والثاني في مركبة أخرى تتحرّك بسرعة v بالنسبة للأولى. في المركبة الأولى يُجري المراقب الأوّل تجربة تستغرق مدّة محدّدة، يقوم بقياسها باستخدام ميقاتيته فيجد أنّ المدّة تساوي t_1، في أثناء ذلك يقوم المراقب الثاني بمراقبة ما يحدث مستخدماً منظاراً مقرّباً، ويقيس زمن التجربة مستخدماً منظاره فيجد أنّ زمن التجربة يساوي $t_2 = \gamma t_1$.

أي إنّه يرى أنّ الزمن أطول. تُعرف هذه الظاهرة بتمدّد الزمن.

تقلّص الطول:

في المثال السابق نفترض أنّه يوجد في المركبة الأولى مسطرة طولها l_1 توازي سرعة المركبة الثانية، وأنّ المراقب الثاني لديه الوسائل لقياس طولها مستخدماً المنظار الذي يحمله، بالقياس يجد أنّ طول المسطرة يساوي: $l_2 = \dfrac{l_1}{\gamma}$



تطور الدماغ عند الإنسان، أينشتاين نموذجاً

في مجرى محاولة الدينيين للتلاؤم مع المعطيات العلمية، يدعي بعضهم أن عقل الإنسان استثناء عن التطور ودليل على الخلق. غير أن المعطيات العلمية تثبت أن دماغ الإنسان ليس استثناء، وهو خضع ولازال لعملية تتطور دائمة ومستمرة، مثله مثل أي شئ آخر في هذا الكون. من جميل «الصدفة» أن دماغ أينشتاين قد تم حفظه مباشرة بعد موته من اجل إجراء الاختبارات عليه فيما بعد. كان العلماء يناقشون إمكانية الحصول على جواب عن أسباب ذكاء أينشتاين، وفيما إذا كان دماغه سيعطينا الجواب على تساؤلاتنا. الآن استطاع العلماء الكنديون الوصول إلى إثباتات تشير إلى أنّ دماغ أينشتاين كان بالفعل مختلفاً عن الأدمغة العادية. لقد ظهر في دماغه ثلاثة اختلافات اناتومية عن الدماغ العادي (جرت المقارنة مع مجموعة أدمغة تعود إلى 35 رجلاً 56 امرأة). الاختلاف كان بالمقارنة مع جميع الأدمغة بدون استثناء، في منطقة هياسل الدماغية الخاصة بخاصية التفكير الرياضي والتصور الثلاثي الأبعاد. والصورة ترينا دماغ اينشتاين (إلى الأعلى) بالمقارنة مع دماغ نمطي لإنسان عادي.

أي يرى طول المسطرة أقلّ من الطول الذي يراه المراقب الأوّل، وهذا ما يُعرف بتقلّص الطول.

ملاحظة: إنّ الميكانيك النسبي أكثر شمولية ودقّة من الميكانيك الكلاسيكي (ميكانيك نيوتن). وتدلّ القياسات أنّ علاقات الميكانيك الكلاسيكي تبقى صحيحة حتّى السرعة $42 \times 10^{6}\ m.s^{-1}$ بتقريب 1% .

الاختلاف الأول أنّ دماغ أينشتاين كان في منطقة هياسل اعرض 15% عن مجموعة المقارنة. الاختلاف الثاني كان لوجود تناظر في الحجم واضح بين طرفي جبهة هياسل، في الوقت الذي لا يوجد هذا التناظر عند الناس الطبيعيين.
الاختلاف الثالث افتقاد منطقة هياسل الدماغية عند أينشتاين للالتفافات الدماغية في قسم من منطقة هياسل الظاهرة بالخط الأحمر. الباحثون يعتقدون أن عدم وجود الالتفافات الدماغية في هذه المساحة، يمكن أن يكون سببا في إعطاء ارتباط أفضل للخلايا العصبية في المنطقة المعنية.
التشكل الاناتومي الفريد لهذه المنطقة مرتبط بالواجبات المعقدة والمميزة التي تقوم بها هذه المنطقة، وخصوصا التفكير الرياضي والتجريدي والمتعدد الأبعاد.
دماغ أينشتاين كان يتطابق تماما مع التعامل مع هذه القضايا بأفضل السبل، مما ظهر بوضوح في قدراته الفردية المميزة في تشكيل نظرية النسبية، والتعاطي مع فهم قضايا فيزياء الضوء.

مثال محلول (1):

قذيفة كتلتها $10\ g$ وطاقتها الحركيّة $8 \times 10^{+3}\ J$ المطلوب:

1- حساب الزيادة في كتلة القذيفة إذا تحوّلت كامل طاقتها الحركيّة إلى كتلة.

2- حساب الطاقة السكونية للقذيفة وفقاً للميكانيك النسبي.

الحلّ:

1- حساب الزيادة في كتلة القذيفة: $E_k = \Delta E = \Delta m\, C^2$

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{8\times10^{+3}}{9\times10^{16}}$$

$$\Delta m = \frac{8}{9}\times10^{-13}\ \text{kg}$$

2- حساب الطاقة السكونية للقذيفة: $E_0 = m_0\, C^2$

$$E_0 = 10\times10^{-3}\times9\times10^{16}$$

$$E_0 = 9\times10^{14}\ \text{J}$$

مثال محلول (2):

تبلغ الطاقة الحركيّة لإلكترون $16.2 \times 10^{-15}\ J$ المطلوب:

1- حساب الزيادة في كتلة الإلكترون الناتجة عن طاقتها الحركيّة.

2- حساب الزيادة المئوية في كتلة الإلكترون.

علماً أنّ $c = 3 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$ ، $m_e = 9 \times 10^{-31}\ kg$

الحل:

1- حساب الزيادة في كتلة الإلكترون $\Delta E = \Delta m c^2$

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{16.2\times10^{-15}}{9\times10^{16}}$$

$$\Delta m = 1.8\times10^{-31}\ \text{kg}$$

2- حساب الزيادة المئوية في كتلة الإلكترون

$$\frac{1.8\times10^{-31}}{9\times10^{-31}}\times100 = 20\%$$

ما يجب تذكّره

- الكتلة m_0 ثابتة في الميكانيك الكلاسيكي (ميكانيك نيوتن) بينما في الميكانيك النسبي (ميكانيك أينشتاين) الكتلة تزداد بزيادة السرعة.
- تقوم النسبيّة الخاصّة على مبدأين أساسيّين:

1- سرعة انتشار الضوء مستقلّة عن جملة المقارنة التي يجري فيها القياس.

2- تأخذ قوانين الفيزياء التعبير الرياضي نفسه في جميع جمل المقارنة العطالية.

- علاقات الميكانيك النسبي:

أ- الكتلة: $m = \gamma m_0$

حيث: $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{(1-\dfrac{v^2}{c^2})}}$

ب- الطاقة: $E = \gamma m_0 c^2$

الطاقة السكونية: من أجل $v = 0$ يكون:

$E_0 = m_0 c^2$

الطاقة الحركيّة: $E_k = (\gamma - 1) m_0 c^2$

ت- كمّية الحركة: $P = \gamma m_0 v$

تؤول علاقات الميكانيك النسبي إلى ما هي عليه في الميكانيك الكلاسيكي من أجل: $v \ll c$

حيث تصبح الطاقة الحركية: $E_k = \frac{1}{2} m_0 v^2$

وكمّية الحركة تصبح: $P = m_0 v$

- من آثار الميكانيك النسبي أنّ الزمن يتمدّد والطول يتقلص في الجملة المتحركة، مقارنة بالجملة الساكنة التي يجري فيها القياس:

$$t' = \gamma t$$

$$l' = \frac{l}{\gamma}$$

أنشطة وتدريبات

حل المسائل الآتية: (باعتبار سرعة انتشار الضوء $c = 3 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$)

المسألة الأولى: يتفكّك جسيم دقيق إذا وُجد ساكناً في المخبر خلال زمن قدره $\tau = 10^{-6} s$ ، يقوم أحد العلماء بدراسة جسيمات من هذا النوع واردة من الفضاء الخارجي إلى الأرض، ويقيس زمن تفكّكها فيجد $\tau' = 3.2 \times 10^{-6} s$ ، ما سرعة هذه الجسيمات أثناء اقترابها من الأرض؟

المسألة الثانية: إلكترون طاقته الحركيّة في الميكانيك النسبي تساوي ضعف طاقته السكونية المطلوب حساب:

1 – طاقته السكونية.

2 – طاقته الكلية.

3 – كتلته في الميكانيك النسبي.

علماً أنّ $c = 3 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$ ، $m_e = 9 \times 10^{-31}\ kg$

المسألة الثالثة: تبلغ الطاقة الحركيّة لإلكترون E_k ، فإذا تحولت إلى كتلة وكانت الزيادة المئوية في كتلته 15 % والمطلوب حساب:

1 – الزيادة في كتلة هذا الإلكترون.

2 – الطاقة الحركية E_k

المسألة الرابعة: بروتون كتلته السكونية $m_p = 1.67 \times 10^{-27}\ kg$ وطاقته الكلية تساوي ثلاثة أضعاف طاقته السكونية. والمطلوب حساب:

1 – طاقته السكونية.

2 – طاقته الحركيّة في الميكانيك النسبي.

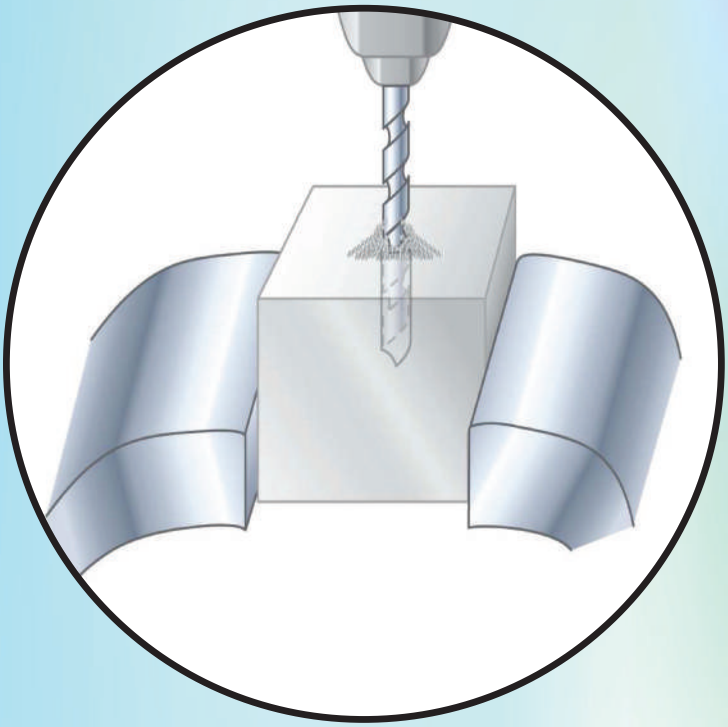
3 – كتلته في الميكانيك النسبي.

المسألة الخامسة: يتحرّك جسم مستطيل الشكل بحيث يكون طوله موازياً لشعاع سرعته $\vec{v}$ ، إذا علمت أنّ طول المستطيل b يرتبط بعرضه a بالعلاقة: $b = 1.01a$. احسب قيمة سرعته v إذا علمت أنّ هذا المستطيل يبدو لمراقب في الجملة الساكنة وكأنّه مربّع.

المسألة السادسة: تتحرّك مركبة فضائية بسرعة ثابتة تساوي $10^{5}\ m.s^{-1}$ بالنسبة إلى الأرض، يضبط رائد فضاء ساعته على ساعة مراقب موجود على سطح الأرض، كم ستتأخر ساعة رائد الفضاء عن ساعة المراقب الموجود على الأرض خلال يوم؟ وذلك بالنسبة للمراقب الموجود على سطح الأرض.

المادّة والحرارة

- التمدّد الحراري للأجسام الصلبة
- تمدّد السوائل بالحرارة
- شذوذ الماء
- الترموديناميك



المادة والحرارة

الأهداف العامّة للوحدة:

يتوقّع من المتعلِّم في نهاية الوحدة أن يكون قادراً على أن:

- يفسّر التمدّد والتّقلّص باستخدام مفهوم الطاقة الداخليّة وتغيّراتها.
- يربط درجة حرارة الجّسم الصّلب بالطاقة الحركيّة الاهتزازية لمكوناته.
- يربط بين حالة المادّة وقوّة الروابط بين مكوّناتها.
- يقارن بين عامل التمدّد الحجميّ الحقيقيّ للسوائل وعامل التمدّد الحجميّ للأجسام الصّلبة.
- يفسّر شذوذ الماء استناداً إلى بنيته الجزيئية والرابطة الهدروجينيّة.
- يتعرّف التّحول التّرموديناميكيّ.
- يتعرّف الآلات الحراريّة.
- يحلّ تمارين ومسائل تطبيقيّة.

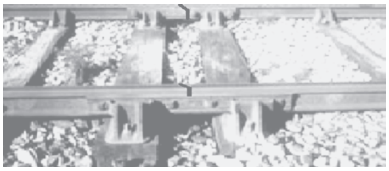
التمدّد الحراريّ للأجسام الصلبة

الأهداف التعليمية

1. يبيّن بالتجربة تمدد الأجسام الصلبة.
2. يحدّد العوامل التي يتوقف عليها التغيّر في طول ساق عند تغيّر درجة حرارتها.
3. يستنتج قانون التمدّد الطولي تجريبيّاً.
4. يوضّح عامل التمدّد الطوليّ ووحدة تقديره.
5. يتعرّف العوامل التي يتوقف عليها التغيّر في حجم جسم صلب عند تغيّر درجة حرارته بمقدار محدّد.
6. يستنتج قانون التمدّد الحجميّ تجريبيّاً.
7. يوضّح عامل التمدّد الحجميّ ووحدته.
8. يستنتج العلاقة بين عامل التمدّد الحجميّ وعامل التمدّد الطوليّ لمادّة معيّنة.
9. يستنتج علاقة تغيّر الكتلة الحجميّة لجسم صلب بتغيّر درجة الحرارة.
10. يتعرّف بعض تطبيقات تمدّد الأجسام الصلبة حراريّاً.

تؤخذ بعض الاحتياطات عند مدّ السكك الحديديّة ومدّ أسلاك خطوط التوصيل الكهربائيّ، وإنشاء الجسور وبناء الأبنية...... وذلك لتفادي ما يطرأ عليها من تغيّرات نتيجة تبدّل درجات الحرارة.

إنّ فهمك لهذا الدرس، وتنفيذ أنشطته يسمح لك بتفسير ذلك.



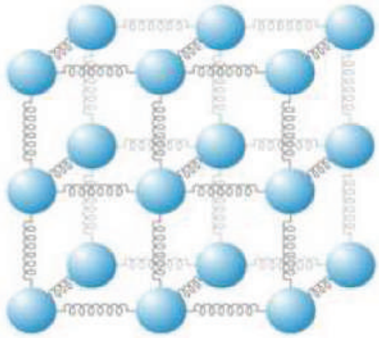
الشكل 1 - 1 - 2
توضع فواصل بين قضبان السكة الحديدية

تمدّد الأجسام الصلبة بالحرارة:

ينتج تمدّد الأجسام الصلبة بالحرارة عن ازدياد المسافات الفاصلة بين الذرّات. حيث تهتزّ الذرّات في درجات الحرارة العادية حول مواضع استقرارها في البلّورة بسعة من رتبة 10^{-11} m . إنّ ارتفاع درجة حرارة الجسم يؤدّي إلى زيادة سعة وسرعة الحركة الاهتزازيّة لذرّاته فتتباعد هذه الذرّات بعضها عن بعض، وتزداد بذلك المسافة الوسطى الفاصلة بين كل ذرّتين، وبمحصّلة هذه الزيادات ينتج تمدّد ملحوظ لهذا الجسم في الاتّجاهات كافّة، وبالتالي يتمدّد حجمه ويتقلّص بانخفاضها.

الشكل 2 - 1 - 2
الفواصل المعدنية لحماية الجسور

ولفهم ذلك بصورة أعمق، انظر إلى الشكل الذي يمثّل التركيب البلّوريّ لجسم في الحالة الصلبة، حيث مثّلت فيه الروابط الكيميائيّة بين الذرّات بنوابض.



الشكل 3 - 1 - 2
الروابط بين ذرات المادة الصلبة

التمدّد الطوليّ:

ساق متجانسة من الحديد طولها L_0 في درجة حرارة $t_0 = 0\ ^\circ C$ نسخّنها إلى الدرجة t_1 فيزداد طولها بمقدار ΔL:

أ- نضاعف الطول الأصليّ ليصبح $2L_0$ ونسخّنها إلى الدرجة t_1 نفسها فيزداد الطول تجريبيّاً بمقدار $2\Delta L$.

إذاً: يتناسب مقدار التغيّر في الطول ΔL طرداً مع الطـــول الأصليّ L_0 .

ب- بتجربة أخرى، ومن أجل الطول الأصليّ نفسه L_0 ، نسخّن الساق السابقة من الدرجة t_1 إلى الدرجة $t_2 = 2t_1$ فإنّ الطول يزداد من ΔL إلى $2\Delta L$.

إذاً: يتناسب مقدار التغيّر في الطول ΔL طرداً مع تغيّر درجة الحرارة Δt .

ت- نعيد التجربة الأولى على ساق متجانسة من الألمنيوم طولها L_0 في درجة حرارة $t_0 = 0\ ^\circ C$ نسخّنها إلى الدرجة t_1 فيزداد طولها بمقدار $\Delta L'$ حيث $\Delta L \neq \Delta L'$.

إذاً: مقدار التمدّد الطوليّ لساق يتوقف على نوع مادتها.

قانون التمدّد الطوليّ للأجسام الصلبة:

من التجارب السابقة يمكن أن نتوصّل إلى عامل التمدّد الطوليّ، وبالتالي إلى العلاقة المحددة لطول الساق في درجة حرارة معينة t.

ساق متجانسة طولها L_1 في الدرجة t_1 نسخّنها إلى الدرجة t_2 فيصبح طولها L_2 وبالتالي يتغيّر طولها بمقدار: $\Delta L = L_2 - L_1$

عندما تتغيّر درجة الحرارة $\Delta t = t_2 - t_1$، وهذا التغيّر يتناسب طرداً مع:

الطول الأصليّ للجسم L_1

تغيّر درجة الحرارة Δt

أي: $\Delta L = const\ L_1\ \Delta t$

يدعى ثابت التناسب عامل التمدد الطوليّ (الخطيّ) ويرمز له بالرمز α ويتعلّق بنوع المادّة.

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta t \quad \Rightarrow$$

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta t}$$

تعريف عامل التمدّد الطوليّ:

عامل التمدّد الطوليّ هو التغيّر في وحدة الأطوال عندما تتغيّر درجة حرارتها درجة مئويّة (سلزيوس) واحدة.

يقدّر بالجملة الدولية بوحدة $°C^{-1}$

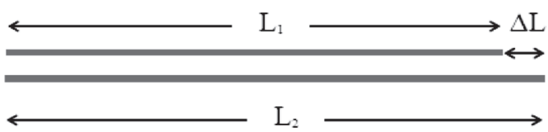
مثال: عامل التمدّد الطوليّ لمعدن الألمنيوم $a = 24 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$

استنتاج قانون التمدّد الطوليّ للأجسام الصلبة:

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta t$$

$$L_2 - L_1 = \alpha L_1 (t_2 - t_1)$$

$$L_2 = L_1 + \alpha L_1 (t_2 - t_1)$$



الشكل 4 - 1 - 2
تختلف الأجسام الصلبة بتمددها الطولي باختلاف نوع المادة

$L_2 = L_1[1 + \alpha (t_2 - t_1)]$ **قانون التمدّد الطوليّ للأجسام الصلبة**

يأخذ القانون أبسط شكل له باعتبار أن:

$t_1 = t_0 = 0$ **عندما** $L_1 = L_0$

$t_2 = t$ **عندما** $L_2 = L$

$$t_0 = 0 \quad \Rightarrow$$

$$L = L_0(1 + \alpha t)$$

مثال محلول (1):

سلك نحاسيّ طوله $L_1 = 50\ m$ عند درجة حرارة $t_1 = 15\ ^\circ C$ أوجد الزيادة في طول السلك ΔL عندما تبلغ درجة حرارته $t_2 = 35\ ^\circ C$ علماً بأن عامل التمدّد الطوليّ للنحاس $a = 17 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$

الحلّ:

$$\Delta L = \alpha L_1 (t_2 - t_1)$$

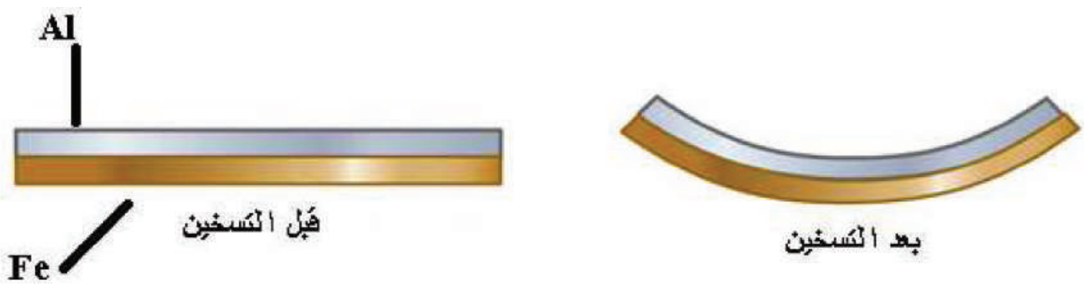
$$\Delta L = 17 \times 10^{-6} \times 50\,(35 - 15)$$

$$\Delta L = 17 \times 10^{-3}\ m$$

القطعة ثنائيّة المعدن (الصفيحة المزدوجة):

تتألف من شريحتين رقيقتين مسطحتين مصنوعتين من معدنين مختلفين بعامل تمدّدهما الطوليّ مثبتتين معاً.

عند تسخين الصفيحة ثنائيّة المعدن بصورة منتظمة تنحني بحيث تكون شريحة المعدن ذي عامل التمدّد الطوليّ الأصغر من داخل الانحناء، لأنّ تمدّدها أقلّ من التمدّد الطوليّ للشريحة الأخرى كما هو موضّح في الشكل المجاور.



من استخداماتها:

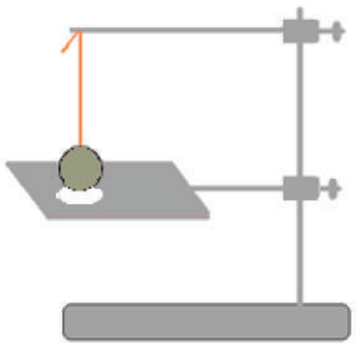
- فتح أو غلق دارات التحكّم الكهربائيّ (الثلاّجات والأفران وأجهزة الإنذار ضدّ الحريق والمكواة ....)
- موازين الحرارة.

تجربة غرافزند

يتألف جهاز التجربة من كرة مصمّتة نحاسيّة قطرها بقدر قطر الفتحة الموجودة على صفيحة النحاس (يمكن أن تمرّ الكرة عبر الفتحة) وهي معلّقة بحامل معدنيّ كما في الشكل.

عند تسخين الكرة فإنها تتمدّد في جميع الاتجاهات لتحافظ على شكلها الكرويّ ولا تمرّ عبر الفتحة.

عند تسخين الكرة والصفيحة معاً فإنّ الكرة تمرّ عبر الفتحة، وهذا يعني أنّ الأجسام الصلبة تتمدّد حجميّاً عندما تسخّن، سواء أكانت مصمّتة أم مجوّفة.



الشكل 5 - 1 - 2
لا تمرّ الكرة المعلقة بحامل معدني من خلال الصفيحة إذا سخنا الكرة لوحدها

التمدّد الحجميّ:

كرة متجانسة حجمها V_1 في الدرجة t_1 نسخّنها إلى الدرجة t_2 فيصبح حجمها V_2 وبالتالي يتغيّر حجمها بمقدار $\Delta V = V_2 - V_1$ وهذا التغيّر يتناسب طرداً مع:

1) الحجم الأصليّ للجسم V_1.
2) تغيّر درجة الحرارة Δt.

أي: $\Delta V = const\ V_1\ \Delta t$

يدعى ثابت التناسب بعامل التمدّد الحجميّ ويرمز له بالرمز γ ويتعلق بنوع المادّة.

$$\Delta V = \gamma V_1\ \Delta t \quad \Rightarrow$$

$$\boxed{\gamma = \frac{\Delta V}{V_1\ \Delta t}}$$

تعريف عامل التمدّد الحجميّ:

هو التغيّر في وحدة الحجوم عندما تتغيّر درجة حرارتها درجة مئوية واحدة. وتقاس في الجملة الدولية SI بوحدة $^{\circ}C^{-1}$

$$\Delta V = \gamma V_1 \Delta t$$

$$V_2 - V_1 = \gamma V_1 (t_2 - t_1)$$

$$V_2 = V_1 + \gamma V_1 (t_2 - t_1)$$

ومنه نجد أنّ:

قانون التمدّد الحجميّ للأجسام الصلبة $V_2 = V_1[1 + \gamma (t_2 - t_1)]$ **يأخذ القانون أبسط شكل له عندما:**

$$t_0 = 0 \Rightarrow$$

$$V = V_0(1 + \gamma t)$$

الشكل 6 - 1 - 2
التمدد الحجمي للأجسام

مثال محلول (2):

كرة معدنيّة معامل التمدّد الحجميّ لمادتها $\gamma = 25\times10^{-6}\ ^{\circ}C^{-1}$ احسب مقدار ارتفاع درجة حرارتها المسبّب لازدياد حجمها بمقدار 0.001 من حجمها الأصليّ.

الحلّ:

$$\Delta V = \gamma V_1 \Delta t$$

$$0.001 V_1 = 25\times10^{-6} V_1 \Delta t$$

$$\Delta t = 40\ ^{\circ}C$$

استنتاج العلاقة بين عامل التمدّد الحجميّ وعامل التمدّد الطوليّ:

متوازي مستطيلات معدنيّ متجانس طوله L وعرضه W وارتفاعه h حجمه V_i في الدرجة t وعند رفع درجة حرارته بصورة منتظمة إلى $t + \Delta t$ يصبح حجمه $V_{fi} = V_i + \Delta V$

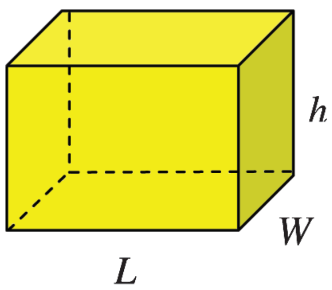
$$V_i + \Delta V = (L + \Delta L)(W + \Delta W)(h + \Delta h)$$

$$V_i + \Delta V = (L + \alpha L \Delta t)(W + \alpha W \Delta t)(h + \alpha h \Delta t)$$

$$V_i + \Delta V = LW h\ (1 + \alpha \Delta t)^3$$

لكن: $V_i = LW h$

$$V_i + \Delta V = V_i [1 + 3\alpha \Delta t + 3(\alpha \Delta t)^2 + (\alpha \Delta t)^3]$$



$$V_i = LWh$$

الشكل 7 - 1 - 2
أ) الجسم قبل التسخين

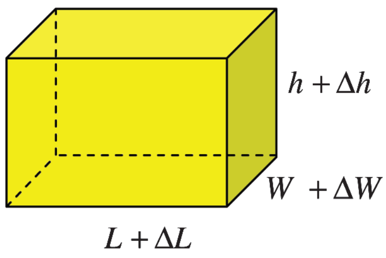
بما أنّ قيم معامل التمدّد الطوليّ للموادّ صغيرة جدّاً، لذا تُهمل الحدود $(\alpha\Delta t)^3$، $3(\alpha\Delta t)^2$ لصغرها

$$V_i + \Delta V \simeq V_i(1+3\alpha\Delta t)$$

$$\Rightarrow 3\alpha \simeq \frac{\Delta V}{V_i\,\Delta t}$$

ولكن : $\gamma = \dfrac{\Delta V}{V_i\;\Delta t}$ بالمقارنة نجد:

$$\boxed{\gamma \simeq 3\alpha}$$



$V_f = V_i + \Delta V$

الشكل 7 - 1 - 2
ب) بعد التسخين يتمدّد الجسم في جميع الاتجاهات

تطبيقات تمدّد الأجسام الصلبة وتأثيراته:

- تستعمل تأثيرات تمدّد الجسم الصلب في ميزان الحرارة الثنائي المعدن، ومقياس الأمبير ذي السلك الساخن.
- ينبغي أخذه بالحسبان في تصميم المكثّفات ذات الألواح المتوازية، وأسلاك الهاتف.
- يُستخدم زجاجٌ خاصّ منخفض التمدّد في مرايا المنظار.
- توضع فواصل في السكك الحديدية لتلافي أضرار التمدّد الطوليّ.

إثراء

- القوى الناتجة عن التمدّد:

لو سخّنا ساقاً طولها 1 m ومساحة مقطعها $1\ cm^2$ إلى الدرجة $80\ ^\circ C$ فإنها تتمدد بمقدار 0.1 mm ولو أعدنا التجربة، وحاولنا منع الساق من التمدّد لاحتجنا إلى تطبيق قوّة على كل من طرفي الساق شدّتها 2500 N ، وهذا يفسّر القوى الكبيرة المؤثّرة على أجزاء المعدن عند ارتفاع درجة حرارته.

- المتر العياريّ:

إنّ أوّل متر اتّخذ أساساً لقياس الأطوال في الجملة الدوليّة هو المتر العياريّ المصنوع من البلاتين والإيريديوم الذي لا يكون طوله 1 m إلاّ في درجة الصفر المئويّ، وهذا المتر محفوظ في متحف سيفر قرب باريس.

- تفتّت الصخور:

تتفتّت سطوح الصخور في المناطق الصحراويّة بسبب الفروق الكبيرة بين درجات الحرارة في الليل والنهار والتي ينتج عنها اختلاف في مقدار التمدّد بين سطح الصخر وأقسامه الداخليّة.

ما يجب تذكّره

- تتمدّد الأجسام الصلبة بالحرارة.
- مقدار التغيّر في الطول ΔL يتناسب طرداً مع الطول الأصليّ L_0.
- مقدار التغيّر في الطول ΔL يتناسب طرداً مع تغيّر درجة الحرارة Δt.
- مقدار التغيّر في الطول ΔL يتوقف على نوع مادّة الجسم الصلب.
- قانون التمدّد الطوليّ: $\Delta L = \alpha L_0 \Delta t$

حيث:

α عامل التمدّد الطوليّ

L_0 الطول الأصليّ

Δt تغيّر درجة الحرارة

- مقدار التغيّر في الحجم ΔV يتناسب طرداً مع الحجم الأصليّ V_0 .
- مقدار التغيّر في الحجم ΔV يتناسب طرداً مع تغيّر درجة الحرارة Δt .
- مقدار التغيّر في الحجم ΔV يتوقف على نوع مادّة الجسم الصلب.
- قانون التمدّد الحجميّ $\Delta V = \gamma V_0 \Delta t$:

حيث:

γ عامل التمدّد الحجميّ

V_0 الحجم الابتدائيّ

Δt تغيّر درجة الحرارة

ΔV مقدار التغيّر الحجميّ

- عامل التمدّد الحجميّ يساوي تقريباً ثلاثة أمثال عامل التمدّد الطوليّ:

$$\gamma = 3\alpha$$

أنشطة وتدريبات

أولاً- اختر الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1- إنّ رفع درجة حرارة جسم صلب متجانس على شكل متوازي مستطيلات يؤدي إلى:

a) زيادة أحد أبعاده على حساب البعدين الباقيين.

b) التّمدّد بالمقدار نفسه في كل من الأبعاد الثلاثة.

c) التّمدّد بمعدلات مختلفة في كل من الأبعاد الثلاثة.

d) التّمدّد بمعدلات متساوية في كل من الأبعاد الثلاثة.

2- نأخذ ساقين متماثلان في الطول عند درجة الحرارة الابتدائية إحداهما من الحديد والأخرى من النحاس اللّتين عاملا تمدّدهما الطوليّ على الترتيب $12 \times 10^{-6}\ ^{\circ}C^{-1}$ و $17 \times 10^{-6}\ ^{\circ}C^{-1}$ نثبّت إحداهما على الأخرى طولانيّاً بواسطة مسامير عند رفع درجة حرارة الجملة:

a) تتمدّد وتبقى مستقيمة.

b) تتقوّس بحيث يكون الحديد داخل القوس.

c) تتقوّس بحيث يكون النحاس داخل القوس.

d) تتقلّص وتبقى مستقيمة.

3- يمكن منع تشقّق وتقوّس المنشآت كالأبنية والجسور المبنية من البيتون المسلّح (الكونكريت) باتباع:

a) اختيار الموادّ المستخدمة في البناء بمعاملات تمدّد متقاربة جدّاً فقط.

b) ترك فواصل تمدّد مناسبة ضمن المنشأة فقط.

c) القيام بكل من (a) و(b).

d) كلّ ما سبق غير صحيح.

4- كرتان مصنوعتان من الألمنيوم متماثلتان في الحجم عند درجة الحرارة الابتدائيّة إحداهما مجوّفة والأخرى مصمّتة، تخضعان للارتفاع نفسه في درجة الحرارة نفسها فيؤدّي ذلك إلى:

a) تمدّد الكرة المصمّتة أكثر من المجوّفة.

b) تمدّد الكرة المجوّفة أكثر من المصمّتة.

c) تتمدّدان بالمقدار نفسه.

d) كلّ ما سبق غير صحيح.

5- عند تمدّد أو تقلص جسم صلب بفعل رفع أو خفض درجة حرارته يحصل ما يلي:

a) تبقى كتلته ثابتة وتنقص كتلته الحجميّة مع التمدّد وتزداد مع التقلّص.

b) تزداد كتلته، وتبقى كتلته الحجميّة ثابتة.

c) تنقص كتلته، وتبقى كتلته الحجميّة ثابتة.

d) كلّ ما سبق غير صحيح.

ثانياً- أجب عن الأسئلة الآتية:

1- لماذا يدرس التمدّد والتقلّص للأجسام الناقلة للحرارة وليس للعوازل؟

2- لماذا يجب أن يكون للموادّ الملحومة بعضها مع بعض عوامل تمدّد متقاربة جداً؟

3- تُصنع سبطانات المدافع من أسطوانتين يكون نصف قطر الأسطوانة الخارجيّة أصغر من نصف القطر الأسطوانة الداخليّة. كيف يمكنك تفسير إدخال الأسطوانتين إحداهما بالأخرى؟

ثالثاً-علّل ما يأتي:

- انكسار الزجاج السميك عند تسخين أحد وجوهه دون الآخر.

رابعاً- حلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى: يتغيّر طول ساق من النحاس بمقدار 1.1 mm عندما تتغيّر درجة حرارته بمقدار $150\ ^\circ C$ ، ما الطول الأصليّ لهذا الساق علماً بأنّ عامل التمدّد الطوليّ للنحاس $a = 16.5 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$

المسألة الثانية: حلقة من النحاس الأصفر $a = 18.9 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$ محيطها 15 cm عند الدرجة $20\ ^\circ C$ كم سيزداد نصف قطرها عندما ترتفع درجة حرارتها إلى $30\ ^\circ C$ ؟

المسألة الثالثة: أسطوانة من الألمنيوم $a = 2.368 \times 10^{-5}\ ^\circ C^{-1}$ ارتفاعها 20 cm ونصف قطر قاعدتها 5 cm عند الدرجة $0\ ^\circ C$ المطلوب :

1- احسب زيادة حجمها وزيادة مساحة قاعدتها عند ارتفاع درجة حرارتها من $20\ ^\circ C$ إلى $40\ ^\circ C$.

2- أجر حسابات الطلب (1) عن طريق حساب التمدّد الطوليّ لكل من الارتفاع ونصف قطر القاعدة، دون استخدام قانون التمدّد الحجميّ وحساب الحجم عند كلّ درجة حرارة ؟ ثمّ قارن بين نتائج الطريقتين، وعلّل الفرق إن وجد.

المسألة الرابعة: نثبّت نهايتي سلك معدنيّ طوله $A\ B$ في النقطتين A ، B نشدّ السلك من منتصفه بواسطة خيط مارّ على محزّ بكرة ويتّصل بنابض. طول السلك $|A\ B| = 30$ cm، وهو مشدود أفقيّاً في الدرجة $0\ ^\circ C$ نرفع درجة حرارته الى $200\ ^\circ C$ احسب:

1- استطالة السلك .

2- الانتقال الشاقوليّ $A\,D$.

3- زاوية دوران البكرة .

(عامل التمدّد الطوليّ للمعدن هو: $a = 1.6 \times 10^{-5}\ ^{\circ}\mathrm{C}^{-1}$، ونصف قطر البكرة $r = 1\ \mathrm{cm}$)

المسألة الخامسة: لدينا جسم معدنيّ كتلته M ، كتلتـه الحجميّة في الدرجة $0\ ^{\circ}\mathrm{C}$ هي ρ_0 نسخنه الى الدرجة $t\ ^{\circ}\mathrm{C}$.

1- اثبت أنّ كتلته الحجميّة ρ في الدرجة $t\ ^{\circ}\mathrm{C}$ تعطى بالعلاقة : $\rho = \dfrac{\rho_0}{1+\gamma t}$

γ عامل التمدّد الحجميّ للمعدن.

2- إذا كانت $M = 25\ \mathrm{kg}$ ،$\rho_0 = 20\ \mathrm{g.cm^{-3}}$ ، $\gamma = 2 \times 10^{-5}\ ^{\circ}\mathrm{C}^{-1}$ فكم تصبح الكتلة الحجميّة للجسم في الدرجة $600\ ^{\circ}\mathrm{C}$ ؟ وكم يكون حجمه عندها ؟

المسألة السادسة: تحقيقاً للربط الجّيد تُصنع تباشيم الألمنيوم المستخدمة في بناء الطائرات أكبر من الثقوب التي ستدخل بها، وتبرّد بالجليد الجافّ، وهو ثاني أكسيد الفحم في حالته الصلبة، وذلك قبل وضعها في أماكنها . فإذا كان قطر الثقب $5\ \mathrm{cm}$ ، فكم ينبغي أن يكون قطر التبشيمة في الدرجة $20\ ^{\circ}\mathrm{C}$ إذا أريد أن يكون قطرها مساوياً قطر الثقب عندما تبرد التبشيمة حتّى الدرجة $-78\ ^{\circ}\mathrm{C}$ وهي درجة حرارة الجليد الجاف؟

المسألة السابعة: يُحنى سلك طوله $60\ \mathrm{cm}$ على هيئة حلقة دائريّة فيها فجوة طولها $1\ \mathrm{cm}$ ترفع درجة حـرارة السـلك بانتظـام بمقـدار $100\ ^{\circ}\mathrm{C}$ ، ففي أيّة درجة نجد أنّ عرض الفجوة يساوي $1.002\ \mathrm{cm}$. ما عامل التمدّد الطولي لمادّة السلك ؟ نفرض أنه لا يحصل أيّ اجهادات في السلك قبل التسخين أو بعده.

النشاط: الصفيحة المعدنية المزدوجة المحمولة

الهدف من النشاط:

بيان مدى التمدّد الحراري لنوعين مختلفين من المعادن عندما تُسخَّن إلى درجة الحرارة نفسها.

الأدوات المستخدمة:

صفيحة معدنية مزدوجة من النحاس والحديد وأخرى من النحاس والألمنيوم، موقد غولي، ماء.

المهارات المرجو اكتسابها:

الملاحظة، التوقع، العمل التعاوني، القياس، تسجيل البيانات، تفسير النتائج.

تمهيد نظري:

هناك نوعين من الصفائح المعدنية المزدوجة:

النوع الأول: مصنوع من صفيحة من النحاس وصفيحة من الحديد، والنوع الثاني:مصنوع من صفيحة من النحاس وصفيحة من الألمنيوم، والصفائح مثبتة على بعضها باستخدام طريقة الوصل بالبرشمة (تثبيت بمسمار له برشام) وكل منهما ذات قبضة من أحد جوانبها عازلة للحرارة، وتكون الصفيحة المزدوجة بالحالة المسطحة بدرجة حرارة الغرفة.

مراحل التجربة:

أ) الصفيحة المزدوجة المصنوعة من النحاس والحديد :

يُسخَّن وجه واحد من الصفيحة بواسطة موقد غولي، وبعد فترة من التسخين نلاحظ بأن جانب الصفيحة الحديدي قد انحنى بشكل واضح (لأن عامل تمدّد النحاس بالحرارة أكبر من عامل تمدّد الحديد)، وإذا بردنا الصفيحة بشكل طبيعي أو بواسطة مسحها بقطعة قماش مبللة بالماء تعود الصفيحة إلى حالتها المنبسطة، ونلاحظ أنه لا يوجد فرق في جهة الانحناء إذا تم التسخين من جهة الحديد أو من جهة النحاس فهو دائما هنا باتجاه الحديد.

ب) الصفيحة المزدوجة المصنوعة من النحاس والألمنيوم:

يتم تسخين وجه واحد من الصفيحة بالطريقة السابقة وبعد فترة من التسخين نلاحظ بأن جانب الصفيحة النحاسي قد انحنى بشكل واضح (لأن عامل تمدّد الألمنيوم بالحرارة أكبر من عامل تمدّد النحاس)، وإذا برّدنا الصفيحة بشكل طبيعي أو بواسطة مسحها بقطعة قماش مبللة بالماء تعود الصفيحة إلى حالتها المنبسطة،ونلاحظ أنه لا يوجد فرق في جهة الانحناء إذا تم التسخين من جهة الألمنيوم أو من جهة النحاس فهو دائم هنا باتجاه النحاس.

الصيانة:

بعد إتمام التجربة يجب مسح وتنظيف الجهاز، ثم يتم تغليفُه أو مسحه بالفازلين من الوجهين لحمايته من الصدأ.في درجة حرارة الغرفة، وإذا حدث أي انحناء بالصفائح في درجة حرارة الغرفة يتم تسطيحها بواسطة اليد.

استخدام الصفيحة المزدوجة في الحياة العمليّة:

تُستخدم الصفيحة المزدوجة في الحياة العملية كقاطعة حرارية للدارات الكهربائية التي يتطلّب تنظيم درجة حرارتها حيث يزدادُ انحناءُ الصفيحة المزدوجة بازدياد درجة الحرارة، فتنحني وتفتح الدارة الكهربائية. وعندما نسخّن الصفيحة المزدوجة على لهب مصباح بنزن تشاهد أن المصباح ينطفئ، وعندما تبعد الصفيحة المزدوجة عن المنبع الحراري تنخفض حرارة الصفيحة فتتقلّص، وتعود لتغلق الدارة .

التحليل والاستنتاج:

صمِّم دارة كهربائية تعتمد فيها الصفيحة المزدوجة كقاطعة حراريّة.

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

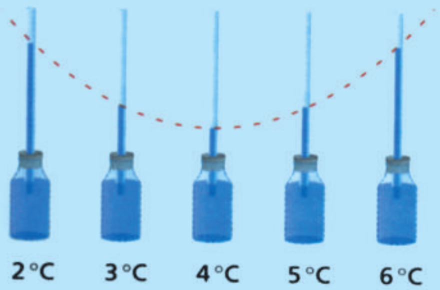
....

....

تمدّد السوائل بالحرارة

الأهداف التعليمية

1. يبيّن بالتجربة تمدّد السوائل.
2. يصوغ العلاقة بين التمدّد الحقيقيّ لسائل والتمدّد الظاهريّ لسائل والتمدّد الحجميّ للإناء.
3. يوضّح عامل التمدّد الحقيقيّ لسائل.
4. يستنتج قانون التمدّد الحقيقيّ لسائل.
5. يوضّح عامل التمدّد الظاهريّ لسائل.
6. يستنتج قانون التمدّد الظاهريّ لسائل.
7. يبيّن العلاقة بين عامل التمدّد الحقيقيّ لسائل وعامل التمدّد الظاهريّ له وعامل التمدّد الحجميّ للإناء.
8. يستنتج علاقة تغيّر الكتلة الحجميّة لسائل بتغيّر درجة الحرارة.

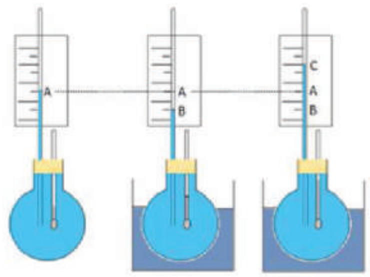


يختلف تمدّد السوائل عن تمدّد الأجسام الصلبة، ويعود ذلك إلى أسباب عدّة، منها ما يتعلّق بالبنية الداخليّة، ومنها ما يتعلق بقوّة الروابط.

إنّ الطّور الصلب يتميّز بروابط قويّة تحوّل دون قيام الذرّات بحركة انسحابية، وإنّما فقط بحركة اهتزازيّة حول مواضع توازنها، أمّا الطور السائل فهو يتميّز بروابط ضعيفة نسبيّاً تسمح بانزلاق الجزيئات المكوّنة للسائل بعضها فوق بعض (القيام بحركة انسحابيّة).

لا يمكن للسوائل أن تأخذ شكلاً ثابتاً، وإنّما يكون لها دوماً شكل الوعاء الذي توضع ضمنه، لذلك لا يمكن الحديث إلاّ عن التمدّد الحجميّ للسوائل.

التمدّد الحقيقيّ والتمدّد الظاهريّ للسوائل:



الشكل 1 - 2 - 2
التمدّد الحقيقي والتمدّد الظاهري

- نأخذ حوجلة من الزجاج المتحمّل للحرارة (بايركس) في أعلاها أنبوب رفيع جداً وطويل بشكل كاف ومدرّج ومزوّد بميزان حرارة كما في الشكل جانباً.
- نضع ماءً ملوّناً بحيث يملأ جزءاً فقط من الأنبوب المدرّج، وليكن V_0 هو الحجم الابتدائيّ لهذا السائل عند درجة الحرارة الابتدائيّة.
- نغمر الحوجلة في حمّام مائيّ في درجة حرارة مناسبة فنلاحظ في البداية أنّ مستوى الماء الملوّن في الأنبوب بدأ ينخفض حتّى التدريجة B المقابلة لأخفض مستوى يصله الماء الملوّن، التي تدلّ على مقدار تمدّد الوعاء ΔV_2، ومع استمرار التسخين يبدأ السائل بالارتفاع في الأنبوب فوق التدريجة B حتّى التدريجة C التي يصلها الماء الملّون عند درجة الحرارة النهائيّة، ويكون التمدد الظاهري ΔV_1 هو الزيادة في حجم السائل من التدريجة A إلى التدريجة C ويدلّ ارتفاع السائل من التدريجة B إلى التدريجة C على مقدار التمدّد الحقيقي للسائل ΔV.
- الزيادة الحقيقيّة في حجم السائل هي:

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

$$\Delta V = \gamma' V_0 \, \Delta t$$

$$\Delta V_1 = \gamma_A V_0 \, \Delta t$$

$$\Delta V_2 = \gamma \, V_0 \, \Delta t$$

$$\gamma' V_0 \, \Delta t = \gamma_A V_0 \, \Delta t + \gamma V_0 \, \Delta t$$

$$\gamma' = \gamma + \gamma_A$$

أي: عامل التمدّد الحقيقيّ للسائل = عامل التمدّد الحجميّ للوعاء + عامل التمدّد الظاهريّ للسائل

$$\gamma_A = \gamma' - \gamma$$

باعتبار: γ عامل التمدّد الحجميّ للوعاء — γ_A عامل التمدّد الظاهريّ للسائل

γ' عامل التمدّد الحقيقيّ للسائل — Δt مقدار الارتفاع الكلي في درجة الحرارة

حيث: عامل التمدّد الظاهريّ للسائل $\gamma_A = \dfrac{\Delta V_1}{V_0 \, \Delta t}$

عامل التمدّد الحقيقيّ للسائل $\gamma' = \dfrac{\Delta V}{V_0 \, \Delta t}$

عامل التمدّد الحجميّ للوعاء $\gamma = \dfrac{\Delta V_2}{V_0 \, \Delta t}$

عامل التمدّد الظاهريّ لسائل γ_A

هو مقدار الزيادة الظاهريّة في حجم واحدة الحجم من هذا السائل عندما يسخّن بمقدار درجة مئويّة واحدة.

عامل التمدّد الحقيقيّ لسائل γ'

هو مقدار الزيادة الحقيقيّة في حجم واحدة الحجم من هذا السائل عندما يسخّن بمقدار درجة مئويّة واحدة.

إنّ الأوعية التي توضع ضمنها السوائل تتمدّد أو تتقلّص عند ارتفاع أو انخفاض درجة حرارتها، لذلك فإنّ ما يمكن ملاحظته وقياسه مباشرة بالنسبة للسوائل هو التمدّد الظاهريّ، ولإيجاد عامل التمدّد الحقيقيّ للسائل يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار عامل تمدّد الوعاء الذي يحويه.

يأخذ عامل التمدّد الحقيقيّ γ' للسوائل قيماً أعلى بكثير من قيم عامل γ التمدّد الحجميّ للأجسام الصلبة (علّل ذلك).

يمثّل الجدول مقارنة بين قيم لبعض الأجسام الصلبة والسائلة

$\gamma\ ^\circ C^{-1}$	المادة السائلة	$\gamma\ ^\circ C^{-1}$	المادة الصلبة
1.12×10^{-4}	غول إتيلي	72×10^{-6}	ألمنيوم
1.24×10^{-4}	بنزين	57×10^{-6}	نحاس أصفر
1.5×10^{-4}	أسيتون	51×10^{-6}	نحاس
4.85×10^{-4}	غليسيرين	27×10^{-6}	زجاج عادي
1.82×10^{-4}	زئبق	9.6×10^{-6}	زجاج متحمل
9×10^{-4}	تربنتين	87.9×10^{-6}	رصاص
9.6×10^{-4}	غازولين	33×10^{-6}	فولاذ
$(1.5\text{-}4) \times 10^{-4}$	الماء (تبعاً لدرجة الحرارة)	35.1×10^{-6}	حديد

تلعب قوّة الروابط بين مكونات الجسم (ذرّات أو جزيئات)، صلباً كان أم سائلاً، دوراً أساسيّاً في تحديد قيمة عامل تمدّده، حيث إنه كلّما ضعفت الروابط زادت قيمة عامل التمدّد، وتتحدّد قوّة الرابطة بين مكوّنات الجسم بنوعها وبالمسافة بين هذه المكوّنات. وهذا هو السبب في كون

قيم عامل تمدّد السوائل أكبر من قيم عامل تمدّد الأجسام الصلبة. وأيضاً في تزايد قيم عامل التمدّد لأي جسم مع ارتفاع درجة حرارته. (تضعف الرابطة)

تطبيقات تمدّد السوائل وتأثيراته:

1- يستخدم التمدّد الحجميّ للسوائل عند دراسة زيادة حجم السائل بازدياد درجة الحرارة، ويؤخذ بالحسبان هنا تمدّد الوعاء الذي يحوي السائل، لاسيما في الأعمال عالية الدقة، لأنّ التمدّد الحجميّ للسوائل أكبر من التمدّد الحجميّ للأجسام الصلبة عادةً، فمثلاً تمدّديّة الإيتانول أكبر من تمدّديّة الحديد.

2- صناعة موازين الحرارة.

3- تدفئة البيوت بواسطة تيّارات الحمل.

4- تبريد أسطوانات محرّكات الآلات البخاريّة.

إثــــراء

- تُنقِص الشوائب الموجودة ضمن المادّة، صلبة كانت أم سائلة، من قيمة عامل تمدّدها، في معظم الحالات، لأنّ وجود الشوائب يؤدّي إلى نشوء روابط جديدة بين الشوائب و الذرّات أو جزيئات الجسم الأصليّ ممّا يرفع من القيمة الوسطى لطاقة ارتباط هذه الذرّات أو الجزيئات، ويجعل عمليّة تباعدها بعضها عن بعض، أي تمدّدها، تتطلّب طاقة أكبر، وبالتالي درجة حرارة أعلى، وتصبح بالتالي درجة الحرارة اللاّزمة لتمدّد الجسم المشوب أعلى من نظيرتها لحصول التمدّد نفسه للجسم نفسه عندما يكون نقيّاً، وهذا يؤدي إلى نقص قيمة عامل تمدّد الجسم عند إشابته. وهذا ما يُستفاد منه في صنع الخلائط المعدنيّة وهي المادّة الأساسيّة في صناعة المحرّكات الحراريّة وصناعة الطائرات.
- يمكن استناداً إلى ما سبق تحديد درجة نقاوة الجسم (أو درجة إشابته) بحساب عامل تمدّده.
- تكون تغيّرات قيم عامل التمدّد الحقيقيّ للسوائل بتابعيّة تغيّر المجال

الحراريّ أكبر من تغيّرات قيم عامل التمدّد الحجميّ للأجسام الصلبة بتابعيّة التغيّرات نفسها في المجال الحراريّ.

- تنقص قيمة عامل التمدّد، خاصّة في حالة السوائل، مع تزايد الضغط الخارجيّ، لأن الضغط الخارجيّ يزيد من القيمة الوسطى لطاقة ترابط جزيئات المادّة بعضها مع بعض، وبالطريقة نفسها تنقص قيم عامل التمدّد مع تزايد قيمة محصّلة قوى الجاذبيّة (حيث تزداد قيم عامل التمدّد في الفضاء الخارجيّ بشكل ملحوظ لأن محصلة قوى الجاذبية قريبة من الصفر) لأنّ قوّة الجاذبيّة تزيد من طاقة ترابط مكوّنات الجسم.

ما يجب تذكّره

- تتمدّد السوائل بالحرارة.
- مقدار التغيّر في حجم السائل ΔV يتناسب طرداً مع الحجم الأصليّ V_0.
- مقدار التغيّر في حجم السائل ΔV يتناسب طرداً مع تغيّر درجة الحرارة Δt.
- مقدار التغيّر في حجم السائل يتوقف على نوع مادّة السائل.
- عوامل التمدّد الحجميّ للسوائل أكبر منها للأجسام الصلبة.
- عامل التمدّد الحقيقيّ للسائل يساوي عامل التمدّد الحقيقيّ للوعاء الذي يحتوي السائل γ مضافاً إليه عامل التمدّد الظاهريّ للسائل γ_A أي:

$$\gamma' = \gamma + \gamma_A$$

أنشطة وتدريبات

أولاً: أعط تفسيراً علمياً لكلٍّ ممّا يأتي:

1- يأخذ عامل التمدّد الحقيقيّ γ' للسوائل قيماً أعلى بكثير من قيم γ عامل التمدّد الحجميّ للأجسام الصلبة.

2- يتم تسخين السوائل ببطء عند دراسة التمدّد الحجميّ لها.

3- انخفاض مستوى السائل عند تسخينه في حوجلة زجاجيّة في البداية ثم يرتفع مستواه بعد فترة وجيزة.

4- تتناقص كثافة السوائل بازدياد درجة الحرارة.

5- إهمال تناقص الكثافة للأجسام الصلبة بازدياد درجة الحرارة.

ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1- استنتج العلاقة بين عامل التمدّد الطوليّ وعامل التمدّد الحجميّ لجسم صلب.

2- استنتج العلاقة التي تربط الكتلة الحجميّة ρ لجسم بكل من عامل تمدّده γ ودرجة حرارته t .

3- تناقص عامل التمدّد للجسم الصّلب عند إشابته.

4- بِمَ توحي لك هذه الصورة؟

ثالثاً: حلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى: حوجلة زجاجيّة مملوءة مع جزء من أنبوبها الرفيع بسائل عامل تمدّده الحقيقيّ هو $\gamma_1 = 1.9 \times 10^{-4}\ ^\circ C^{-1}$ وحجمه الابتدائيّ $100\ cm^3$ عامل التمدّد الحجميّ لزجاج الحوجلة هو $\gamma_2 = 15 \times 10^{-7}\ ^\circ C^{-1}$ ودرجة الحرارة الابتدائيّة لهذه الجملة هي $20\ ^\circ C$ بإهمال تمدّد الأنبوب الرفيع.

المطلوب:

1) نسخّن الجملة حتى الدرجة $80\ ^\circ C$ فينخفض السائل في الأنبوب ثمّ يرتفع. احسب مقدار التناقص في الحجم المقابل لأدنى انخفاض في الأنبوب ومقدار التزايد في الحجم الموافق لأعلى ارتفاع.

2) إذا كان مقدار الانخفاض في حجم السائل هو $0.01\ cm^3$ فما درجة الحرارة التي سخّنا إليها؟ وما مقدار الزيادة في الحجم التي تلي ذلك؟

3) احسب حجم قطعة الألمنيوم $\gamma_{A\ell} = 72 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$ الواجب وضعها ضمن السائل لتصبح الزيادة الظاهريّة في حجم السائل مساوية لتمدّده الحقيقيّ.

المسألة الثانية: إذا كانت الكتلة الحجميّة للزئبق عند الدرجة $0\ ^\circ C$ هي $\rho_0 = 1.35955 \times 10^4\ kg.m^{-3}$ وعامل تمدّده هو: $\gamma' = 1.82 \times 10^{-4}\ ^\circ C^{-1}$

1) احسب الكتلة الحجميّة للزئبق عند الدرجة $15\ ^\circ C$.

2) إذا كان ارتفاع الزئبق في أنبوب عند الدرجة $15\ ^\circ C$ هو $h = 754.3\ mm$

ماذا يصبح ارتفاعه إذا هبطت درجة الحرارة إلى الدرجة $0\ ^\circ C$ ، وذلك في كل من الحالتين الآتيتين:

a) إذا أهملنا تمدّد زجاج الأنبوب.

b) إذا كان عامل تمدّد زجاج الأنبوب $\gamma = 1.5 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$.

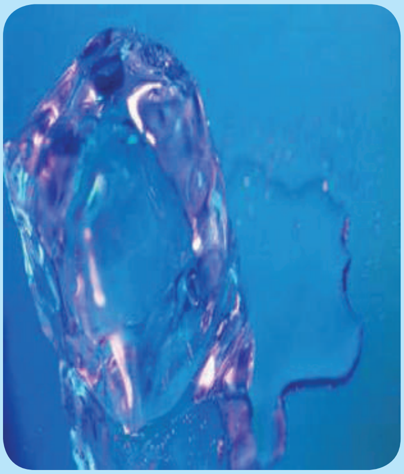
المسألة الثالثة: إناء مفتوح من الأعلى، مُلئ حتّى الفوّهة بالزئبق في الدرجة $0\ ^\circ C$. كتلة الزئبق $750\ g$، نرفع درجة حرارة الإناء إلى $100\ ^\circ C$ فيلاحظ انسكاب كميّة من الزئبق كتلتها $12\ g$. احسب عامل التمدّد الحجميّ لمادّة الإناء .

مع العلم أنّ عامل التمدّد الحجميّ للزئبق $\gamma = 0.18 \times 10^{-3}\ ^\circ C^{-1}$

المسألة الرابعة: يُملأ دورقٌ زجاجيّ حجمه $1000\ cm^3$ في الدرجة $0\ ^\circ C$ حتّى حافّته بالزئبق في تلك الدرجة. ولدى تسخين الدورق والزئبق حتّى الدرجة $100\ ^\circ C$ يسيل من الدورق حجم من الزئبق مقداره $15.2\ cm^3$، إذا كان عامل التمدّد الحجميّ للزئبق مساوياً $\gamma = 0.18\times10^{-3}\ ^\circ C^{-1}$، فاحسب عامل التمدّد الحجمي للزجاج.

شذوذ الماء

الأهداف التعليمية



1. يبيّن بالتجربة أن حجم الماء يتقلّص بين الدرجتين $0\ ^\circ C$ و $4\ ^\circ C$ ثمّ يعود ويتمدّد فوق الدرجة $4\ ^\circ C$.
2. يوضّح بيانياً العلاقة بين تغير حجم كميّة معيّنة من الماء بتغيّر درجة الحرارة.
3. يربط شذوذ الماء بمشاهدات حياتيّة.
4. يقدّر أهمّية الماء ويرشّد استهلاكه.

أهمية الماء:

يعدّ الماء من أكثر الموادّ انتشاراً في الطبيعة، فهو يغطّي ثلاثة أرباع سطح الأرض (محيطات، بحيرات، أنهار)، كما أنّه يوجد على صورة بخار في الغلاف الجوي المحيط بالأرض، وعلى صورة جليد يغطّي المناطق القطبيّة وقمم الجبال، وكذلك يوجد في جوف الأرض على شكل مياه جوفيّة، وقلّما يوجد الماء نقيّاً في الطبيعة، وأنقى أنواعه ماء المطر.

ترابط مع علم الأحياء: يشكّل الجزء الأكبر من أجسام الكائنات الحية بنسبة 75% تقريباً.

الشكل 1 - 3 - 2
الماء في حالته الصلبة

الشكل 2 - 3 - 2
الحالة السائلة للماء

الخصائص الفيزيائيّة للماء:

إنّ الماء النقيّ سائل عديم اللّون والطعم والرائحة. وهو ناقل رديء جداً للتيار الكهربائي، إذ إنّ ناقليّته النوعيّة عند الدرجة $25\ ^\circ C$ هي فقط 0.04×10^{-6} سيمنز. يعود ذلك إلى تشرّده الضعيف. فعند هذه الدرجة

من الحرارة يحوي الليتر الواحد منه 10^{-7} شاردة غرامية من H_3O^+ و 10^{-7} شاردة غرامية من OH^-، وبالتالي فإن قيمة pH للماء النّقي تساوي 7 .

يتجمّد الماء عند الدرجة صفر مئويّة، ويغلي عند الدرجة $100\ ^\circ C$، وذلك تحت الضغط الجويّ النظاميّ، أي عند 760 mm زئبقيّ. وكلما ازداد الضغط ارتفعت درجة حرارة غليان الماء، وبالعكس، وكلّما نقص الضغط انخفضت درجة الغليان. وتشترك جميع السوائل مع الماء في هذه الخاصّة.

شذوذ الماء:

خذ قارورة بلاستيكيّة مملوءة تماماً بالماء ومحكمة الإغلاق، ثمّ ضعها في الثلاّجة، ماذا تتوقّع أن يحصل؟

- تنتفخ القارورة، وقد تتشقّق، وتنفجر (تتحطم) إذا كانت زجاجية. ويعود سبب ذلك إلى تمدّد الماء عند تبريده من $4\ ^\circ C$ إلى $0\ ^\circ C$.

تغيّر الكتلة الحجميّة للماء

- خذ حوجلة ذات عنق طويل مدرج، وضع فيها 100 g من الماء في الدرجة $0\ ^\circ C$، وضع فيها ميزان حرارة، وبعض قطع معدنيّة لأخذ تمدّد زجاج الحوجلة بالحسبان .
- ضع الوعاء على سخّان كهربائيّ، وأدر المفتاح الكهربائيّ.
- نظّم جدولاً كالآتي:

شذوذ الماء وكبر حجم الماء عند تجمده

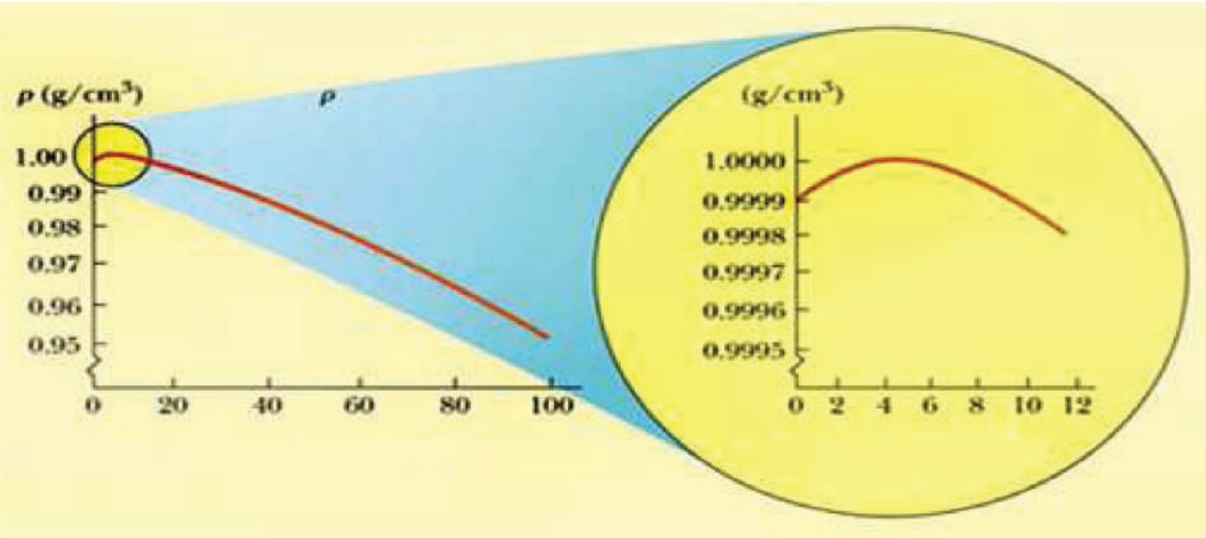
ما من أحد لم يلاحظ تكسّر زجاجة مملوءة بالماء إذا ما وضعت في المجمدة (فريزر)، ولذا يترك فراغ فيها... فما السبب؟ الكل سيقول أن الماء إذا ما تجمد يكبر حجمه... ويحتاج لمكان عند تمدده ... هذا صحيح جزيء الماء متكون من ذرة أكسجين وذرتان هدروجين، كل منهما متصلة بنفس ذرة الأكسجين بواسطة رابطة تسمى بالرابطة التساهمية (covalent bond) عندما يحصل التجمد تتكون روابط من نوع آخر تربط جزيئات الماء ببعضها تسمى بـ (الرابطة الهدروجينية)، التي تكون أطول من الرابطة التساهمية، ولذا سيكبر حجم المقدار المعين من الماء عند تجمده، ولهذا تكون كثافة الجليد اقل من كثافة الماء (الكثافة = الكتلة / الحجم)، ولذا يطفو الجليد فوق سطح ماء البحار والأنهار بسمك معين عند انخفاض درجات الحرارة، وبهذا تبقى الأحياء المائية على قيد الحياة!

T درجة الحرارة $^\circ C$	0	4	15	25
V الحجم cm^3	109.051	100.000	100.100	100.300
ρ الكتلة الحجمية للماء g / cm^3	0.917	1.000	0.999	0.997

الجدول (1)

ملاحظة: إنّ قيمة الكتلة الحجميّة للماء المتجمّد في الدرجة $0\ ^\circ C$ هي $0.917\ g.cm^{-3}$ وتصبح هذه القيمة في حالة الماء السائل في الدرجة $15\ ^\circ C$: $0.9999\ g.cm^{-3}$ كما يبيّن الشكل (2-3-3).

- ارسم الخطّ البيانيّ بين تحوّلات درجة الحرارة t وتابعيّة الكتلة الحجميّة ρ ماذا تستنتج؟



الشكل 3-3-2
يتقلص الماء بين الدرجتين $0\ ^\circ C$ و $4\ ^\circ C$

1- الكتلة الحجميّة للجليد $917\ kg.m^{-3}$.

2- الكتلة الحجميّة العظمى للماء في الدرجة $4\ ^\circ C$ وتساوي $1000\ kg.m^{-3}$.

3- تزداد الكتلة الحجميّة ρ بارتفاع درجة الحرارة فيما بين الدرجة $0\ ^\circ C$ و $4\ ^\circ C$ وذلك بعكس كلّ الموادّ في الطبيعة، وهذه هي الخاصيّة التي ينفرد بها الماء عن بقيّة الموادّ.

4- عندما يتجمّد الماء يزداد حجمه حوالي 9% مما يؤدّي لانخفاض كتلته الحجميّة ρ، فعند تجمّد $100\ cm^3$ من الماء يصبح حجمها $110\ cm^3$ تقريباً.

الآثار المتعلقة بظاهرة شذوذ الماء:

تفسّر هذه الخاصة تشقّق الصخور في الجبال العالية وانهيارها، وانفجار أنابيب المياه، وتفجر أو تشقّق الألياف الداخليّة للنباتات شتاء عندما تنخفض درجة حرارة الجوّ إلى ما دون الصفر.

يبلغ الماء كثافته العظمى عند الدرجة $4\ ^\circ C$، لذا تنتقل طبقات الماء من الأعلى إلى الأسفل، وذلك عند بلوغ الماء هذه الدرجة من الحرارة.

عندما تبلغ الدرجة مادون الصفر فإنّ طبقة الماء السطحية تتجمّد وتنقص كثافتها عن الماء السائل فتبقى على سطحه وتحمي بذلك الطبقات الأدنى منها من التجمّد في حال استمرار درجة الحرارة في الانخفاض.

وفيما يأتي نذكر حوادث حياتيّة تتعلّق بهذا الظاهرة:

- انفجار أنابيب المياه شتاءً عندما تنخفض درجة الحرارة إلى ما دون $0\ ^{\circ}C$.

  هل هناك حادثة طبيعية تتعلّق بهذا الموضوع ؟
- تفتّت الصخور عند تجمّد الماء في شقوقها وتمدّده.
- تجمّد سطوح المحيطات المتجمّدة وبقاء الماء تحتها عند الدرجة $4\ ^{\circ}C$ وبقاء الكائنات البحريّة حية.
- بقاء الجبال الجليديّة طافية على سطح الماء.

إنّ لتلك الخاصّة الشاذّة للماء تأثيراً كبيراً في الطبيعة، لأنّه لو تغيّرت كثافة الماء مع درجة الحرارة كما تتغيّر عند السوائل الأخرى أثناء انخفاض درجة الحرارة والانتقال من الطور السائل إلى الطور الصلب، فستنتقل الكتل الجليديّة التي تتشكّل على سطح مياه المحيطات المتجمّدة إلى القاع لارتفاع كثافتها، وحلّت مكانها الطبقات الأكثر دفئاً لتتجمّد ثمّ تهبط بدورها إلى القاع. واستمرار هذه العملية يحوّل الماء كلّه إلى جليد، وبالتالي تصبح الحياة البحريّة في المحيطات المتجمّدة غير ممكنة للكائنات الحيّة كافّة.

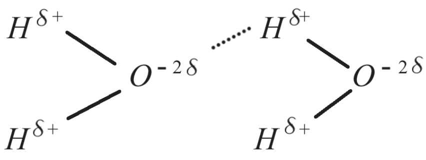
الحرارة النوعيّة (السعة الحراريّة) للماء:

إن الحرارة النوعيّة للماء كبيرة، وهي أعلى من الحرارة النوعية للمواد السائلة والصلبة كافة، ونجد في الجدول الآتي قيم الحرارة النوعية لبعض الموادّ:

المادة	الماء	النشادر	الألمنيوم (100c)	النحاس (20c)	الزئبق
الحرارة النوعية cal/g.c	1.000	0.880	0.222	0.092	0.033

الجدول (2)

تعكس هذه الخاصية أهمية كبيرة في حياة الطبيعة وتلطيف الجو، ففي النهار، أو عند الانتقال من الشتاء إلى الصيف، يسخن الماء ببطء، أما في الليل أو عند الانتقال من الصيف إلى الشتاء،فإن الماء يبرد ببطء أيضاً، وبالتالي فهو يلعب دور المنظم لدرجة الحرارة على سطح الكرة الأرضية بسبب سعته الحرارية الكبيرة .



الشكل 4-3-2
الروابط بين جزيئات الماء

أسباب خصائص الماء وشذوذه:

السبب الأول: القطبية العالية لجزيئة الماء.

السبب الثاني: الروابط الهدروجينية ما بين جزيئات الماء.

ما يجب تذكّره

- يتقلّص الماء عند تسخينه بين الدرجتين $4\ ^{\circ}C$ إلى $0\ ^{\circ}C$، ويتمدّد عند تسخينه بين الدرجتين $4\ ^{\circ}C$ و $100\ ^{\circ}C$ أي أنّ الماء يبلغ كثافته العظمى عند الدرجة $4\ ^{\circ}C$.
- لولا شذوذ الماء لكانت الحياة البحريّة في المحيطات المتجمّدة غير ممكنة للكائنات الحيّة كلها.
- إنّ الحرارة النوعيّة للماء كبيرة، وهي أعلى من الحرارة النوعيّة للمواد السائلة والصلبة كافّة.
- يقوم الماء بدور المنظّم لدرجة الحرارة على سطح الكرة الأرضيّة بسبب سعته الحراريّة الكبيرة.

أنشطة وتدريبات

أولاً-اختر الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1- نسبة الماء في جسم الكائن الحي :

a) 10 % b) 30 % c) 50 % d) 75 %

2- يشذّ الماء عن جميع الموادّ في الطبيعة عند درجة الحرارة:

a) دون 0 ˚C b) بين 0 ˚C و 4 ˚C c) فوق 4 ˚C d) فوق 100 ˚C

3- عندما تهبط درجة حرارة الماء من 4 ˚C إلى 0 ˚C فإنّ حجمه :

a) يزداد 9 % b) يزداد 75 % c) ينقص 9 % d) يبقى كما هو

4- الكتلة الحجميّة لمركّب الماء H_2O تكون أعظم ما يمكن في الدرجة:

a) 100 ˚C b) 4 ˚C c) 0 ˚C d) دون 0 ˚C

ثانياً- أجب عن الأسئلة الآتية:

1- عندما تتجمّد المياه في المبادلات الحراريّة في السيارات (الرادياتورات) تؤدّي إلى عطبها ما السبب؟ما الحلّ لتلافي ذلك؟

2- ما الفائدة من كون الحرارة النوعية للماء كبيرة ؟ علّل ذلك.

3- اشرح أسباب الخاصيّات المميّزة للماء وشذوذه.

ثالثاً- علّل ما يلي:

1- انفجار أنابيب المياه شتاءً عندما تنخفض درجة الحرارة إلى درجة التجمّد.

2- بقاء الكائنات البحريّة حيّة في المحيطات المتجمّدة.

3- تشقّق الصخور وانهيارها.

رابعاً- حلّ المسألة الآتية:

لدينا مكعب من الجليد طول ضلعه 4 cm، موضوع في كأس من الماء السائل:

1) ما درجة حرارة الماء السائل بجوار المكعب؟

2) احسب ارتفاع الجزء فوق سطح الماء من مكعب الجليد، علماً أنّ سطح المكعب الأعلى أفقي.

الترموديناميك

الأهداف التعليمية

1. يتعرّف التوازن الحراريّ.
2. يذكر أنواع التحوّلات التي تطرأ على جملة ماديّة.
3. يتعرّف قوانين الترموديناميك.
4. يستنتج علاقة العمل الميكانيكي لجملة غازية عندما يتغيّر حجمها تحت ضغط ثابت.
5. يتعرّف الآلات الحراريّة واستخداماتها.
6. يتعرّف مردود الآلة الحراريّة ويستنتج قانون المردود.
7. يطبّق قوانين الترموديناميك في حياته العمليّة.
8. يتعامل مع الموارد البيئيّة بشكل عقلاني ورشيد.

رغم أهمّية أشكال الطاقة في حياتنا، وفي تقدم العالم الذي نعيش فيه، فإنّه مما لا شك فيه أن الطاقة الحراريّة والطاقة الميكانيكيّة والعلاقة بينهما، تبقيان الأهمّ في الحياة العمليّة فمثلاً:

الشكل 1-4-2
تحوّل الحرارة إلى عمل

- عندما يغلي الماء في إبريق الشاي نلاحظ تحرّك غطاء الإبريق بسبب تحوّل الطاقة الحرارية إلى عمل ميكانيكي نتيجة دفع بخار الماء له.
- عندما يقوم الحداد بثقب قطعة معدنية باستخدام ريشة مثقب فإنّه يصب قليلاً من الماء على الريشة لتبريدها حيث يتحوّل جزء من العمل الميكانيكي إلى طاقة حراريّة.

والعلم الذي يدرس العلاقة بين الطاقة الحراريّة والعمل الميكانيكي وتحوّل كلٍّ منهما إلى الآخر وسهولة هذا التحوّل هو علم الترموديناميك (علم التحريك الحراريّ).

يعتمد علم الترموديناميك على مبادئ عامّة شاملة ينبوعها الواقع التجريبيّ.

1- مفاهيم أساسية:

1) الجملة الترموديناميكيّة:

هي جملة ماديّة أو مجموعة من الأجسام الماديّة المرتبط بعضها ببعض، والمنفصلة عن الوسط الخارجيّ بسطوح فصل حقيقيّة أو تخيليّة، والوسط الخارجيّ هو كل شيء يقع خارج حدود الجملة.

مثال: إناء معدنيّ مغلق يحوي ماء

الجملة الترموديناميكيّة هي الماء

جدران الإناء هي حدود الجملة

الهواء المحيط بالإناء هو الوسط الخارجيّ

الشكل 2-4-2
الجملة الترموديناميكية

تتعيّن حالة الجملة بوساطة بعض القيم العدديّة التي تأخذها متحوّلات تعبّر عن مقادير فيزيائية تسمّى متحوّلات الحالة (كميّة المادّة، الحجم، درجة الحرارة، الضغط ....)، وهذه المتحوّلات الترموديناميكيّة ليست مستقلّة، بل ترتبط فيما بينها بعلاقات رياضيّة تدعى معادلات الحالة.

مثال: الحالة الفيزيائية للبوتان داخل أسطوانة الغاز تتعلق بالضغط داخل الأسطوانة (داخل أسطوانة الغاز لدينا طور سائل وطور غازي).

2) أنواع الجمل الترموديناميكيّة:

الجملة المعزولة: هي جملة لا تتبادل الطاقة ولا المادّة مع الوسط الخارجيّ.

مثال ذلك سائل داخل مسعر حراريّ.

الجملة المغلقة: هي جملة تتبادل الطاقة ولا تتبادل المادّة مع الوسط الخارجي.

مثال ذلك تمدّد أو تقلّص الزئبق في ميزان الزئبق.

الجملة المفتوحة: هي جملة تتبادل الطاقة والمادّة مع الوسط الخارجيّ.

مثال ذلك جسم الإنسان عندما يتناول الأطعمة ويقوم بالنشاط العضلي.

2- التحوّلات الترموديناميكيّة:

التحوّل المغلق: هو التحوّل الذي تكون فيه الحالة النهائيّة للجملة تطابق تماماً حالتها الابتدائية.

مثال: نسخّن ماء سائلاً في وعاء مغلق (لا يشغل الماء كلّ الوعاء) فترتفع درجة حرارته ويتبخّر جزء منه، وبعدها نبرّده إلى درجة الحرارة الابتدائيّة فيتكثّف الماء ونجد كمّية الماء السائل نفسها.

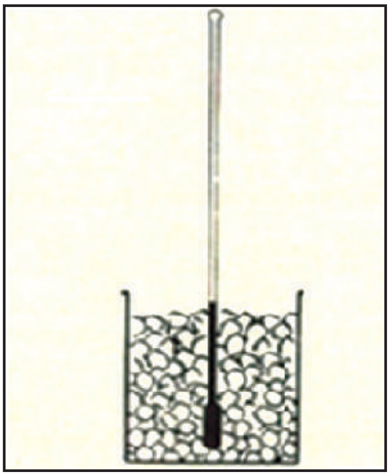
التحوّل المفتوح: هو التحوّل الذي تكون فيه الحالة النهائية للجملة لا تطابق حالتها الابتدائيّة.

مثال: في التفاعل الكيماوي اللاعكوس تمثّل المواد المتفاعلة الحالة الابتدائيّة للجملة والموادّ الناتجة الحالة النهائيّة لهذه الجملة.

تحوّل متساوي الدرجة:

إذا بقيت درجة حرارة الجملة الترموديناميكيّة ثابتة أثناء التحوّل يسمّى التحوّل متساوي الدرجة .

مثال: تبقى درجة الحرارة ثابتة عند انصهار الجليد في الماء السائل خلال تحوّل الجليد إلى سائل.

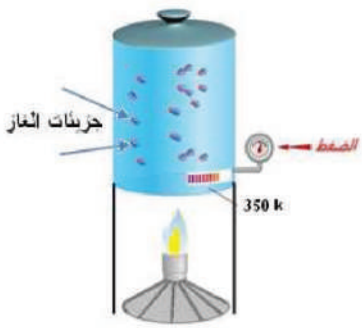


الشكل 3-4-2
التحوّل المتساوي الدرجة

تحول متساوي الحجم:

إذا بقي حجم الجملة الترموديناميكية ثابتاً أثناء التحوّل يسمى التحوّل متساوي الحجم.

مثال: نرفع درجة حرارة غاز في وعاء متين محكم الإغلاق ليزداد ضغط الغاز فيه نلاحظ أنّ حجمه ثابت.



الشكل 4-4-2
التحوّل المتساوي الحجم

يُنصح بعدم تخزين أسطوانات الغاز في الأماكن المعرّضة لأشعة الشمس المباشرة خاصة في فصل الصيف خشية انفجارها.

تحوّل متساوي الضغط:

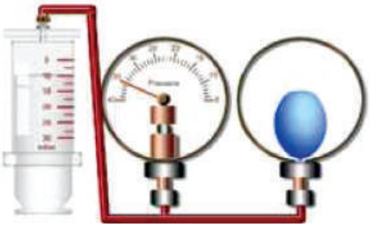
إذا بقي ضغط الجملة الترموديناميكيّة ثابتاً أثناء التحوّل يسمى عندئذٍ التحول متساوي الضغط.

مثال: معظم التحوّلات التي تجري على سطح الأرض تجري تحت الضغط الجوي الذي يحافظ على قيمة ثابتة تقريباً هي تحوّلات متساوية الضغط.

3- تبادلات العمل:

يبيّن الشكل تبادلات العمل:

نضع بالوناً منتفخاً قليلاً ومغلقاً في دورق زجاجيّ، ثم نسدّ فوهة الدورق بسدادة يخترقها أنبوب انطلاق متّصل بمحقن كما هو موضح في الشكل (a) نسحب مكبس المحقن ببطء، فنلاحظ ازدياد انتفاخ البالون كما في الشكل (b)



الشكل 2-4-5
a) البالون منتفخ قليلاً

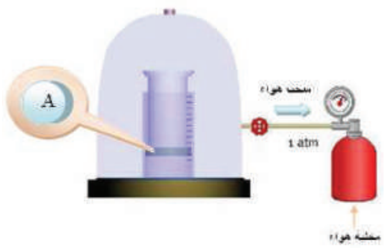
الشكل 2-4-5
b) يزداد انتفاخ البالون بسحب المكبس

<u>وسبب ذلك:</u>

أنّ الضغط داخل البالون أصبح أكبر من الضغط خارجه لذا تقوم القوى الضاغطة داخل البالون بعمل يؤدّي إلى زيادة حجم البالون نتيجة ازدياد حجم الغاز داخله.

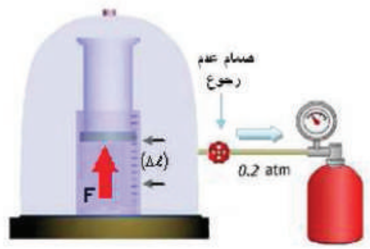
مثال آخر: لدينا غاز في درجة حرارة ثابتة داخل أسطوانة مزوّدة بمكبس مهمل الكتلة، وقابل للحركة دون احتكاك.

نضع الأسطوانة ضمن ناقوس زجاجي متصل بمخلية هواء، كما في الشكل (a)، وعند عمل مخلية الهواء (سحب الهواء ببطء) نلاحظ ارتفاع المكبس مسافة $\Delta \ell$ كما في الشكل (b).



الشكل 2-4-6
a) اسطوانة مزودة بمكبس قابل للحركة

ما تعليل ذلك؟ إنّ الضغط داخل الأسطوانة أصبح أكبر بقليل من الضغط خارج الأسطوانة، فتقوم أثناء ذلك قوى الضغط الداخليّ F في الأسطوانة بعمل W لنقل المكبس مسافة $\Delta \ell$.



الشكل 2-4-6
b) يرتفع المكبس

استنتاج قانون العمل:

أثّرت القوّة F في المكبس، وسبّبت انتقاله بمقدار $\Delta \ell$، وبالتالي قامت بعمل ميكانيكي يعطى بالعلاقة: $W = F\ \Delta\ell$

حيث: F القوة الضاغطة المؤثّرة ناظميّاً على المكبس.

$\Delta \ell$ مقدار انتقال المكبس.

لكن الضغط على سطح المكبس

$$P = \frac{F}{s}$$

$$\Rightarrow \quad F = P\,s$$

$$\Rightarrow \quad W = P\ s\ \Delta\ell$$

لكن: $\Delta V = s\,\Delta \ell$ يُعبّر عن تغيّر الحجم فيكون قانون العمل الميكانيكي:

$$\overline{W} = P\,\overline{\Delta V}$$

W يقدّر بوحدة الجول J

P يقدّر بوحدة الباسكال Pa

ΔV يقدّر بوحدة المتر المكعب m^3

ملاحظة:

- عندما يتزايد حجم الغاز داخل الأسطوانة فإنّ هذا الغاز يقدّم عملاً إلى الوسط الخارجيّ

$$\Rightarrow \Delta V > 0 \Rightarrow W < 0$$

- عندما يتناقص حجم الغاز داخل الأسطوانة فإنّ هذا الغاز يتلقّى عملاً من الوسط الخارجيّ

$$\Rightarrow \Delta V < 0 \Rightarrow W > 0$$

لذلك تصبح عبارة العمل الميكانيكي الذي يتلقاه الغاز هي:

$$\overline{W} = -P\,\overline{\Delta V}$$

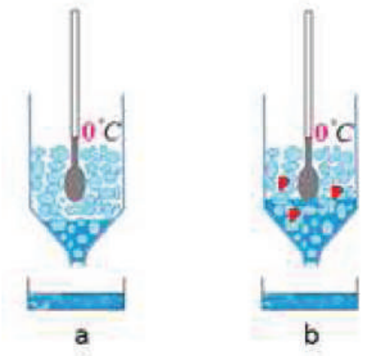
4- التبادلات الحراريّة:

مثال 1: تبادل كمّية الحرارة عند تغيّر الحالة الفيزيائيّة للجملة الترموديناميكيّة مع بقاء درجة الحرارة ثابتة:

نضع في إناء مسعر مزيجاً من الماء وقطع الجليد (الجملة الترموديناميكيّة) ونحدّد درجة حرارتها باستخدام ميزان حرارة $0^\circ C$ شكل (a).

نلقي قطعة معدنيّة ساخنة (الوسط الخارجيّ) في المزيج فنلاحظ ذوبان جزء من الجليد. شكل (b).

إن القطعة المعدنيّة الساخنة أعطت كمّية من الحرارة إلى قطع الجليد، ممّا أدّى إلى ذوبان جزء منها دون ارتفاع درجة حرارة المزيج.



الشكل 7-4-2
لا تتغيّر درجة حرارة المزيج بوضع قطعة معدنية ساخنة

نتيجة:

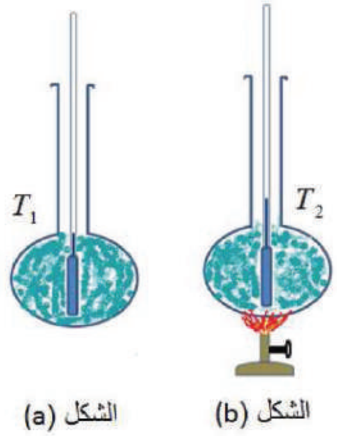
في التحوّل متساوي الدرجة عندما تتبادل الجملة الترموديناميكيّة مع الوسط الخارجيّ كمّية من الحرارة فقط تتغيّر الحالة الفيزيائيّة للجملة الترموديناميكيّة.

مثال 2: **تبادل كمّية الحرارة عندما ترتفع درجة حرارة الجملة مع ثبات الحالة الفيزيائيّة.**

نغمر مستودع الزئبق لميزان حرارة في ماء سائل ونحدّد درجة حرارته T_1 كما في الشكل (a)

نسخن الماء إلى درجة حرارة مناسبة T_2 (بحيث يبقى في الحالة السائلة). الشكل(b)

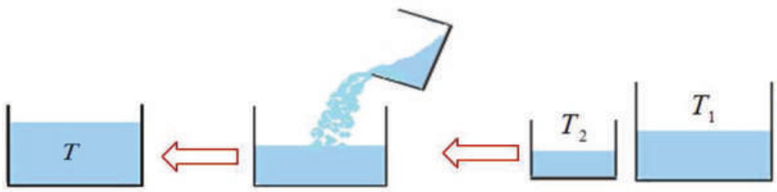
يكتسب الماء من الوسط الخارجيّ (المنبع الحراريّ) كميّة حرارة تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارته دون تغيّر في حالته الفيزيائيّة.



الشكل 2-4-8

التوازن الحراريّ:

لدينا وعاءان يحويان ماء بدرجتي حرارة مختلفتين T_1 ، T_2 نقرأ ذلك على ميزان الحرارة كما هو موضّح في الشكل.



الشكل 2-4-9
التوازن الحراري

نسكب ماء أحد الوعاءين في الوعاء الآخر كما في الشكل، ونراقب درجة الحرارة فنلاحظ أنّ الماء الموجود في الوعاء الأخير أصبح له درجة حرارة واحدة T فيقال إنّه حصل توازن حراري بين ماء الوعاءين.

تعليل ذلك:

إنّ الماء الذي درجة حرارته أعلى يعطي كميّة من الحرارة إلى الماء الذي درجة حرارته أقل (حيث يحدث تبادل حراري بينهما) ممّا يؤدي إلى حدوث توازن حراريّ بين السائلين.

نتيجة: تتوقف الأجسام عن التبادل الحراريّ فيما بينها عند التوازن الحراريّ.

تطبيقات حياتيّة:

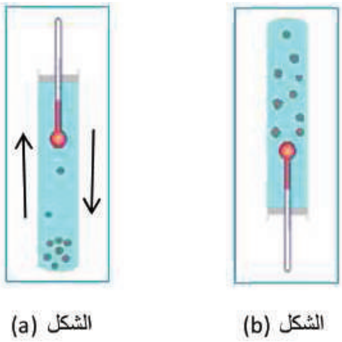
- نلجأ للحصول على ماء مناسب للاستحمام بإضافة ماء بارد إلى ماء ساخن (حرارته مرتفعة).
- نضيف قطعاً من الثلج إلى العصائر لتبريدها.
- نضع على رأس المريض كمّادات ماء بارد لخفض درجة حرارته المرتفعة.

5- تحوّلات العمل إلى حرارة:

نأخذ أنبوباً أسطوانياً من الزجاج معزولاً، ونضع فيه ماء وكرات صغيرة من الرصاص، ثمّ نسد الأنبوب بسدادة يخترقها ميزان حرارة [الشكل a] ثمّ نقرأ درجة حرارة ماء الأنبوب.

نقلب الأنبوب بلطف عدّة مرات (20 مرة مثلاً) رأساً على عقب، بحيث يبقى شاقولياً [الشكل b].

وفي نهاية التجربة نقرأ درجة الحرارة فنلاحظ ارتفاعاً طفيفاً في درجة الحرارة.



الشكل 2-4-10
تحوّل العمل إلى حرارة

تعليل ذلك:

عندما تسقط كرات الرصاص من أعلى الأنبوب إلى الأسفل تقوم قوّة ثقل الكرات بعمل يتحوّل إلى حرارة يمتصّها كلّ من الماء وكرات الرصاص، وزجاج الأنبوب فترتفع درجة الحرارة.

نتيجة: يمكن تحويل العمل إلى حرارة.

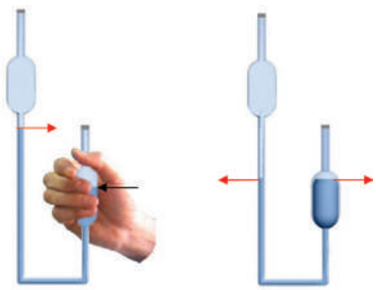
تطبيقات حياتية:

- عندما تشعر بالبرد أيام فصل الشتاء تقوم بدلك اليدين بعضهما إلى بعض.
- استطاع الإنسان القديم الحصول على النار بدلك أغصان الشجر الجافّة بعضها ببعض.
- ارتفاع درجة حرارة عجلات السيارة بعد تطبيق قوّة المكابح عليها.

6- تحوّلات الحرارة إلى عمل:

لدينا أنبوب مزوّد بانتفاخين **أحدهما مغلق** يحوي سائلاً، يكون سطح السائل الحرّ في فرعي الأنبوب في مستوٍ واحد كما في الشكل (a).

نحيط بيدنا أحد الانتفاخين، ونراقب سطح السائل الحرّ في الفرعين نلاحظ أنّهما يصبحان ارتفاعين مختلفين كما في الشكل (b)



الشكل 2-4-11
تحوّل الحرارة إلى عمل

التعليل:

تنتقل كميّة من الحرارة من راحة الكف إلى هواء الأنبوب، فيزداد حجم الهواء نتيجة تمدّده، ويدفع بالماء من فرع إلى الفرع الآخر.

نتيجة: يمكن تحويل الحرارة إلى عمل.

تطبيقات حياتية:

- في المحطّات الحراريّة التي تولّد الطاقة الكهربائيّة يتمّ حرق الغاز الذي يعطي طاقة حراريّة تبخّر الماء الذي يعمل على تدوير العنفات التي تقوم بدورها بتدوير مولدات الكهرباء.

7- المبدأ الأول في الترموديناميك (مبدأ انحفاظ الطاقة):

نلاحظ من التجارب السابقة أنّه لإنتاج مقدار معين من نوع ما من الطاقة يجب أن تستهلك كميّة معادلة لها تماماً من نوع آخر من الطاقة. وهذا ما يعبّر عن مبدأ انحفاظ الطاقة.

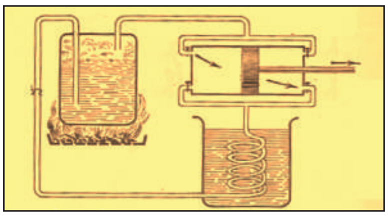
نتيجة: تتحوّل الطاقة من شكل إلى آخر دون زيادة أو نقصان و لا يمكن إفناؤها أو إيجادها من العدم.

8- المبدأ الثاني في الترموديناميك:

1) عدم كفاية المبدأ الأول:

إنّ المبدأ الأول في الترموديناميك يعبّر عن تحوّل الحرارة إلى عمل، ويعدّهما شكلين متكافئين لمقدار واحد، غير أنّه لا يميّز بين سهولة تحوّل أحدهما إلى الآخر، ولا يقرّ إمكانية تحوّل أحدهما بكامله إلى الآخر.

2) المحرّكات الحراريّة:



الشكل 12-4-2
المحرك البخاري يحتاج إلى منبع بارد ومنبع ساخن

المحرّك الحراريّ: هو عبارة عن آلة تتألف جملة الأجسام فيها في أغلب الأحيان من مائع يأخذ من الوسط الخارجيّ (المنبع الساخن) كميّة من الحرارة Q_H، ويعطى إلى الوسط الخارجيّ عملاً ميكانيكيّاً W وإلى المنبع البارد كميّة من الحرارة Q_l ويكرّر هذه العمليّة بشكل مستمر.

في المحرّك البخاري مثلاً يأخذ الماء السائل من المنبع الساخن كميّة من الحرارة Q_H يتحوّل فيها إلى بخار درجة حرارته مرتفعة، ثمّ يدخل بخار الماء عن طريق (صمام الدخول) إلى أسطوانة المكبس فيعمل على تحريك المكبس منتجاً عملاً ميكانيكياً.

عند عودة المكبس إلى الخلف يعيد بخار الماء (بعد أن خسر جزءاً من طاقته الحراريّة) عن طريق صمّام الخروج إلى المكثّف لتحويله إلى سائل وإعادته إلى المنبع الساخن. نلاحظ أنّ بخار الماء يحوّل جزءاً من كميّة حرارته إلى عمل، ويعيد الباقي إلى المنبع البارد.

هل يستطيع المحرّك الحراريّ تكرار دورته عند حذف المنبع البارد؟

لا يستطيع المحرّك تكرار دورته لأنّ الماء السائل عندما يتحوّل إلى بخار يجب أن يبرّد ليعود إلى الطّور السائل.

مردود المحرّك الحراريّ:

هو نسبة العمل الميكانيكي الذي ينجزه المحرّك إلى الطاقة الحراريّة الكلية التي يأخذها المحرّك من المنبع الساخن:

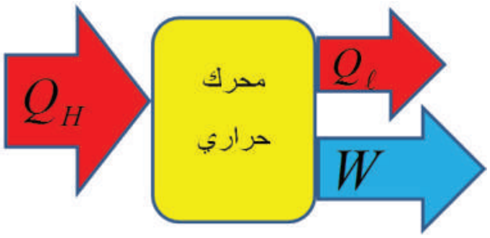
$$e = \frac{W}{Q_H}$$

استناداً إلى المبدأ الأول في الترموديناميك (مصونية الطاقة)

$$Q_H = Q_\ell + W$$

$$W = Q_H - Q_\ell$$

$$e = \frac{Q_H - Q_\ell}{Q_H} = 1 - \frac{Q_\ell}{Q_H}$$



الشكل 13-4-2
مردود المحرك الحراري

وتتميّز المحرّكات من حيث مردودها، ويفضّل المحرّك ذو المردود الأعلى.

نص المبدأ الثاني:

لا يمكن صنع محرّك حراري بمنبع وحيد.

لا يمكن تحقيق تحوّل مغلق يتبادل الحرارة مع منبع وحيد، ويقدّم عملاً ميكانيكياً.

جسم الإنسان كآلة حراريّة:

يعدّ جسم الإنسان كآلة حراريّة وفيه يؤخذ الطعام والأكسجين كوقود، ويبذل هذا الجسم عملاً بالنشاط العضلي، ويعطي للوسط الخارجيّ أيضاً حرارة وغاز ثنائي أكسيد الكربون.

عندما ترتفع درجة حرارة الجملة الترموديناميكيّة أو يحدث تغيّر في حالتها الفيزيائيّة من (صلب ← سائل ← غاز) تكون الجملة اكتسبت من الوسط الخارجيّ كميّة من الحرارة Q .

عندما تنخفض درجة حرارة الجملة الترموديناميكيّة أو يحدث تحوّل في حالتها الفيزيائيّة من (غاز ← سائل ← صلب) تكون الجملة أعطت إلى الوسط الخارجيّ كمية من الحرارة Q .

ما يجب تذكّره

- الجملة الترموديناميكيّة هي جملة ماديّة أو مجموعة من الأجسام الماديّة المرتبط بعضها ببعض والمنفصلة بسطوح فصل حقيقيّة أو تخيليّة عن الوسط الخارجيّ، والوسط الخارجيّ هو كلّ شيء يقع خارج حدود الجملة.
- الجملة المعزولة: هي جملة لا تتبادل الطاقة ولا المادّة مع الوسط الخارجيّ.
- الجملة المغلقة: هي جملة تتبادل الطاقة ولا تتبادل المادّة مع الوسط الخارجيّ.
- الجملة المفتوحة: هي جملة تتبادل الطاقة والمادّة مع الوسط الخارجيّ.
- التحوّل المغلق: إذا كانت الحالة النهائيّة للجملة متطابقة تماماً مع الحالة الابتدائيّة.
- التحوّل المفتوح: إذا كانت الحالة النهائيّة للجملة مختلفة عن الحالة الابتدائيّة للجملة.
- تحوّل متساوي الدرجة: إذا بقيت درجة حرارة الجملة الترموديناميكيّة ثابتة أثناء التحوّل يسمى التحوّل متساوي الدرجة.
- تحوّل متساوي الحجم: إذا بقي حجم الجملة الترموديناميكيّة ثابتاً أثناء التحوّل يسمى التحوّل متساوي الحجم.
- تحوّل متساوي الضغط: إذا بقي ضغط الجملة الترموديناميكيّة ثابتاً أثناء التحوّل يسمّى التحوّل متساوي الضغط.
- قانون العمل الميكانيكي الذي تتلقاه جملة تخضع لضغط خارجي ثابت P ويتغيّر حجمها نتيجة لذلك بمقدار ΔV يعطى بالعلاقة : $\overline{W} = -P\,\overline{\Delta V}$
- عند التوازن الحراريّ تتوقف الأجسام عن التبادل الحراريّ فيما بينها.
- يمكن تحويل العمل إلى حرارة.
- يمكن تحويل الحرارة إلى عمل.
- المبدأ الأول في الترموديناميك: تتحوّل الطاقة من شكل إلى آخر دون زيادة أو نقصان، ولا يمكن إيجادها من العدم أو إفناؤها.
- المبدأ الثاني في الترموديناميك: لا يمكن صنع محرّك حراريّ يتبادل الحرارة مع منبع وحيد.
- مردود المحرّك الحراريّ: هو نسبة العمل الميكانيكي الذي يقدمه المحرّك إلى الطاقة الحراريّة الكلية التي يأخذها المحرّك من المنبع الساخن: $e = \dfrac{W}{Q_H}$

أنشطة وتدريبات

أولاً- اختر الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1- آلة حراريّة تنتج عملاً ميكانيكياً مقداره $2250\ J$ وتعطى كميّة من الحرارة مقدارها $250\ J$ فإنّ مردودها:

a) 20 %　　b) 30 %　　c) 90 %　　d) 100 %

2- تسقط كرة كتلتها $m = 10\ kg$ سقوطاً حراً، فتصل إلى حاجز أفقي بطاقة حركية $E_k = 10000\ J$ ثمّ ترتدّ الكرة عن الحاجز شاقولياً نحو الأعلى مسافة $h = 10\ m$ حتّى الوقوف الآني، فإنّ الطاقة الحراريّة الناتجة عن الصدم $(g = 10\ m.s^{-2})$:

a) 600 J　　b) 3000 J　　c) 9000 J　　d) 1000 J

ثانياً- أجب عن الأسئلة الآتية:

1- متى تقدّم الجملة عملاً إلى الوسط الخارجيّ؟ وما الدليل التجريبيّ على ذلك؟

2- متى تتلّقى الجملة عملاً من الوسط الخارجيّ؟ وما الدليل على ذلك؟

ثالثاً: حلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى: إذا افترضنا أن حجم رئتي الإنسان يزداد بمقدار $500\ cm^3$ عند عملية الشهيق الواحد، احسب العمل المبذول على الرئتين خلال تلك العملية معتبراً الضغط داخل الرئتين يبقى ثابتاً، ويساوي الضغط الجويّ وقدره $10^5\ Pa$.

المسألة الثانية: تمدّد غاز محصور في أسطوانة مزوّدة بمكبس من حجم مقداره $V_1 = 0.02\ m^3$ وضغط $P_1 = 500\ k\ Pa$ إلى حجم قدره $V_2 = 0.022\ m^3$ عند الدرجة نفسها.المطلوب حساب:

1) العمل الميكانيكي الذي ينجزه الغاز.

2) المسافة التي يتحرّكها المكبس إذا علمت أنّ مساحة سطح المكبس $s = 0.05\ m^2$

المسألة الثالثة: محرّك حراري يأخذ من المنبع الساخن كميّة من الحرارة مقدارها $30000\ kJ$ ويعطي إلى المنبع البارد كميّة من الحرارة $21000\ J$ والمطلوب حساب:

1) العمل الميكانيكي الذي ينجزه المحرّك في دورة واحدة.

2) مردود المحرّك.

المسألة الرابعة: ينتج محرّك سيارة عملاً ميكانيكياً $23000\ J$ مقداره في الثانية، فإذا علمت أنّ مردود المحرّك 20 % احسب كميّة الحرارة التي ينفقها المحرك في الثانية.

الكهرباء والمغناطيسيّة

- السّعة الكهربائيّة
- المكثّفات
- المغناطيسيّة

الكهرباء والمغناطيسيّة

الأهدافُ العامّة للوحدة :

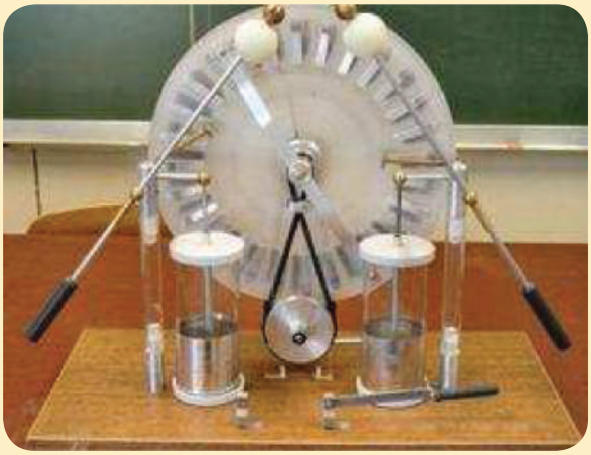
يجب أنْ يكون المتعلّمُ في نهايةِ الوحدة قادراً على أن:

- يشرحَ مفهومَ السّعةِ الكهربائيّةِ لناقل.
- يتعرّفَ المكثّفة.
- يذكرَ بعضَ استعمالاتِ المكثّفاتِ في حياتِنا اليوميّة.
- يصفَ الحقولَ المِغناطيسيَّة (للأرضِ، لمِغناطيس، لتيّارٍ كهربائي).
- يحلّ تمارين ومسائل تطبيقيّة.

السّعة الكهربائيّة

الأهداف التعليمية

1. يوضّح مفهوم السّعة الكهربائيّة.
2. يستنتج بيانيّاً سعة ناقل.
3. يحدّد العوامل المؤثّرة على سعة ناقل.
4. يستنتج العلاقة التي تحدّد السّعة الكهربائيّة لناقل كرويّ.
5. يفسّر توزّع الشحنات بين النواقل المتّصلة مستنتجاً العلاقات اللازمة.



جهاز ويمشورت الذي يستخدم لشحن النواقل

تختلف النواقل الكرويّة باختلاف أنصاف أقطارها وبالتالي بمساحة سطوحها الخارجيّة، فهي تختلف بسعاتها الكهربائيّة.

السّعة الكهربائيّة مقدار يميّز الناقل الكرويّ ويتناسب طرداً مع نصف قطره. لنتوصّل إلى ذلك من خلال التجربة العمليّة.

من نتائج التجربة نجد:

$$\frac{\bar{q}_1}{\bar{V}_1}=\frac{\frac{\bar{q}_1}{2}}{\frac{\bar{V}_1}{2}}=\frac{\frac{\bar{q}_1}{3}}{\frac{\bar{V}_1}{3}}=const$$

أي:

$$\boxed{\frac{\bar{q}}{\bar{V}}=const}$$

الشكل 1-1-3
يستخدم الكشاف الكهربائي لقياس شحنة ناقل ويستخدم أيضا لقياس كمون ناقل

نسـمّي المقـدار الثـابت لقيمة النسبة بين شحنة الناقل $\bar{q}$ وكمونه $\bar{V}$ بالسّعة الكهربائيّة لناقل.

وهو عدد موجب دوماً نرمز له بالرمز C وحدته في الجملة الدولية (SI) هي الفاراد (F).

$$C = \frac{\bar{q}}{\bar{V}}$$

حيث: C سعة الناقل بالفاراد F

q شحنة الناقل بالكولوم C

V كمون الناقل بالفولط V

تعريف الفاراد:

هو السّعة الكهربائيّة لناقل معزول إذا شحن بشحنة مقدارها كولومٌ واحدٌ يكون كمونه فولطاً واحداً.

علاقة سعة ناقل كروي بنصف قطره:

نعلم أنّ كمـون نـاقـل كـروي نصـف قطـره r مشحون بشحنة $\bar{q}$ يعطى بالعلاقة:

$$\bar{V} = 9\times10^{9}\,\frac{\bar{q}}{r}$$

ويسمّى الكمون المطلق للناقل.

إذا وجد ناقل غير مشحون بجوار ناقل مشحون آخر، فإنّ الكمون الذي يكتسبه هذا الناقل يسمّى الكمون التأثيري، وهو يتعلق بنوع الوسط العازل بين الناقلين.

نعوض في السّعة الكهربائيّة لناقل مشحون ومعزول:

$$C = \frac{\bar{q}}{\bar{V}} \Rightarrow C = \frac{\bar{q}}{9\times10^{9}\,\frac{\bar{q}}{r}} \Rightarrow$$

$$\boxed{C = \frac{r}{9\times10^{9}}}$$

وهي العلاقة التي تحدّد سعة ناقل كرويّ بدلالة نصف قطره.

إذاً: **سعة ناقل كرويّ تتناسب طرداً مع نصف قطره .**

مـن أجل ناقل كرويّ معزول سعته $C = 1\ F$ يكون نصف قطره $r = 9 \times 10^{9}\ m$ وهذا يفوق كثيراً نصف قطر الأرض الذي يبلغ $R = 6380 \times 10^{3}\ m$ ، حيث إنّ سعة الكرة الأرضية باعتبارها ناقلاً كرويّاً تساوي تقريباً $C = 7 \times 10^{-4}\ F$ ومنه نقول إنّ الفاراد وحدة كبيرة جداً، لذلك نستخدم عملياً وحدات صغيرة كالميكروفاراد $1\ \mu F = 10^{-6}\ F$ والنانوفاراد $1\ nF = 10^{-9}\ F$ والبيكوفاراد $1\ pF = 10^{-12}\ F$.

العوامل المؤثّرة في السّعة الكهربائيّة لناقل:

1- مساحة سطح الناقل:

- نأخذ صفيحة معدنية رقيقة من الألمنيوم (أو القصدير) ملفّوفة عدّة لفات على قلم بلاستيكي.

- نشحن الصفيحة المعدنية عن طريق ملامستها بجسم مشحون بعد وصلها بسلك دقيق وطويل بقرص كشّاف غير مشحون فتنفرج وريقة الكشّاف المدرّج بالفولط كما في الشكل (a).

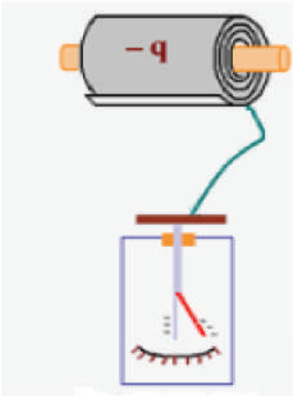
- نفرد الصفيحة المعدنية بواسطة تدوير القلم البلاستيكي لتزداد مساحة السطح المفرود دون ملامستها كما في الشكل (b)، فنلاحظ تناقص انفراج وريقة الكشّاف، مما يدلّ على تناقص كمون الناقل، وبما أنّ السعة تتناسب عكساً مع الكمون $C = \frac{q}{V}$ نستنتج أنّ سعة الناقل ازدادت لأنّ شحنته ثابتة.

أي: تزداد سعة الناقل بزيادة مساحة سطحه الخارجيّ.

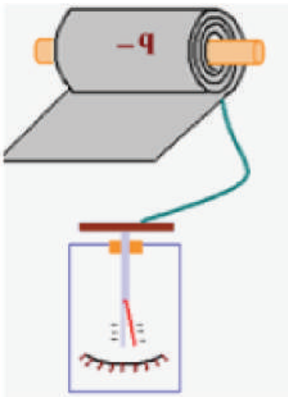
2- وجود نواقل مجاورة:

- نصل ناقلاً مشحوناً ومعزولاً A بقرص كشّاف كهربائي مدرّج بالفولط بوساطة سلك طويل ودقيق فتنفرج وريقة الكشّاف الكهربائي كما في الشكل (a).

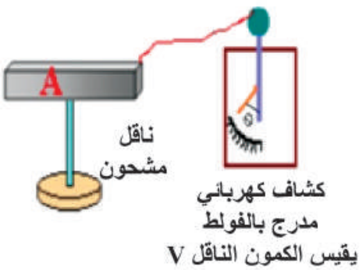
- نقرّب من الناقل A ناقلاً معتدلاً B فيتناقص انفراج وريقة الكشّاف، مما يدلّ على تناقص كمون الناقل A كما في الشكل (b).



الشكل 2-1-3
a) يدلّ الكشاف على كمون الصحيفة المشحونة



الشكل 2-1-3
b) يدلّ الكشاف على تناقص كمون الصفيحة نتيجة تزايد السّعة

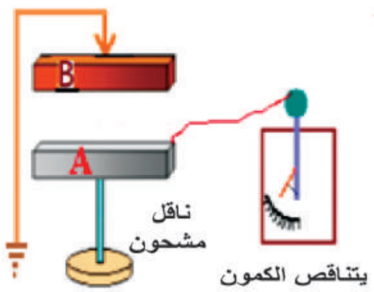


الشكل 3-1-3
a) ناقل موصول بقرص كشاف كهربائي

- نصل الناقل B بالأرض فيتناقص الانفراج، ممّا يدلّ على تناقص جديد في كمون الناقل A.

إنّ تناقص الكمون يدلّ على تزايد السعة الكهربائيّة للناقل لأنّ شحنته ثابتة.

$$C = \frac{\overline{q}}{\overline{V}}$$

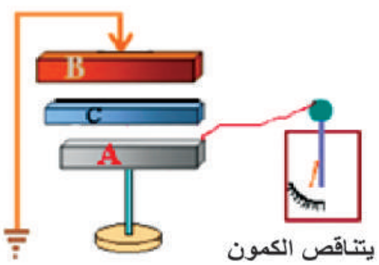


الشكل 3-1-3

b) تتعلق سعة الناقل بمجاورته نواقل أقرب

3- الوسط العازل بين الناقل والنواقل المجاورة:

نضع بين الناقلين السابقين A و B وسطاً عازلاً وليكن صفيحة زجاجية كما في الشكل **3-1-4**، نلاحظ تناقصاً جديداً في انفراج وريقة الكشّاف دلالة تناقص جديد في كمون الناقل، أي تزداد سعته الكهربائية.



الشكل 3-1-4

للوسط العازل علاقة بسعة الناقل

نتيجة:

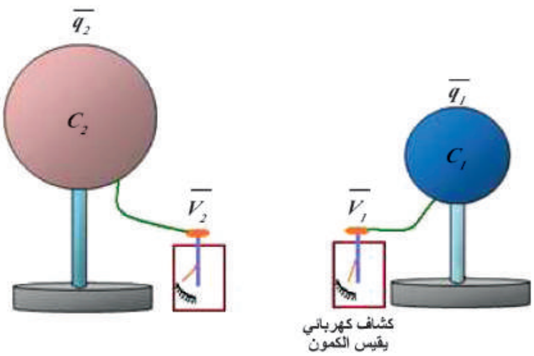
تزداد سعة ناقل كهربائي مشحون ومعزول إذا زادت مساحة سطحه أو جاور نواقل أخرى، وتتغيّر سعته بتغيّر نوع الوسط الفاصل بين الناقل المشحون والنواقل المجاورة.

توزّع الشحنات على سطوح النواقل المتصلة:

- نأخذ ناقلين مشحونين ومعزولين شحنتها $\overline{q_2}, \overline{q_1}$ وسعتها C_2, C_1 وكمونهما $\overline{V_2}, \overline{V_1}$ ونضع كلّاً منهما على قرص كشّاف كهربائي كما في الشكل (a). نلاحظ انحراف وريقة كل كشّاف بزاوية تختلف عن الأخرى.

- لنكتب العلاقتين اللتين تعبّران عن شحنة كلّ من الناقلين:

$$\overline{q_2} = C_2 \overline{V_2} \quad , \quad \overline{q_1} = C_1 \overline{V_1}$$

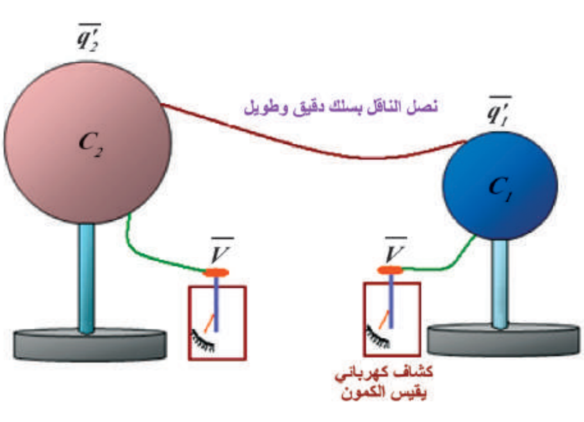


الشكل 3-1-5 (a) ناقلين مختلفين بشحنتهما وكمونيهما وسعتيهما

- نصل سطحي الناقلين بسلك رفيع وطويل كما في الشكل (b).

ماذا تلاحظ ؟

تتساوى زاويتا انفراج كلّ من وريقتي الكشّافين الكهربائيين.



الشكل 3-1-5 (b) يتساوى كمونا الناقلين بعد الوصل بسلك طويل ورفيع

يدلّ هذا على تساوي كمون كلّ من الناقلين. ندعوه الكمون المشترك (كمون التوازن).

وتكون العلاقتان اللتان تعبّران عن شحنة كلّ من الناقلين بعد الوصل:

$$\overline{q'_2}=C_2\overline{V} \quad , \quad \overline{q'_1}=C_1\overline{V}$$

إيجاد قانون الكمون المشترك:

$$\overline{V}=\frac{\overline{q'_1}}{C_1}=\frac{\overline{q'_2}}{C_2}=\frac{\overline{q'_1}+\overline{q'_2}}{C_1+C_2}$$

ولكن $\overline{q'_1}+\overline{q'_2}=\overline{q_1}+\overline{q_2}$ (حسب مبدأ مصونية الشحنات، بإهمال الشحنات المتوضعة على سطح السلك)

نعوّض فنجد: $\overline{V}=\dfrac{\overline{q_1}+\overline{q_2}}{C_1+C_2}$

$$\boxed{\overline{V}_{eq}=\frac{\sum\overline{q}}{\sum C}}$$

- أي أنّ كمون التوازن يساوي النسبة بين المجموع الجبري للشحنات على مجموع السعات.

- تتوزّع الشحنات على السطوح الخارجية للنواقل المتّصلة بنسبة سعاتها.

$$\left.\begin{array}{l}\overline{q'_1}=\overline{V}\,C_1\\ \overline{q'_2}=\overline{V}\,C_2\end{array}\right\}\Rightarrow\frac{\overline{q'_1}}{\overline{q'_2}}=\frac{C_1}{C_2}$$

لنفسّر إلكترونياً ذلك: تنتقل الإلكترونات الحرّة من الناقل ذي الكمون المنخفض إلى الناقل ذي الكمون المرتفع، ويستمر ذلك الانتقال حتّى يتم التوازن بتساوي كمونيهما، نحصل على الكمون المشترك الذي ندعوه بكمون التوازن.

ما يجب تذكّره

- السّعة الكهربائيّة لناقل مشحون ومعزول هي قيمة النسبة الثابتة التي تقيس شحنته $\overline{q}$ إلى كمونه $\overline{V}$ وتعطى بالعلاقة: $C = \frac{\overline{q}}{\overline{V}}$
- سعة ناقل كرويّ تتناسب طرداً مع نصف قطر الناقل $C = \frac{r}{9 \times 10^{9}}$
- تزداد سعة ناقل لو ازدادت مساحة سطحه أو جاور نواقل أخرى وتتغيّر السّعة بتغيّر نوع الوسط العازل الفاصل بين الناقل المشحون والنواقل المجاورة.
- تتوزّع الشحنات على السطوح الخارجية للنواقل المتّصلة بنسبة السعات والكمون المشترك يدعى كمون التوازن:

$$\overline{V_{eq}} = \frac{\sum \overline{q}}{\sum C}$$

- عند وصل ناقلين خارجاً بسلك تنتقل الإلكترونات الحرّة من الناقل ذي الكمون المنخفض إلى الناقل ذي الكمون المرتفع، ويستمر الانتقال حتّى يتم التوازن بتساوي كمونيهما.

أنشطة وتدريبات

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1- نشحن ناقلين مختلفين سعةً بشحنتين متساويتين فيكون:

a) أكبرهما سعة أصغرهما كموناً.

b) أصغرهما سعة أصغرهما كموناً.

c) كمون الأوّل يساوي كمون الثاني.

d) ليس أيّاً ممّا سبق.

2- إذا كان لناقلين مختلفين سعة الكمون نفسه فإنّ:

a) أكبرهما سعة أكبرهما شحنة .

b) أكبرهما سعة أصغرهما شحنة.

c) شحنة الأوّل تساوي شحنة الثاني.

d) ليس أيّاً ممّا سبق.

3- ناقل كرويّ مشحون نصف قطره r ، نجعل نصف قطره $2r$ مع ثبات الشحنة فإنّ كمونه الكهربائي:

a) يصبح مثلي ما كان عليه.

b) يصبح أربعة أمثال ما كان عليه.

c) لا يتغيّر.

d) يصبح نصف ما كان عليه.

4- ناقل كرويّ مشحون ومعزول شحنته $q = 3\ \mu C$ في الهواء وقطره $27\ cm$، فإنّ كمونه الكهربائي يكون:

a) $4 \times 10^{+5}\ V$ b) $3 \times 10^{+5}\ V$ c) $2 \times 10^{+5}\ V$ d) $1 \times 10^{+5}\ V$

5- كرة معدنية معزولة نصف قطرها $r_1 = 9\ cm$ وشحنتها $\overline{q_1} = 4\ \mu C$ وكرة معدنية أخرى غير مشحونة سعتها $C_2 = 3C_1$ ، عندما نصل سطحي الكرتين بسلك رفيع وطويل فإنّ كمون التوازن هو:

a) $10^{+6}\ V$ b) $10^{+4}\ V$ c) $10^{+3}\ V$ d) $10^{+5}\ V$

6- ناقل مشحون ومعزول سعته الكهربائيّة $C = 6.4\ \mu F$ موصول بمنبع كهربائي ساكن كمونه $V = 100\ V$

فإذا علمت أنّ $e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$ فإنّه يكتسب عدداً من الإلكترونات مقداره:

a) $n = 4 \times 10^{+15}$ b) $n = 6.4 \times 10^{+4}$ c) $n = 1.5 \times 10^{+6}$ d) $n = 3.2 \times 10^{+6}$

7- كرة معدنية معزولة سعتها C_1 وكمونها V_1 ، وكرة معدنية ثانية جوفاء غير مشحونة سعتها $C_2 = 2C_1$، ندخل الكرة الأوّلى في الكرة الثانية حتّى تلامسها من الداخل فيكون كمون الكرة الأوّلى:

a) لا يتغيّر.

b) يصبح مثلي ما كان عليه.

c) يصبح ثلث ما كان عليه.

d) يصبح نصف ما كان عليه.

8- نصل ناقلاً كمونه موجب بواسطة سلك بالأرض، فإنّ الإلكترونات:

a) تنتقل من الأرض إلى الناقل.

b) تنتقل من الناقل إلى الأرض.

c) لا تنتقل بين الناقل والأرض.

d) تنتقل الإلكترونات من الناقل إلى الأرض، ثمّ تقف عن الانتقال.

9- ناقل كرويّ معزول نصف قطره 9 cm تكون سعته:

a) $1 \times 10^{-11}\ F$ b) $2 \times 10^{-11}\ F$ c) $3 \times 10^{-11}\ F$ d) $5 \times 10^{-11}\ F$

10- ناقل كرويّ مشحون ومعزول كمونه $\overline{V}_1$ نصله بسلك دقيق وطويل بناقل كرويّ مماثل بنصف القطر غير مشحون، فيكون الكمون المشترك لهما:

a) $\overline{V}_1$ b) $2\overline{V}_1$ c) $\frac{\overline{V}_1}{2}$ d) $3\overline{V}_1$

ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1- لماذا نستعمل سلكاً رفيعاً وطويلاً نصل به بين سطحي ناقلين لهما كمونين مختلفين حتّى نحصل على كمون التوازن؟

2- عدّد العوامل المؤثّرة في السّعة الكهربائيّة لناقل.

3- إذا تساوى كمونا ناقلين كرويّين مختلفين حجماً، فهل تتساوى شحنتاهما؟ ولماذا ؟

4- لدينا كرتان معدنيتان مشحونتان ومعزولتان ومختلفتان قطراً، شحنتهما q_1 ، q_2 نصل سطحيهما بسلك رفيع وطويل فيصبح لهما الكمون نفسه. استنتج العلاقة بين q_1' ، q_2' بدلالة نصفي قطريهما.

5- إذا شحن ناقلان معزولان بكميّتين متساويتين من الشحنة الكهربائيّة فهل من الضروري أن يتساوى كمونهما؟ ولماذا؟

6- سعة ناقل كرويّ تتناسب طردا مع مساحة سطحه. وضّح ذلك باستخدام العلاقة الرياضية المناسبة.

ثالثاً: حلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى: ناقل كرويّ نصف قطره 4.5 cm نصله بكمون 100 V احسب:

1) سعته الكهربائيّة.

2) الشحنة التي اكتسبها.

المسألة الثانية: ثلاثة نواقل سعاتها 1 μF ، 2 μF ، 3 μF تحمل الشحنات على الترتيب 50 μC ،25 μC، 60 μC إذا وضعت هذه النواقل في الهواء وعلى أبعاد كافية بعضها من بعض، ووصلت معاً بسلك رفيع وطويل. فاحسب كمون التوازن.

المسألة الثالثة: ناقل سعته 1 μF وكمونه 100 V وناقل آخر سعته 1.5 μF وكمونه 75 V نصل سطحي الناقلين بسلك طويل ورفيع والمطلوب حساب:

1) شحنة كلّ من الناقلين بعد الوصل.

2) الشحنة التي انتقلت من أحدهما للآخر.

المسألة الرابعة: ناقلان كرويّان معزولان ومشحونان، نصف قطر الأوّل 8 cm وشحنته 1×10^{-7} C ونصف قطر الثاني 6 cm وشحنته 0.4×10^{-7} C ، نصل الناقلين بسلك رفيع وطويل والمطلوب :

1) بيّن بالحساب إلى أيّ اتجاه تنتقل الإلكترونات.

2) احسب الكمون المشترك للناقلين.

3) احسب شحنة كلّ من الناقلين بعد الوصل.

المسألة الخامسة: كرة معدنية معزولة نصف قطرها $r_1 = 2\ cm$ كمونها $V_1 = 15000\ V$ وكرة معدنية أخرى غير مشحونة جوفاء نصف قطرها $r_2 = 8\ cm$، المطلوب حساب كمون وشحنة كلّ من الكرتين في كلّ من الحالتين الآتيتين:

1) بعد وصل الكرتين من خارجها بسلك طويل ورفيع .

2) بعد أن ندخل الكرة الأوّلى في الكرة الثانية حتّى تلامسها من الداخل بدلاً من الوصل السابق.

المسألة السادسة: كرة معدنية مشحونة كمونها 1200 V ونصف قطرها 10 cm المطلوب حساب:

1) سعة الكرة

2) شحنة الكرة

المسألة السابعة: كرة معدنية معزولة نصف قطرها 9 cm كمونها 7000 V، وكرة معدنية معزولة جوفاء نصف قطرها 18 cm كمونها 2000 V- المطلوب:

1) حساب سعة وشحنة كلّ منهما؟

2) نصل الكرتين بسلك دقيق وطويل، والمطلوب حساب:

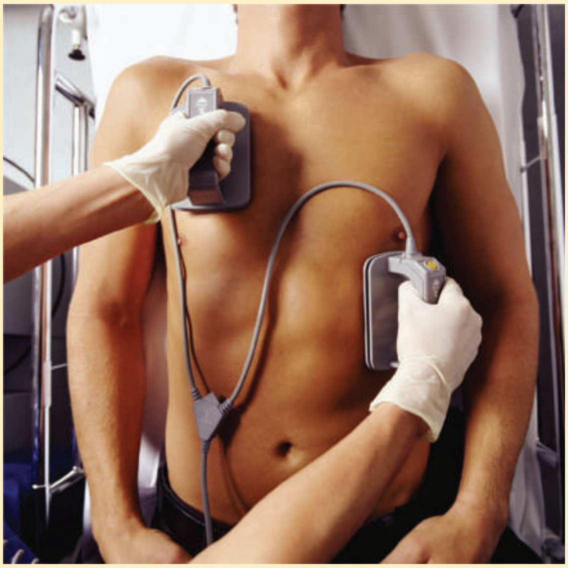
a- الكمون المشترك للكرتين وشحنة كلّ منهما بعد الوصل ؟

b- مقدار الشحنة التي انتقلت من إحداهما إلى الأخرى ؟

3) نُعيد كلّاً من الكرتين إلى الحالة قبل الوصل، ونُدخل الكرة الأوّلى في الثانية حتّى تلامسها من الداخل.

المطلوب حساب شحنة وكمون كلّ منهما بعد التلامس؟

المكثّفات



الأهداف التعليمية

1. يتعرف المكثّفة وأنواعها.
2. يقوم بتجارب على شحن وتفريغ المكثّفة.
3. يبيّن العوامل المؤثرة على سعة المكثفة.
4. يتعرّف طرق توصيل المكثّفات والعلاقات المتعلّقة بها.
5. يستنتج بيانيّاً الطاقة المختزنة في المكثّفة.

تظهر الصور الملتقطة في الآلات التصوير بوضوح حتّى في الظلام لوجود الفلاش (مصباح الإضاءة الفوريّة من الكزينون) حيث يتوهّج بشدّة عند تفريغ شحنة كهربائية في مصباح الكزينون اختُزنت في عنصر كهربائي نسمّيه المكثّفة في لحظة التقاط الصورة.

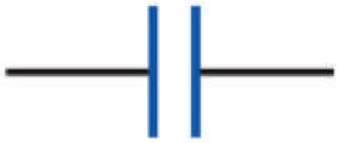
فالمكثّفة عنصر أساسيّ في الدارات الكهربائية والإلكترونيّة. فما هي المكثّفة؟

الشكل 1-2-3
المكثّفة

المكثّفة في أبسط أنواعها عبارة عن سطحين ناقلين متجاورين كبيرين بالنسبة لثخن العازل الذي يفصل بينهما، ويدعى كلّ سطح منهما بلبوس المكثّفة.

أول مكثفة في التاريخ صنعها عالم هولندي في مدينة لايد عام 1745 م وسميت باسم زجاجة لايد.

عند شحن المكثّفة فإنها تختزن الطاقة الكهربائيّة. ونعني بشحنة مكثّفة مقدار الشحنة التي يحملها كلّ لبوس من لبوسيها. وتكون سعة المكثّفة هي النسبة الثابتة التي تقيس شحنة أحد اللّبوسين إلى فرق الكمون بينهما

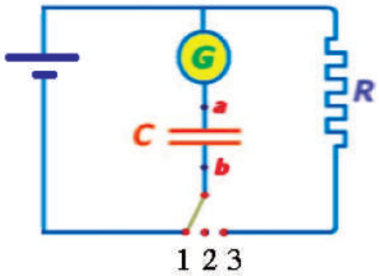


وسنبرهن على ذلك تجريبياً فيما بعد، ونرمز للمكثّفة بخطين متوازيين متساويين بالطول.

شحن وتفريغ المكثّفة:

الأدوات اللازمة: مولّد تيّار متواصل، مقياس غلفاني، مكثّفة، قاطعة ذات اتّجاهين، أسلاك توصيل، مقاومه أوميّة R صغيرة.

1- شحن المكثّفة:



الشكل 2-2-3

دارة شحن وتفريغ المكثفة

نشكّل دارة حسب الشكل ونصل القاطعة بالنقطة (1) فينحرف مؤشّر المقياس لفترة زمنيّة قصيرة Δt ثمّ يعود إلى الصفر.

نعلّل ذلك بأنّ المولّد يعمل على تحريك الإلكترونات الحرّة من اللّبوس a إلى اللّبوس b عبر المقياس الغلفاني فينحرف مؤشّر المقياس دالاً على مرور تيّار كهربائي لحظي، وينشأ فرق في الكمون بين اللّبوسين a و b وتستمرّ هذه الحركة ويزداد فرق الكمون U_{ab} تدريجياً حتّى يصبح مساوياً للقوّة المحركة الكهربائيّة للمولّد وتتوقف حركة الإلكترونات وتنعدم شدّة التيار، وينتهي الشحن ويكون اللّبوس b قد اكتسب شحنة سالبة $q_b = -ne^-$ وتصبح شحنة اللّبوس a موجبة $q_a = +ne^-$ حيث n عدد الإلكترونات المنتقلة، وبهذا يُشحن لبوسا المكثّفة بشحنتين متعاكستين بالإشارة ومتساويتين بالقيمة المطلقة q نسمّيها شحنة المكثّفة.

$$q = |q_a| = |q_b|$$

عندما نعزل المكثّفة عن المنبع وذلك بوصل القاطعة إلى النقطة 2 هل تتناقص شحنة المكثّفة ؟

لا تتناقص الشحنة إذا كان العازل بين لبوسي المكثّفة تامّ العزل؛ لأنّه يمنع انتقال الإلكترونات من اللّبوس b إلى اللبوس a.

2- تفريغ المكثّفة:

نصل القاطعة إلى النقطة (3) كما في الشكل السابق، تنتقل الإلكترونات الحرّة من اللّبوس السالب b لتعود إلى اللّبوس الموجب a عبر الدارة الخارجية R فيصبح كلّ من لبوسيها في حالة الاعتدال الكهربائي وعندئذٍ تنعدم شحنة المكثّفة.

المكثّفة المستوية:

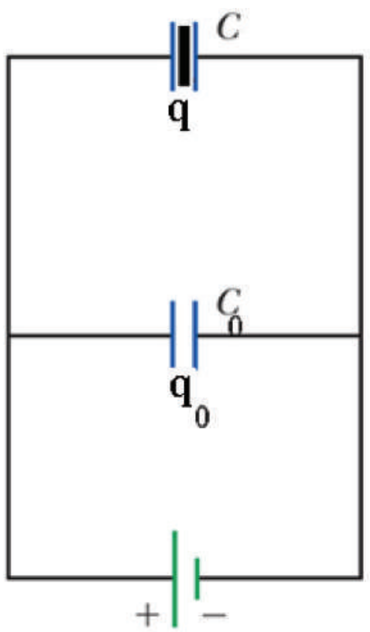
تتألّف المكثّفة المستوية من سطحين ناقلين مستويين متوازيين يفصل بينها عازل.

العوامل المؤثّرة في سعة مكثّفة مستوية:

1- تتناسب سعة المكثّفة المستوية طرداً مع السطح المشترك (المتقابل) s للبوسيها.

2- تتناسب سعة المكثّفة المستوية عكساً مع البُعد d الفاصل بين لبوسيها (ثخن العازل).

3- تتوقف سعة المكثّفة المستوية على نوع العازل بين اللّبوسين: فإذا كان لدينا مكثّفتان لهما السطح المشترك نفسه والبُعد بين اللّبوسين نفسه، ولكن عازل إحداهما الخلاء (نقبل الهواء عملياً) وعازل الأخرى غير الهواء. نصل المكثّفتين، كما في الشكل المجاور، بحيث نطبّق عليهما فرق الكمون نفسه، ونقيس شحنة كلّ من المكثّفتين، فنجد أنّ $q \rangle q_0$ ولتصبح هذه العلاقة في حالة التساوي يجب أن يكون $q = \varepsilon q_0$



الشكل 3-2-3
العوامل المؤثّرة في سعة مكثفة مستوية

حيث $\varepsilon \rangle 1$ يدعى ثابت العزل الكهربائي للعازل غير الخلاء.

بما أنّ $U = const$ نقسم طرفي العلاقة (1) عليها:

$$\frac{q}{U} = \varepsilon \frac{q_0}{U} \Rightarrow$$

$$C = \varepsilon C_0$$

دستور سعة المكثّفة المستوية:

$$C = const\ \varepsilon_r \frac{s}{d}$$

حيث:

$\varepsilon_0 = const$: ثابت العزل الكهربائي في الخلاء قيمته بالجملة الدولية SI :

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} = 8.85 \times 10^{-12}\ \ F.m^{-1}$$

ε_r : ثابت العزل الكهربائي النسبي.

لكن: $\varepsilon = \varepsilon_0\, \varepsilon_r$

هل تعلم أنّ:

- سعة مكثفة الإضاءة في التصوير الفوتوغرافي 10^{-4} F.
- سعة مكثفة الإضاءة في السيارة 10^{-5} F.
- سعة مكثفة منع التشويش في الاستقبال الإذاعي 5×10^{-5} F.
- بادئ الإضاءة Starter في مصابيح النيون يستخدم مكثفة ورقية.

$$C = \varepsilon_0 \, \varepsilon_r \, \frac{s}{d}$$

$$C = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} \, \varepsilon_r \, \frac{s}{d}$$

$$C = 8.85 \times 10^{-12} \, \varepsilon_r \, \frac{s}{d}$$

يمكن الحصول على مكثّفة كبيرة السّعة، تتحمل فروق كمون مرتفعة بأنّ نجعل:

1- سطوحَها واسعةً.

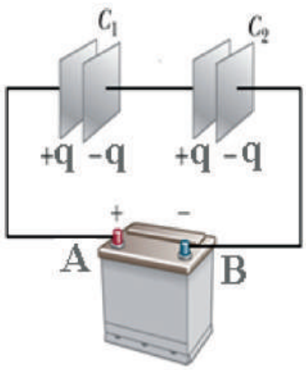
2- ثابتَ عزلِها كبيراً.

3- البُعدَ بين لبوسيها صغيراً ما أمكن.

ضم المكثّفات:

ضم المكثّفات على التسلسل:

ليكن لدينا مكثّفتان سعتاهما C_1 , C_2 موصولتان على التسلسل كما في الشكل، يُطبق المولّد على الطرفين النهائيّين فرقاً في الكمون ثابت U_{AB} فتكتسب اللّبوسات شحنات متساوية بالقيمة المطلقة كلّ منها q بسبب الشحن بالتأثير.



الشكل 3-2-4
وصل المكثفات على التسلسل

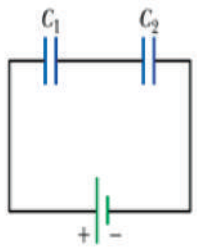
إنّ فرق الكمون الكليّ المطبّق على جملة المكثّفتين يساوي مجموع فروق الكمون بين طرفي كلّ مكثّفة:

$$U_{AB} = U_1 + U_2$$

لكن $U = \frac{q}{C}$ نعوّض فنجد:

$$\Rightarrow \frac{q}{C_{eq}} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2}$$

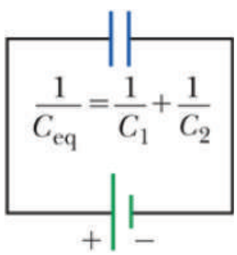
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$



الشكل 3-2-5
يكون لمكثفتين موصولتين على التسلسل الشحنة نفسها

ومنه دستور السّعة المكافئة لعدّة سعات موصولة على التسلسل يعطى بالعلاقة:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots\ldots\ldots + \frac{1}{C_n}$$



الشكل 3-2-6
السعة المكافئة لمكثفتين على التسلسل

إنّ مقلوب سعة المكثفة المكافئة يساوي مجموع مقاليب السعات الموصولة على التسلسل.

نتائج ضمّ المكثّفات على التسلسل:

1- يسمح بتجزئة فرق الكمون المرتفع (التوتّر العالي) إلى توتّرات أصغر منه، ممّا يحافظ على عمر أطول للعازل، ويحمي المكثّفة من التلف.

2- يجعل السّعة المكافئة أصغر من أيّ سعة للمكثّفات الموصولة.

3- إنّ مجموع مكثّفات سعاتها $C_1, C_2, \dots$ يكافئ مكثّفة وحيدة سعتها C_{eq} إذا طُبق بين لبوسيها فرق الكمون الكلي كان لها الشحنة نفسها.

حالة خاصة:

إذا تمّ وصل n مكثّفة متماثلة سعة كل منها C_1 على التسلسل تكون سعة المكثّفة المكافئة:

$$C_{eq}=\frac{C_1}{n}$$

ضمّ المكثّفات على التفرّع:

لدينا مكثّفتان سعتاهما C_1, C_2 موصولتان على التفرّع، كما في الشكل، نطبّق بين طرفي الجملة فرقاً في الكمون U_{AB} ثابتاً فإنّ كلّ مكثّفة تخضع إلى فرق الكمون نفسه؛ لأنّ اللّبوسات الموصولة إلى نقطة واحدة تشكّل ناقلاً واحداً شحنته تساوي مجموع شحنات هذه اللّبوسات:

$$q_{eq}=q_1+q_2$$

$$C_{eq}U_{AB}=C_1U_{AB}+C_2U_{AB}$$

$$C_{eq}=C_1+C_2$$

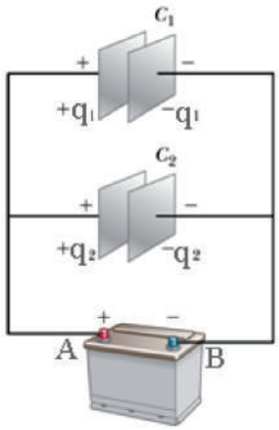
ومنه دستور السّعة المكافئة لعدّة مكثّفات موصولة على التفرّع.

$$C_{eq}=C_1+C_2+C_3+\dots\dots\dots\dots+C_n$$

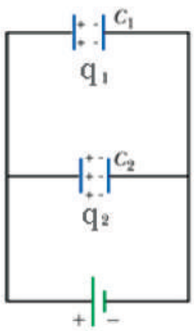
إنّ سعة المكثّفة المكافئة تساوي مجموع سعات المكثّفات الموصولة على التفرّع.

نتائج ضمّ المكثّفات على التفرّع:

- يسمح بالحصول على مكثّفة كبيرة السّعة من مكثّفات أصغر سعة منها.



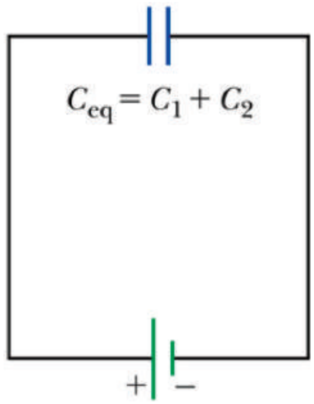
الشكل 3-2-7
الوصل على التفرع



الشكل 3-2-8
تختلف المكثفات الموصولة على التفرع بشحناتها

- يسمح باستخدام توتّر منخفض للحصول على شحنة كبيرة لا يمكن أن توفرها كل مكثّفة على حده.

- إنّ مجموعة مكثّفات ....., C_2 , C_1 على التفرّع تكافئ مكثّفة وحيدة إذا طُبق بين طرفيها فرق الكمون نفسه كانت شحنتها تساوي مجموع شحنات هذه المكثّفات.



الشكل 9-2-3
السعة المكافئة لمكثفتين موصولتين على التفرع مجموع السعتين

حالة خاصة:

إذا تم وصل n مكثّفة متماثلة سعة كلّ منها C_1 على التفرّع تكون سعة المكثّفة المكافئة: $C_{eq} = n C_1$

الطاقة الكهربائية المختزنة في مكثّفة مشحونة:

لاحظنا عند شحن المكثّفة أنّه كلما ازداد التوتّر الكهربائي بين لبوسيها ازدادت شحنتها

$$U_{(t)} = \frac{q_{(t)}}{C}$$

وعندما تتغيّر شحنة المكثّفة بمقدار dq تختزن المكثّفة طاقة عنصرية $dE = U\,dq$ وعند نهاية عملية الشحن تكون الطاقة المختزنة في المكثّفة تساوي مجموع الطاقات العنصرية

$$E = \sum U_1\, dq$$

أي أنّ الطاقة الكلية تساوي مساحة المثلث $o\,a\,b$:

$$E = \frac{1}{2} q\, U$$

حيث: U التوتّر الكهربائي (فرق الكمون) بالفولط (V)

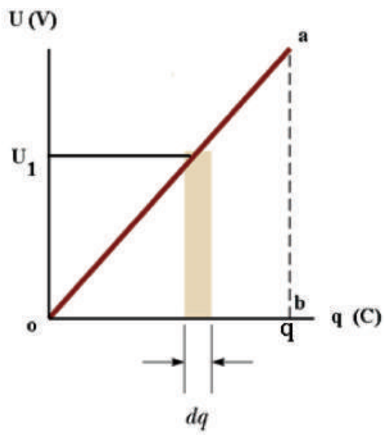
q الشحنة الكهربائيّة بالكولوم (C)

E الطاقة الكلية بالجول (J)

وبما أنّ: $U = \frac{q}{C}$

$$E = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$$

$$E = \frac{1}{2} C\, U^2$$



الشكل 10-2-3
المنحني البياني الممثل لتغيرات الشحنة بدلالة فرق الكمون بين لبوسي المكثفتين

مثال محلول (2):

لدينا ثلاث مكثّفات سعاتها $12\ \mu F$ ، $6\ \mu F$ ، $4\ \mu F$:

أ- نصل المكثّفات فيما بينها على التسلسل ونصل الطرفين النهائيين بقطبي منبع كهربائي متواصل بينهما توتّر $250\ V$ والمطلوب حساب:

1- سعة المكثّفة المكافئة .

2- التوتّر بين لبوسي كل مكثّفة.

ب- نقطع الاتّصال بين قطبي المنبع ونعيد وصل المكثّفات على التّفرع فيما بينها احسب:

1- شحنة المكثّفة الجديدة المكافئة.

2- سعة المكثّفة المكافئة.

3- شحنة كل مكثّفة بعد الوصل.

المعطيات :

$$V = 250\ V\ ,\ C_3 = 12\ \mu F\ ,\ C_2 = 6\ \mu F\ ,\ C_1 = 4\ \mu F$$

الحل: أ - 1- سعة المكثّفة المكافئة

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12} \Rightarrow$$

$$C_{eq} = 2\ \mu F \Rightarrow C_{eq} = 2 \times 10^{-6}\ F$$

2) حساب التوتّر بين طرفي كل مكثّفة

بما أنّ الوصل على التسلسل فشحنة المكثّفات متساوية بسبب الشحن بالتأثير

$$q_{eq} = q_1 = q_2 = q_3$$

نحسب الشحنة:

$$q_{eq} = C_{eq} V = 2\times10^{-6}\times250$$
$$\Rightarrow \quad q_{eq} = 5\times10^{-4}\ \mathrm{C}$$

التوتّر بين طرفي كل مكثّفة:

$$V_1 = \frac{q}{C_1} = \frac{5\times10^{-4}}{4\times10^{-6}} = 125\ \mathrm{V}$$
$$V_2 = \frac{q}{C_1} = \frac{5\times10^{-4}}{6\times10^{-6}} = 83.3\ \mathrm{V}$$
$$V_3 = \frac{q}{C_1} = \frac{5\times10^{-4}}{12\times10^{-6}} = 41.7\ \mathrm{V}$$

ب) الضمّ على التفرّع:

1- حساب شحنة المكثّفة المكافئة:

$$q_{eq} = q_1 + q_2 + q_3 \quad \Rightarrow$$
$$q_{eq} = 5\times10^{-4}\times3 = 15\times10^{-4}\ \mathrm{C}$$

2- حساب سعة المكثّفة المكافئة:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 \ \Rightarrow$$
$$C_{eq} = 4+6+12 = 22\ \mu\mathrm{F} \ \Rightarrow \ C_{eq} = 22\times10^{-6}\ \mathrm{F}$$

3- حساب شحنة كلّ مكثّفة بعد الوصل:

بما أنّ الوصل على التّفرع فإنّ التوتّر نفسه يكون لجميع المكثّفات.

نحسب التوتّر:

$$V = \frac{q_1+q_2+q_3}{C_1+C_2+C_3} = \frac{15\times10^{-4}}{22\times10^{-6}} \approx 68\ \mathrm{V}$$
$$q_1 = C_1 V = 4\times10^{-6}\times68 = 272\times10^{-6}\ \mathrm{C}$$
$$q_2 = C_2 V = 6\times10^{-6}\times68 = 408\times10^{-6}\ \mathrm{C}$$
$$q_3 = C_3 V = 12\times10^{-6}\times68 = 816\times10^{-6}\ \mathrm{C}$$

بعض أنواع المكثّفات:

تقسم المكثّفات إلى نوعين: مكثّفات ثابتة السّعة ومكثّفات متغيّرة السّعة، ويستخدم كلّ من النوعين في معظم الدارات الكهربائيّة والإلكترونية بحيث لا يخلو جهاز إلكتروني من وجود مكثّفات ثابتة السّعة أو متغيّرة السّعة.

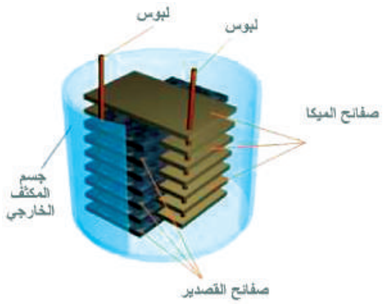
1- مكثّفات ثابتة السّعة:

رأينا أنّ السّعة تعتمد على السطح المشترك للبوسين، والبُعد بين اللّبوسين والوسط العازل بينهما، فإذا كانت هذه العوامل الثلاثة ثابتة لا تتغيّر، فإنّ سعة المكثّفة ستكون ثابتة.

ومنها:

أ- المكثّفة ذات الميكا:

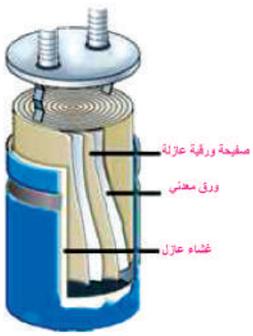
تتكون من صفائح رقيقة جداً من الميكا مطليّة بالقصدير بحيث توصل وجوهها الفردية إلى نقطة ووجوهها الزوجية إلى نقطة أخرى. لتؤلفا مربطي المكثّفة. وتتحمل فرقاً في الكمون حوالي 1000 V.



الشكل 3-2-11
المكثفة ذات الميكا

ب- المكثّفة الورقية:

تتكون من شريطين طويلين من ورق الألمنيوم يفصل بينهما ورق عازل ثمّ تلف على شكل لفافة وتوضع داخل أسطوانة من معدن البكليت وتتحمل فرقاً في الكمون حوالي 6000 V، وتستعمل في أجهزة الهاتف وفي الدارات الإلكترونية لصغر حجمها.

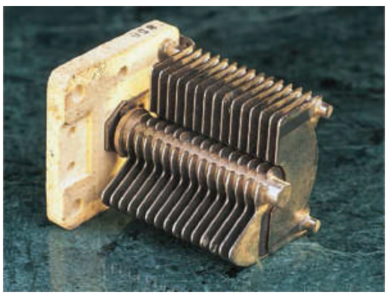


الشكل 3-2-12
المكثفة الورقية

2- مكثّفات متغيرة السعة:

تمتاز هذه المكثّفات بتغيير سعتها، ومن أنواعها تلك التي تتغيّر سعتها، وذلك بتغيير السطح المشترك للبوسين ويرمز لها بالرمز:

تتركّب المكثّفة متغيّرة السّعة من مجموعتين من صفائح نصف دائرية من الألمنيوم، إحدى هاتين المجموعتين ثابتة، والأخرى قابلة للدوران حول محور ثابت بحيث تتداخل مع المجموعة الأخرى، أمّا الوسط العازل فهو الهواء.



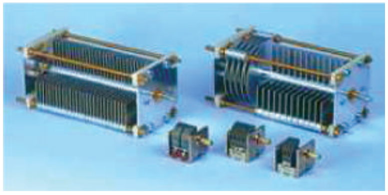
الشكل 3-2-13
المكثفة متغيرة السعة

يستخدم هذا النوع من المكثّفات في المذياع لتغيير المحطة.

بعض تطبيقات المكثّفات:

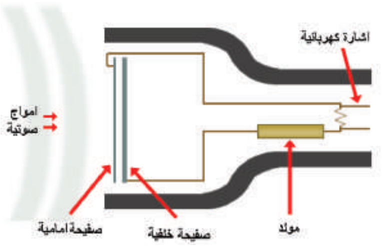
- تستخدم كخزانات للطاقة الكهربائيّة حيث تُخزّن الطاقة الكهربائيّة في المكثّفة ببطء ثمّ تُستردّ هذه الطاقة من المكثّفة بشكل مفاجئ خلال فاصل زمني قصير.
- الجهاز الذي يقدم الصدمة الكهربائيّة للقلب الذي يجب تزويده بطاقة محدّدة (الأقل منها لا يفيد المريض والأكثر منها يسبب مقتله) وأفضل وسيلة للتحكّم بكمية الطاقة هو استعمال مكثّفة حيث تقدّم المكثّفة بواسطة هذه الصدمة طاقة كهربائية كبيرة إلى القلب لإعادة نمط الإيقاع الطبيعي له.
- المجهرة ذات المكثّفة: تتألف من مكثّفة عازلها الهواء أحد لبوسيها صفيحة متينة (صفيحة خلفية)، ولبوسها الآخر صفيحة مرنة (صفيحة أمامية) تحوّل الاهتزازات الصوتية إلى اهتزازات كهربائية لها تواتر الصوت نفسه.

هل تعلم أنّه يوجد نوع آخر من المكثّفات، يدعى بالمكثّفات الإلكتروكيميائية (المكثّفات المستقطبة)؟ وهذه المكثّفات تستعمل مع التيّار المتواصل نحصل عليها بعملية التحليل الكهربائي لملح كلور الأمونيوم باستعمال مسريين من الألمنيوم يتشكّل على المصعد طبقة عازلة من الألومين. تتحمّل توتّرات عالية وسعاتها كبيرة جداً.



الشكل 3-2-14
أشكال مختلفة للمكثفة متغيرة السعة

الشكل 3-2-15
جهاز الصدمة الكهربائية للقلب



الشكل 3-2-16
المجهرة ذات المكثفة

ما يجب تذكّره

- المكثّفة في أبسط أنواعها هي سطحان ناقلان متجاوران كبيران بالنسبة لثخن العازل الذي يفصل بينهما.
- شحن المكثّفة هو إكساب أحد اللّبوسين شحنة موجبة واللّبوس الآخر شحنة سالبة :

$$q = |q_A| = |q_B|$$

- تفريغ مكثّفة هو إعادة كلّ من لبوسيها إلى الحالة المعتدلة كهربائياً بعد أن كان مشحوناً.
- سعة مكثّفة مستوية تتناسب طرداً مع السطح المشترك للبوسيها، وعكساً مع البُعد الفاصل بين لبوسيها، وتتوقف على نوع العازل بين اللبوسين.
- سعة مكثّفة مستوية:

$$C = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} \varepsilon_r \frac{s}{d}$$

- سعة مكثّفة مشحونة: $C = \dfrac{q}{U_{AB}}$
- طاقة مكثّفة مشحونة: $E = \dfrac{1}{2} q U$
- السّعة المكافئة لمكثّفات موصولة على التسلسل:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + ...$$

- السّعة المكافئة لمكثّفات موصولة على التفرّع:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + ...$$

- المكثّفات تقسم إلى نوعين: مكثّفات ثابتة السّعة (المكثّفة ذات الميكا والمكثّفة الورقية) ومكثّفات متغيّرة السّعة.
- يحسب عدد المكثفات في المكثفة متغيرة السعة بالعلاقة:

عدد المكثفات = عدد الصفائح - 1

أنشطة وتدريبات

أولاً- املأ الفراغات في كلٍّ من العبارات الآتية:

1- مكثّفة مستوية مشحونة ومعزولة شحنة أحد لبوسيها $5\ \mu C$- فإنّ شحنتها تساوي ( ) μC وإذا كانت سعتها $0.2\ \mu C$ فإنّ التوتّر الكهربائي المتواصل المطبّق بين لبوسيها يساوي ( ) V.

2- إذا كانت سعة مكثّفة مستوية عازلها الهواء تساوي ربع سعتها عندما تُملأ مادّة عازلة بين لبوسيها فإنّ ثابت العزل الكهربائي للمادّة يساوي ( ).

3- نصل ثلاث مكثّفات متساوية السّعة على التفرّع فتكون السّعة المكافئة لها تساوي $15\ \mu F$ فإنّ سعة كلّ منها تساوي ( ) μF وتكون السّعة المكافئة عند وصلها على التسلسل مساوية ( ) μF .

4- مكثّفتان سعتاهما $10\ \mu F$ ، $5\ \mu F$ وصلتا على التسلسل نطبّق على الجملة توتّراً متواصلاً، إذا كانت شحنة المكثّفة الأولى $100\ \mu C$ ، فإنّ شحنة المكثّفة الثانية ( ) μC ، أما التوتّر الكهربائي بين طرفي الأولى يساوي ( ) V والتوتّر الكهربائي بين طرفي الثانية ( ) V والتوتّر الكهربائي الكلّي ( ) V وتكون السّعة المكافئة ( ) μF وشحنتها ( ) μC.

5- مكثّفتان سعتاهما $4\ \mu F$ ، $3\ \mu F$ وصلتا على التفرّع، نطبّق على الجملة توتّراً كهربائياً متواصلاً فتكتسب المكثّفة الأولى شحنة $30\ \mu C$ وتكتسب المكثّفة الثانية شحنة ( ) μC والتوتّر الكهربائي المتواصل ( ) V وتكون السّعة المكافئة ( ) μF وشحنتها ( ) μC.

ثانياً:اختر الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1- مكثّفة مستوية غير مشحونة عازلها الهواء نطبّق بين لبوسيها توتّراً كهربائياً متواصلاً $100\ V$ ثمّ نعزلها عن المنبع. نباعد بين لبوسيها ليصبح البُعد مثلي ما كان عليه فإنّ التوتّر الكهربائي المطبّق بين لبوسيها يكون:

a) 100 V　　b) 200 V　　c) 50 V　　d) 25 V

2- عند ضمّ n مكثّفة متماثلة على التفرّع الشحنة الكهربائيّة لكل منها Q_1 فإن الشحنة الكهربائيّة للمكثفة المكافئة:

a) $Q = \frac{n}{Q_1}$　　b) $Q = \frac{Q_1}{n}$　　c) $Q = Q_1$　　d) $Q = nQ_1$

3- مكثفة مستوية مشحونة ومعزولة عازلها الخلاء والتوتّر بين لبوسيها V ، نملأ الفراغ بين لبوسيها بعازل جديد ثابت عزله $\varepsilon_r = 4$ فيصبح التوتّر الكهربائي الجديد بين لبوسيها V' هو:

a) $V'=4V$ b) $V'=\frac{V}{4}$ c) $V'=\frac{V}{2}$ d) $V'=2V$

4- مكثّفة مستوية مشحونة ومعزولة البُعد بين لبوسيها d عازلها الخلاء نضع بين لبوسيها صفيحة معدنية ثخنها $\frac{d}{3}$ توازي السطحين ولها مساحة كل منهما فتصبح سعة الجملة C' هي:

a) $C'=\frac{3}{2}C$ b) $C'=\frac{2}{3}C$ c) $C'=\frac{1}{3}C$ d) $C'=3C$

5- ثلاث مكثّفات سعاتها مختلفة موصولة على التسلسل، شحنة كل منها q_1 ، نقطع اتّصالها مع المنبع، ونعيد وصلها فيما بينها على التفرّع فتصبح الشحنة المكافئة للجملة q_{eq} هي :

a) $q_{eq}=\frac{1}{3}q_1$ b) $q_{eq}=3q_1$ c) $q_{eq}=9q_1$ d) $q_{eq}=\frac{1}{9}q_1$

6- مكثّفة مستوية مشحونة ومعزولة الطاقة المختزنة فيها E نباعد بين لبوسيها لتصبح ثلاثة أمثال ما كانت عليه فتصبح طاقتها الجديدةَ E' هي:

a) $E'=\frac{1}{3}E$ b) $E'=3E$ c) $E'=\frac{1}{9}E$ d) $E'=2E$

7- وصلت 6 مكثّفات متساوية السّعة على التفرّع فكانت سعتها المكافئة 9 μF ، فإذا أعيد توصيلها على التسلسل فإنّ سعتها المكافئة تساوي:

a) 9 μF b) 1.5 μF c) 0.25 μF d) 2 μF

8- مكثّفتان سعتاهما $C_1=6\ \mu F$, $C_2=12\ \mu F$ وصلتا على التسلسل فإنّ السّعة المكافئة لهما:

a) 25 μF b) 7 μF c) 4 μF d) 6 μF

9- مكثّفة مستوية عازلها الهواء مشحونة و معزولة طاقتها الكهربائية 12 J نملأ الفراغ بين اللّبوسين بعازل آخر ثابت عزله $\varepsilon_r = 4$ فتصبح طاقتها :

a) 12 J b) 3 J c) 4 J d) 48 J

10- مكثّفة مستوية عازلها الهواء سعتها 300 μF ندخل بين لبوسيها صفيحة معدنية توازي اللّبوسين ولها مساحة سطح كل منهما ثخنها ربع البُعد بين اللّبوسين فتصبح سعتها:

a) 300 μF b) 200 μF c) 150 μF d) 400 μF

11- نطبّق على مكثّفة فرقاً في الكمون V فتشحن بالشحنة q ، ثمّ نجعل فرق الكمون مثلي ما كان عليه فإنّ:

a) شحنتها تبقى ثابتة، وتصبح سعتها مثلي ما كانت عليه.

b) كلاً من شحنتها وسعتها تصبحان نصف ما كانتا عليه.

c) كلاً من شحنتها وسعتها تصبحان مثلي ما كانتا عليه.

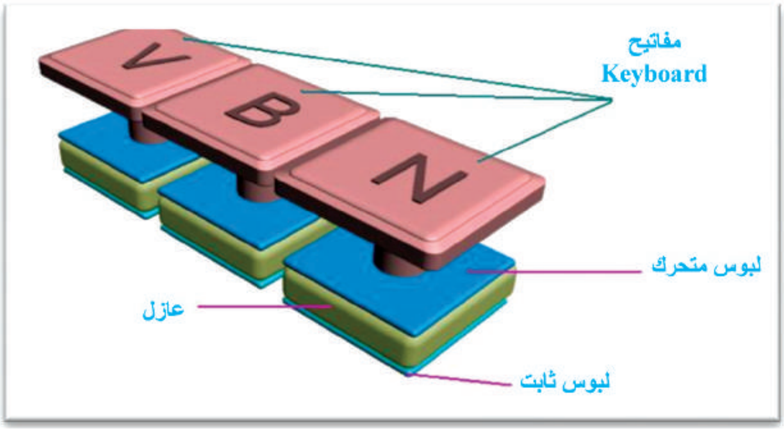
d) شحنتها تتضاعف مع بقاء سعتها ثابتة.

12- معظم مفاتيح التحكّم في لوحة المفاتيح Keyboard تحتوي على مكثّفات متغيّرة السّعة (أحد لبوسيها ثابت واللّبوس الآخر متحرّك) عند الضغط على المفتاح يتناقص البُعد بين اللّبوسين فإنّ السّعة:

a) تصبح نصف ما كانت عليه   b) تبقى ثابتة   c) تنقص   d) تزداد

ثالثاً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1- أوجد جميع قيم السعة التي يمكن الحصول عليها من ضم المكثفات الآتية:



4 μF -a   8 μF -b   24 μF -c

2- ثلاث مكثّفات سعاتها μF (18 - 6 - 3) ، كيف يجب وصل هذه المكثّفات للحصول على مكثّفة سعتها:

1.8 μF -a   6 μF -b   27 μF -c

3- استنتج السّعة المكافئة لضمّ n مكثّفة متماثلة سعة كلّ منها C_1 على:

a- التسلسل   b- التفرع

مبيناً متى نستخدم طريقة الضم لكل منها

4- عدد العوامل التي تتوقف عليها السّعة الكهربائيّة لمكثّفة مستوية.

5- هل يمر تيّار متواصل في مكثّفة ؟ علّل إجابتك

6- ندخل بين لبوسي مكثّفة صفيحة معدنية توازي السطحين، ولها مساحة كلّ منهما، والمطلوب:

a- استنتج السّعة المكافئة للجملة بدلالة السطح والأبعاد.

b- هل زادت السّعة أم نقصت؟ علّل ذلك.

7- المكثّفة المستخدمة في المجهرة ثابتة السّعة أم متغيّرة؟ ولماذا ؟

8- في مصباح الإضاءة الومضية (فلاش) ماذا يحدث إذا كانت الدارة لا تحوي مكثّفة؟ علّل إجابتك.

رابعاً :حلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى: a- مكثّفة مستوية سعتها $4\ \mu F$ عازلها الهواء طبّق بين لبوسيها توتّراً كهربائياً متواصلاً $100\ V$. المطلوب حساب:

1- شحنة كلّ من لبوسيها

2- الطاقة الكهربائيّة المختزنة فيها .

b- نعزل المكثّفة عن المنبع ونباعد بين لبوسيها حتّى يصبح البُعد مثلي ما كان عليه. بيّن بالحساب هل يتغيّر مقدار الطاقة التي تخزنها المكثّفة؟ علّل إجابتك ؟

المسألة الثانية: وصلت مكثّفتان سعتاهما $1\ \mu F$ ، $2\ \mu F$ على التفرّع مع منبع كهربائي متواصل أصبحت شحنة المكثّفتين $q = 300\ \mu C$ والمطلوب حساب :

1) السّعة المكافئة للمكثّفتين.

2) التوتّر المطبّق بين طرفي الجملة.

3) شحنة كل من المكثّفتين.

4) الطاقة المختزنة في جملة المكثّفتين.

المسألة الثالثة: تتألّف مكثّفة مستوية من سطحين مستطيلين متوازيين مساحة كلّ منهما $36\ \pi\ cm^3$ يبعد أحدهما عن الآخر $2\ cm$ في الخلاء والمطلوب:

1) حساب سعة هذه المكثّفة.

2) نطبق على لبوسيها توتّراً كهربائياً متواصلاً $6000\ V$ احسب الطاقة الكهربائيّة المختزنة فيها وشحنة كلّ من لبوسيها.

3) نفصل المكثّفة عـن التوتّر الكهربـائي السابق وندخل بين السطحين صفيحة معدنية بكاملها ثخنها $1\ cm$ توازي السطحين ولها مساحة كلّ منهما. احسب السّعة الجديدة للجملة.

4) نربط مع الجملة السابقة على التفرّع مكثّفة غير مشحونة سعتها $2 \times 10^{-11}\ F$ احسب شحنة هذه المكثّفة بعد الوصل.

المسألة الرابعة: مكثّفة مستوية عازلها الخلاء سعتها $12\ \mu F$ وشحنتها $720\ \mu C$ نصلها على التفرّع بمكثّفة ثانية عازلها الخلاء سعتها $8\ \mu F$ غير مشحونة، والمطلوب:

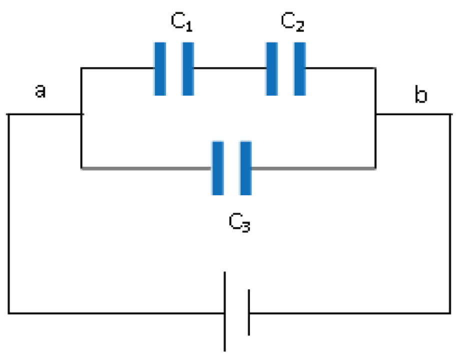
1) حساب شحنة كل مكثّفة بعد الوصل .

2) نملأ فراغاً بين لبوسي المكثّفة الثانية بعازل ثابت عزله 2 بدلاً من الهواء:

a) احسب التوتّر الكهربائي بين طرفي المجموعة.

b) احسب مقدار الطاقة الكلية عندئذٍ.

المسألة الخامسة: في الشكل الآتي وصلت مكثّفتان C_1 ، C_2 سعتاهما $3\ \mu F$ ، $6\ \mu F$ على التسلسل ثم وصل مع مجموعهما مكثّفة ثالثة C_3 على التفرّع سعتها $9\ \mu F$ ووُصِلَ الطرفان النهائيّان بتوتّر كهربائي متواصل $100\ V$ والمطلوب:



1) احسب السّعة المكافئة للمجموعة .

2) احسب شحنة كل مكثّفة والتوتّر بين طرفي كل مكثّفة.

3) نقطع الاتّصال بالمنبع ونستبدل بالهواء في المكثّفة الثالثة مادّة عازلة فيصبح التوتّر الكهربائي بين طرفي المجموعة $55\ V$ احسب ثابت العزل.

المسألة السادسة:

a- مكثّفة مستوية السطح المشترك للبوسيها $5 \times 10^{-2}\ m^2$ والبُعد بينهما $2.5\ mm$ عازلها الهواء. تشحن بفرق كمون $100\ V$ ثمّ تفصل عن المنبع، احسب شحنة هذه المكثّفة.

b- نصل على التفرّع مع المكثّفة السابقة مكثّفة ثانية مستوية غير مشحونة، السطح المشترك للبوسيها يساوي نصف مساحة السطح المشترك للبوسي المكثّفة الأولى، والبُعد بين لبوسيها يساوي مثلي البُعد بين لبوسي المكثّفة الأولى، والعازل هو الهواء. المطلوب حساب:

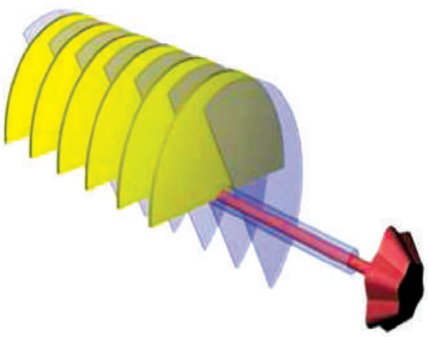
1) فرق الكمون بين لبوسي كل مكثّفة.

2) شحنة كل مكثّفة.

3) طاقة الجملة قبل الوصل وبعده.

المسألة السابعة: مكثّفة سعتها $10\ \mu F$، فرق كمونها $110\ V$، نصلها على التفرّع مع مكثّفة سعتها $10\ \mu F$ وفرق الكمون بين لبوسيها $50\ V$ ، احسب نقصان الطاقة الكهربائيّة نتيجة لهذا الوصل، وما سبب هذا النقصان؟

المسألة الثامنة: مكثّفة متغيّرة السّعة تتألف من 13 صفيحة معدنية، شكل كل منها نصف دائرة قطرها $9\ cm$ بحيث يكون البُعد بين كلّ صفيحتين $0.5\ cm$ والعازل بينهما الهواء. احسب السّعة العظمى لهذه المكثّفة، ثمّ احسب السّعة عندما ندير الصفائح القابلة للتدوير زاوية $60°$ بدءاً من الوضع الموافق للسعة العظمى.



النشاط: العوامل التي تعتمد عليها سعة المكثفة

الهدف من النشاط:

إيجاد العلاقة بين سعة المكثِّفة وكلّ من: البُعد بين اللبوسين d، مساحة السطح المشترك بين اللبوسين A، ونوع المادة العازلة.

الموادّ والأدوات:

مكثّفة مستوية، كشّاف كهربائيّ، لوح من مادّة عازلة كالزجاج، آلة ويمشورت، أسلاك توصيل ذات ملاقط.

المهاراتُ المرجوُّ اكتسابها:

الملاحظة، القياس، تسجيل البيانات، تفسير النتائج

الإجراءات:

1. صِلْ أحد لبوسي المكثِّفة وليكن a بقرص الكشّاف الكهربائيّ، وتأكّد أنّ الأسلاك لا تمسّ سطح الطاولة.
2. اشحنِ اللبوس a بشحنةٍ موجبةٍ باستخدام جهاز ويمشورت.
3. صل قاعدة الكشّاف الكهربائي بالأرض. ماذا تلاحظ على ورقتي الكشّاف؟
4. صلِ اللبوسَ الآخر للمكثِّفة وليكن b بقاعدة الكشّاف في هذه الحالة سيكون كلٌّ من اللبوس b وقاعدة الكشّاف متّصلين بالأرض، ويشيرُ الكشّاف إلى وجود فرق في الكمون بين اللبوسين.
5. ثبّت المسافة بين اللبوسين واجعلهما متوازيين تماماً، ثمَّ حرّك اللبوس b بمحاذاة اللبوس a بحيث تقل المسافة المشتركة بين اللبوسين. ماذا تلاحظ على ورقتي الكشاف؟
6. اجعلِ اللبوسين متوازيين مرّة أخرى، وضع اللَّوح الزجاجيَّ بين لبوسي المكثِّفة بحذرٍ بحيث لا يلمس أيٌّ منهما الآخر، ولاحظ مقدار انفراج ورقتي الكشاف.

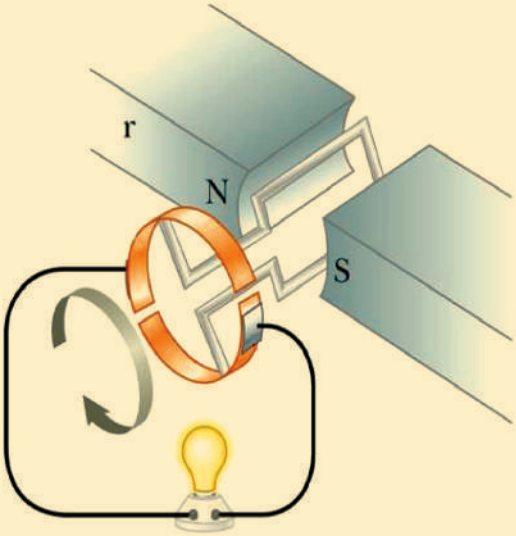
التحليل والتفسير:

1. فسّر ملاحظاتك على ورقتي الكشّاف الكهربائيِّ في الخطوات السابقة.
2. من الضروريِّ عدم لمس اللبوس a أثناءَ التجربة. علّل ذلك.

....

....

المغناطيسية



الأهداف التعليمية

1. يصنّف المغناطيس (أنواعه وأشكاله).
2. يفسّر الأفعال المتبادلة بين الأقطاب المغناطيسيّة تجريبياً.
3. يجسّد خطوط القوة المغناطيسيّة لمغناطيس.
4. يتعرّف عناصر شعاع الحقل المغناطيسيّ في نقطة من الحقل.
5. يحدّد مفهوم الحقل المغناطيسيّ المنتظم.
6. يتعرّف تجريبياً الحقل المغناطيسيّ عبر الحديد.
7. يستنتج علاقة عامل الإنفاذ المغناطيسيّ.

الشكل 1-3-3
حجر المغنيتيت

إنّ علم المغناطيس من العلوم الهامة وله دور في إنتاج الطاقة الكهربائيّة وفي الاتّصالات، حيث إنّ سمّاعة الهاتف تعمل على المغناطيس، وكذلك أجهزة توليد الطاقة الكهربائيّة، والمحركات الكهربائيّة. وقد سبق للإغريق القدماء أن لاحظوا الظواهر الكهربائيّة والمغناطيسيّة، ففي العام 800 قبل الميلاد اكتشفوا حجر المغنيتيت، وهو عبارة عن فلز أكسيد الحديد المغناطيسيّ Fe_3O_4 ذي اللون الأسود، وتعرفوا إلى خواصّه بجذب الأجسام الحديدية.

وقد بيّن العالم بيير كوري أنّ لكلّ مغناطيس مهما كان شكله قطبين: شمالياً نرمز له N أي North ، وجنوبياً ونرمز له S أي South. وقد تطورت الكهرباء والمغناطيسيّة كعلمين منفصلين حتّى جاءت الاكتشافات المهمّة التي أظهرت العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسيّة، حيث بيّن العالم الدانمركي أورستد عام 1820 تجريبياً

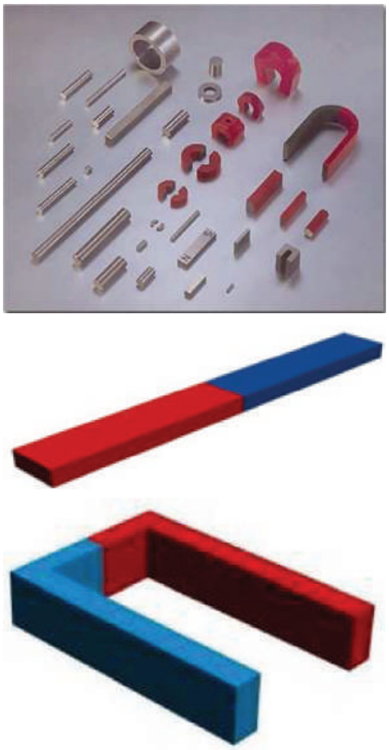
كيف تنحرف إبرة البوصلة عندما توضع بالقرب من سلك يمر فيه تيّار كهربائي، ثمّ تتالت الاكتشافات التجريبية والدراسات النظرية التي مهّدت لعلم الكهرطيسية، ومن أهم العلماء الذي قاموا بهذه الدراسات التجريبية والنظرية نذكر جوزيف هنري وفاراداي وماكسويل.

فما المغناطيس؟ وما الحقول المغناطيسيّة؟ وما علاقتها بالتيّار الكهربائي؟

المغناطيس: هو كلّ جسم يمتاز بخاصية جذب الأجسام الحديدية (الفولاذ، النيكل، الكوبالت، .. وكل السبائك التي تحوي أحد هذه المعادن).

للمغناطيس نوعان: دائم ومؤقت.

ويمتاز المغناطيس بمنطقتين تتجمّع فيهما برادة الحديد عند تقريبه منها نسمّي هاتين المنطقتين قطبي المغناطيس ويختلف القطبان في طبيعتهما، فإذا تركنا لمغناطيس حريّة الحركة اتّجه أحد القطبين نحو الشمال الجغرافي تقريباً فنسمّيه القطب الشمالي المغناطيسيّ، ويتّجه القطب الآخر للمغناطيس نحو الجنوب الجغرافي تقريباً نسمّيه القطب الجنوبي المغناطيسي، ولا يمكن فصل أحد قطبي المغناطيس عن الآخر، ومهما قمنا بعملية تشطير المغناطيس يبقى له قطبان أحدهما شمالي والآخر جنوبي.



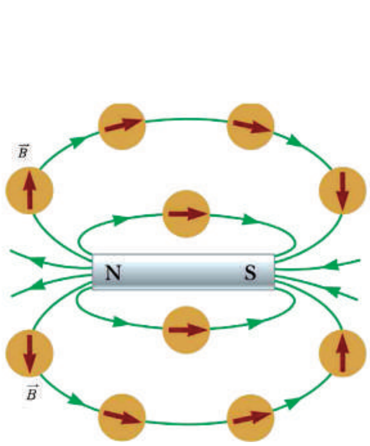
الشكل 2-3-3
للمغناطيس أشكال مختلفة

يحدث تأثير متبادل بين المغانط حيث أنّ القطبين من النوع نفسه يتنافران بينما يتجاذب القطبان إذا كانا من نوعين مختلفين.

مفهوم الحقل المغناطيسيّ:

نأخذ إبرة مغناطيسية صغيرة حرّة الحركة حول محور شاقولي يمرّ من مركزها، ثمّ نضعها بقرب مغناطيس على بُعد مناسب نجد أنّ الإبرة تستقرّ في وضع معيّن بعد عدّة اهتزازات.

ننقل الإبرة إلى نقاط أخرى حول المغناطيس نجد أنّها تستقرّ في كلّ مرة وفق منحى واتّجاه معيّنين يختلفان من نقطة إلى أخرى. وكلّما أبعدنا الإبرة عن قطبي المغناطيس نجد أنّ تأثيره عليها يتضاءل حتّى يكاد يختفي.

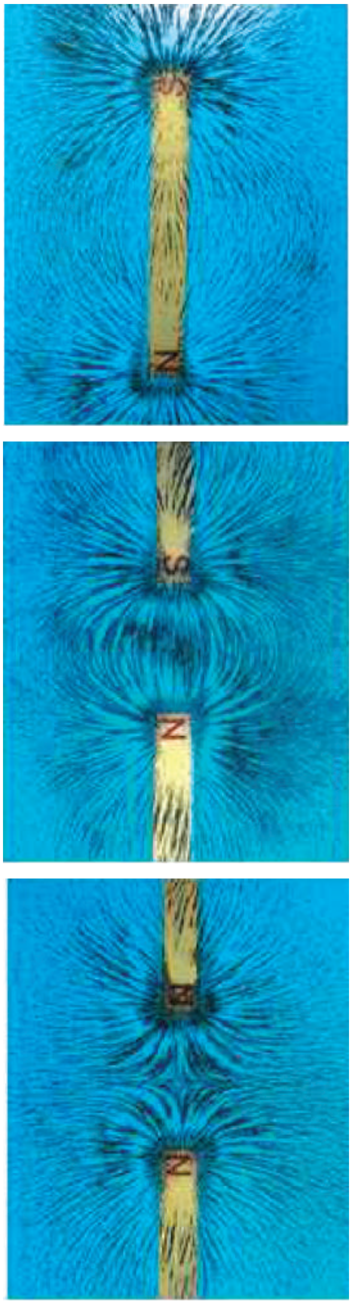


الشكل 3-3-3
الحقل المغناطيسي لمغناطيس مستقيم

ندعو الحيّز الذي يؤثر فيه المغناطيس على الإبرة المغناطيسيّة بمنطقة تواجد الحقل المغناطيسيّ للمغناطيس.

الحقل المغناطيسيّ: نقول عن منطقة من الفراغ إنّه يسودها حقل مغناطيسي إذا وضعت في نقطة منها إبرة مغناطيسية توجهت باتّجاه ومنحى معيّن.

خطوط الحقل المغناطيسيّ:



الشكل 4-3-3
خطوط قوة الحقل المغناطيسي

نضع مغناطيساً مستقيماً على طاولة أفقية، ونضع فوقه لوحاً زجاجياً أو قطعة من الورق المقوّى أو شفافية، ننثر عليه برادة الحديد الجافّة، ثمّ ننقر على اللوح الزجاجي بلطف نلاحظ أنّ برادة الحديد تترتّب في خطوط معيّنة تسمى خطوط الحقل المغناطيسيّ.

ويعود سبب ذلك إلى أنّ برادة الحديد تتمغنط، وتصبح كلّ منها بمثابة إبرة مغناطيسية تأخذ منحى واتجاهاً معيّناً.

يعرّف خط الحقل المغناطيسيّ بأنّه خطّ وهميّ يكون في كلّ نقطة من نقاطه مماسّاً لشعاع الحقل المغناطيسيّ إذا كان الخط منحنياً، أو منطبّقاً عليه إذا كان الخط مستقيماً.

ولخطوط الحقل المغناطيسيّ الخصائص الآتية:

1. تتّجه خطوط قوّة الحقل المغناطيسيّ خارج المغناطيس من القطب الشمالي للمغناطيس إلى القطب الجنوبي، وتكمل دورتها داخل المغناطيس.
2. المماس لخطّ الحقل المغناطيسيّ عند أيّة نقطة واقعة عليه يحدّد حامل شعاع الحقل عند تلك النقطة.
3. لا تتقاطع خطوط الحقل المغناطيسيّ أبداً، لأنّ تقاطعها في نفس النقطة معناه أنّ للحقل أكثر من اتّجاه.

شعاع الحقل المغناطيسيّ لمغناطيس:

يمكن تحديد عناصر شعاع الحقل المغناطيسيّ لمغناطيس بواسطة إبرة مغناطيسية معلّقة بخيط من منتصفها موضوعة في النقطة المراد تعيين

شعاع الحقل المغناطيسيّ $\vec{B}$ فيها بعد استقرارها تكون:

1. الحامل: المستقيم الواصل بين قطبي الإبرة المغناطيسيّة.
2. الجهة: من القطب الجنوبي للإبرة إلى قطبها الشمالي.
3. الشدة: تزداد بازدياد سرعة اهتزاز الإبرة المغناطيسيّة في تلك النقطة، وتقدّر الشدّة بوحدة التسلا ونرمز لها بالرمز T.

الحقل المغناطيسيّ المنتظم:

يكون الحقل المغناطيسيّ $\vec{B}$ منتظماً إذا كانت أشعّته متسايرة في جميع نقاطه، أي أنّ خطوط الحقل مستقيمات متوازية وبالجهة نفسها.

وهذا ما نلاحظه في حالة مغناطيس نضوي، حيث تكون خطوط الحقل المغناطيسيّ عبارة عن مستقيمات متوازية وبالجهة نفسها بين فرعي المغناطيس النضوي آخذةً بالانحناء خارج فرعي المغناطيس.

الحقل المغناطيسيّ عبر الحديد:

نضع قطعة من الحديد بين فرعي مغناطيس نضوي، ونضع فوق الجملة السابقة قطعة من الورق الشفاف، ننثر برادة الحديد الجافة فتتقارب برادة الحديد عند قطعة الحديد، أي أنّ خطوط الحقل المغناطيسيّ تتكاثف ضمن قطعة الحديد.

نعلّل ذلك بأنّ قطعة الحديد تتمغنط وتولّد حقلاً مغناطيسياً لها، يضاف إلى الحقل الأصلي الممغنط فيشكّل حقلاً مغناطيسياً كلّياً $\vec{B'}$ ، ويستفاد من وضع قطعة الحديد بين فرعي المغناطيس النضوي بتقوية الحقول المغناطيسيّة.

عامل الإنفاذ المغناطيسيّ μ:

نسمّي النسبة بين قيمة الحقل المغناطيسي الكلّي $\vec{B'}$ بوجود قطعة الحديد بين فرعي المغناطيس إلى قيمة الحقل المغناطيسيّ الأصلي $\vec{B}$ بعامل الإنفاذ المغناطيسيّ وتتعلّق قيمته بعاملين:

1. طبيعة المادّة من حيث قابليتها للمغنطة.
2. شدّة الحقل الممغنط $\vec{B}$.

$$\mu = \frac{B'}{B}$$

الشكل 5-3-3
مقياس التسلا لقياس شدة الحقل المغناطيسي

الشكل 6-3-3
الحقل المغناطيسي المنتظم

الشكل 7-3-3
الحقل المغناطيسي المنتظم بدون قطعة حديد

الشكل 8-3-3
تكاثف خطوط الحقل المغناطيسي ضمن قطعة الحديد

الحقل المغناطيسيّ الأرضي

كيف نفسّر توجّه إبرة البوصلة في نقطة ما من سطح الأرض؟

إنّ منشأ الحقل المغناطيسيّ الأرضي غير معروف بدقّة حتّى الآن، لكن هناك فرضيات تدل عليها التجربة وملاحظات الإنسان حول منشأ الحقل المغناطيسيّ الأرضي.

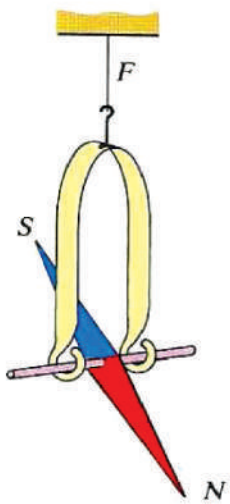
اعتقد العلماء بداية أنّ الموادّ المغناطيسيّة في الأرض مسؤولة عن مغناطيسية الأرض، إلاّ أنّ درجات الحرارة العالية جداً لجوف الأرض تجعل من الصعب الحفاظ على مغناطيسية دائمة للمواد الحديدية في باطن الأرض.

يعزو العلماء مغناطيسية الأرض إلى الشحنات المتحركة في سوائل جوف الأرض (أيونات موجبة وإلكترونات) التي تولّد بحركتها حقولاً مغناطيسية.

كما وجد العلماء أنّ شدّة الحقل المغناطيسيّ لأيّ كوكب تتناسب مع سرعة دورانه حول نفسه فمثلاً سرعة دوران كوكب المشتري حول نفسه أكبر من سرعة دوران الأرض حول نفسها، ممّا يجعل شدّة الحقل المغناطيسيّ المحيط بكوكب المشتري أكبر من شدّة الحقل المغناطيسيّ الأرضي. أمّا كوكب الزهرة فليس له حقل مغناطيسي، مع أنّه يحوي بداخله حمماً منصهرة، ولكنّ حركته الدورانية أبطأ نسبياً من الحركة الدورانية للأرض وهذا يدلّ على أنّه لا يمكننا أن نعزي وجود الحقل المغناطيسيّ الأرضي إلى الحركة الدورانية للمعادن المنصهرة فقط.

الحقل المغناطيسيّ الأرضي:

نضع إبرة مغناطيسية صغيرة الحركة داخل غرفة، بعيدة عن أيّ تأثير مغناطيسي نجدها تأخذ منحى واتجاهاً معيّنين. وهذا يدلّ على خضوعها لفعل حقل مغناطيسي يسمّى الحقل المغناطيسيّ الأرضي. فالأرض تسلك سلوك مغناطيس مستقيم كبير منتصفه في مركزها، يميل محوره حوالي 11° عن محور دوران الأرض المنطبق على الشمال. الجنوب

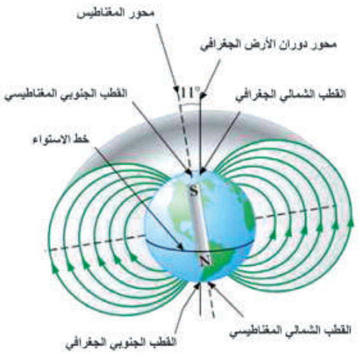


الشكل 9-3-3
تأخذ الإبرة المغناطيسية حرة الحركة حول محور دوران أفقي منحى الحقل المغناطيسي الأرضي

الطيور المهاجرة تبصر الحقل المغناطيسي للأرض

يبدو أن الطيور المهاجرة يمكنها أن «ترى» الحقل المغناطيسي للأرض الذي تستخدمه كبوصلة لإرشادها حول العالم.

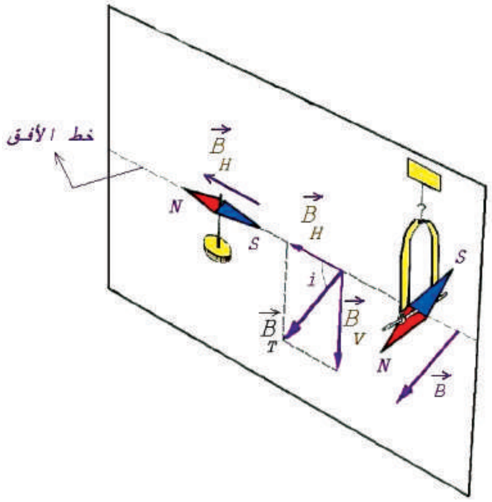
وقال باحثون ألمان أن خلايا عصبية متخصصة في العين حساسة للاتجاه المغناطيسي اتضح للمرة الأولى أنها متصلة عبر ممر معين بالمخ بمنطقة في مقدمة الدماغ بالطيور مسؤولة عن الرؤية.



الشكل 10-3-3
تعدّ الأرض كمغناطيس مستقيم كبير

الجغرافي قطباه المغناطيسيّان لا يتطابقان مع قطبيها الجغرافيين، أي أنّ القطب المغناطيسيّ الجنوبي للأرض يقع بالقرب من القطب الشمالي الجغرافي، والقطب المغناطيسيّ الشمالي للأرض يقع قرب القطب الجنوبي الجغرافي للأرض، والمسافة بينهما تقريباً 1920 km.

شعاع الحقل المغناطيسيّ الأرضي:



الشكل 11-3-3
دوماً تأخذ الإبرة المغناطيسية حرة الحركة منحى الحقل المغناطيسي

لتعيين شعاع الحقل المغناطيسيّ الأرضي في نقطة من سطح الأرض نحدّد:

1. منحى وجهة شعاع الحقل بواسطة زاويتي الميل والانحراف كما في الشكل.

2- شدّة شعاع الحقل المغناطيسيّ الأرضي: يحلّل شعاع الحقل المغناطيسيّ الأرضي $\vec{B}_T$ إلى مركبتين:

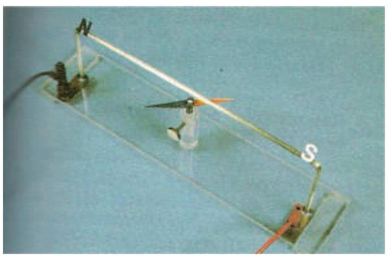
مركبة أفقية $\overrightarrow{B_H}$ شدتها: $B_H = B_T \cos i$

مركبة عمودية $\overrightarrow{B_V}$ شدتها: $B_v = B_T \sin i$

تتغيّر شدّة الحقل المغناطيسيّ الأرضي من منطقة إلى أخرى على سطح الأرض حسب موقعها الجغرافي، ولكن يمكن اعتبار شدّة الحقل المغناطيسيّ الأرضي ثابتة محليّاً في منطقة محدودة الأبعاد، ويقع شعاع الحقل المغناطيسيّ الأرضي في مستوي الزوال المغناطيسيّ.

ملاحظة: تأخذ الإبرة المغناطيسيّة لبوصلة حاملها شاقولي منحى المركبة الأفقية للحقل المغناطيسيّ الأرضي $\overrightarrow{B_H}$ في مستوي الزوال المغناطيسيّ، بينما تأخذ الإبرة حرة الحركة منحى الحقل المغناطيسيّ الأرضي الكلّي $\vec{B}_T$.

الحقول المغناطيسيّة للتيارات الكهربائيّة:



الشكل 12-3-3

أوّل من اكتشف تجريبياً الأثر المغناطيسيّ للتيّار الكهربائي هو العالم الدنماركي أورستد الذي لاحظ انحراف إبرة بوصلة صغيرة موضوعة موازية سلكاً ناقلاً نتيجة مرور تيّار كهربائي متواصل فيه.

إذاً: للتيّار الكهربائي أثر مغناطيسي.

الحقل المغناطيسيّ لتيّار كهربائي في سلك ناقل مستقيم:

من التجربة وجدنا أنّ برادة الحديد الجافة تتخذ شكل دوائر مركزها محور السلك الناقل، كما أنّ إبرة البوصلة الصغيرة تأخذ منحى واتّجاهاً معيّنين والنتيجة إنّ شدة الحقل المغناطيسيّ تزداد عند الاقتراب من السلك، وتقلّ بالابتعاد عنه.

ما عناصر شعاع الحقل المغناطيسيّ لتيّار مستقيم؟

1. الحامل: عمودي على المستوي المحدد بالسلك والنقطة المدروسة.
2. الجهة: يمكن تحديدها بطريقتين:

عمليّاً: من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لإبرة مغناطيسية نضعها عند النقطة المدروسة بعد استقرارها.

نظريّاً: بقاعدة اليد اليمنى حيث نوجّه إبهام اليد اليمنى باتّجاه التيار ونلفّ بقية الأصابع حول السلك فتدلّ على جهة الحقل المغناطيسيّ.

وهناك طريقة ثانية لقاعدة اليد اليمنى: نضع ساعد يدنا اليمنى موازياً السلك، ونتصور التيّار يدخل عن طريق الساعد ويخرج من نهايات الأصابع، ندير الكف بحيث نوجّه باطن الكف نحو النقطة المدروسة، فيشير إبهام اليد اليمنى إلى جهة شعاع الحقل المغناطيسيّ.

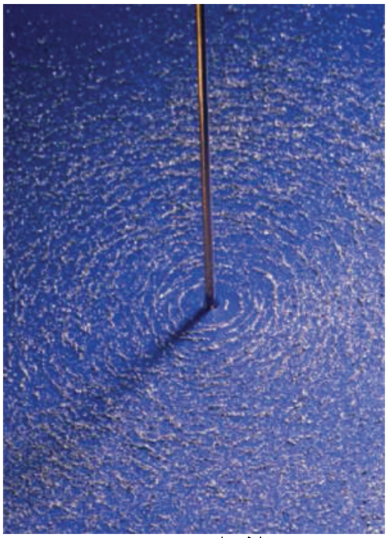
3. الشدّة: وجد تجريبياً أنّ شدّة الحقل المغناطيسيّ لتيّار مستقيم طـويل يتناسب طرداً مع شدّة التيّار الكهربائي المتواصل المارّ فيه I ، وعكساً مع بُعد النقطة المعتبرة عن محور السلك a ويعطى بالعلاقة:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{a}$$

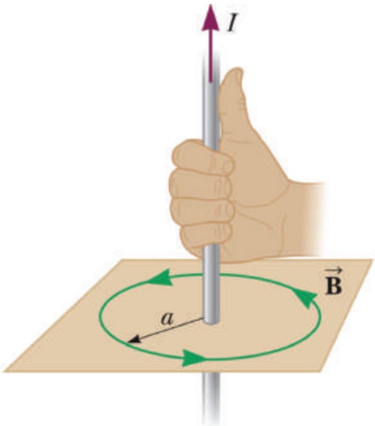
حيث μ_0 ثابت يسمى معامل الإنفاذ المغناطيسي وقيمته في الخلاء:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{T.m.A}^{-1}$$

بالتعويض نجد: $B = 2\times 10^{-7}\frac{I}{a}$



الشكل 13-3-3
خطوط الحقل المغناطيسي المتولد عن تيار مستقيم تأخذ شكل دوائر متحدة المركز



الشكل 14-3-3
تحديد جهة الحقل المغناطيسي المتولّد عن تيار مستقيم بقاعدة اليد اليمنى

مثال محلول (1):

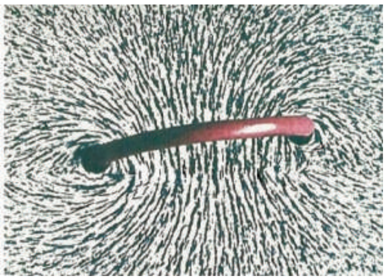
احسب شدّة الحقل المغناطيسيّ عند نقطة في الهواء على بُعد 20 cm من محور سلك مستقيم يمرّ فيه تيّار شدته 20 A.

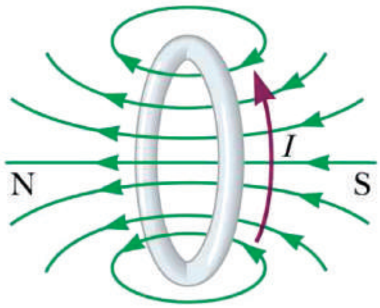
الحلّ:

$$B = 2\times10^{-7}\frac{I}{a}$$

$$B = 2\times10^{-7}\frac{20}{0.2} = 2\times10^{-5}\ \mathrm{T}$$

الحقل المغناطيسيّ لتيّار كهربائي في ملف دائري:





الشكل 15-3-3
خطوط الحقل المغناطيسي المتولّد عن تيار في ملف دائري

من التجربة وجدنا أنّ برادة الحديد الجافة تترتب وفق الشكل، كما أنّ إبرة البوصلة تأخذ منحى واتجاهاً معيّنين.

لنحدد عناصر شعاع الحقل المغناطيسيّ لتيّار دائري:

1- الحامل: العمود على مستوى الملفّ.

الجهة: عملياً: من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لإبرة مغناطيسية نضعها عند مركز الملفّ بعد استقرارها.

نظرياً: بقاعدة اليد اليمنى نضعها فوق الملفّ، بحيث نتصوّر أنّ تيّاراً يدخل من الساعد ويخرج من أطراف الأصابع، فيشير الإبهام إلى جهة شعاع الحقل المغناطيسيّ.

2- الشدّة: وجد تجريبياً أنّ شدّة الحقل المغناطيسيّ لتيّار دائري يتناسب:

- طرداً مع شدّة التيار الكهربائي المتواصل المار فيه I .
- طرداً مع عدد حلقات الملفّ n.
- عكساً مع نصف قطر الملفّ الوسطي r .

وتعطى الشدّة بالعلاقة:

$$B = \frac{\mu_0}{2}\frac{n\,I}{r}$$

حيث: $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\ \mathrm{T.m.A^{-1}}$

بالتعويض نجد: $B = 2\pi \times 10^{-7} \dfrac{n\,I}{r}$ حيث:

B : T

n : لفة

I : A

r : m

مثال محلول (2):

نمرّر تيّاراً كهربائياً شدّته 6 A في سلك مستقيم طويل ومعزول، ثمّ نلفّ جزءاً منه على شكل حلقة دائرية لفة واحدة نصف قطرها 6 cm كما في الشكل. والمطلوب حساب شدّة الحقل المغناطيسيّ المحصّل في مركز الحلقة وحدّد بقية عناصره.

الحل:

نعتبر السلك جزأين: الأوّل حلقة، والثاني مستقيم، فينشأ في مركز الدائرة حقلان يمكن تحديد اتّجاه كل منهما بقاعدة اليد اليمنى:

1- الحقل المغناطيسيّ المتولّد عن التيّار المار في الحلقة الدائرية:

$$B = 2\pi \times 10^{-7} \frac{n\,I}{r} = 2\pi \times 10^{-7} \frac{1 \times 6}{0.06} = 2\pi \times 10^{-5}\ \text{T}$$

2- الحقل المغناطيسيّ المتولّد عن التيّار المار في المستقيم:

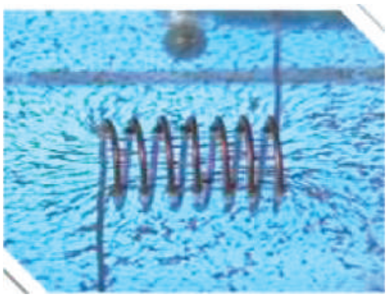
$$B = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{a} = 2 \times 10^{-7} \frac{6}{0.06} = 2 \times 10^{-5}\ \text{T}$$

الحقلان على حامل واحد، وفي الجهة نفسها، فتكون المحصّلة:

$$B = B_1 + B_2 = (2\pi + 2) \times 10^{-5}$$

$$B = 8.28 \times 10^{-5}\ \text{T}$$

الحقل المغناطيسيّ لتيّار كهربائي في ملفّ حلزوني (وشيعة):



الشكل 16-3-3
خطوط الحقل المغناطيسي المتولّد عن تيار كهربائي في ملف حلزوني

نستبدل بالملفّ في الفقرة السابقة وشيعة فنلاحظ أنّ الطيف المغناطيسيّ الذي يجسّد خطوط الحقل المغناطيسيّ المتولّد عن التيّار الحلزوني خارج الوشيعة يشبه طيف مغناطيس مستقيم، أمّا داخل الوشيعة - بعيداً عن الأطراف والجوانب – فيكون على شكل مستقيمات متوازية وموازية لمحور الوشيعة، أي هو حقل مغناطيسي منتظم.

بمرور تيّار كهربائي متواصل في الوشيعة يتشكّل فيها وجهان شمالي وجنوبي يحدّدهما جهة التيّار.

لنحدّد عناصر شعاع الحقل المغناطيسيّ لتيار حلزوني:

1- الحامل: محور الوشيعة.

الجهة: عملياً: من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لإبرة مغناطيسية نضعها عند مركز الوشيعة بعد استقرارها.

نظرياً: بقاعدة اليد اليمنى نضعها فوق الوشيعة، بحيث توازي أصابعها إحدى حلقاتها، ونتصور أنّ تيّاراً يخرج من رؤوس الأصابع، فتشير الإبهام المعامدة للأصابع إلى جهة شعاع الحقل المغناطيسيّ.

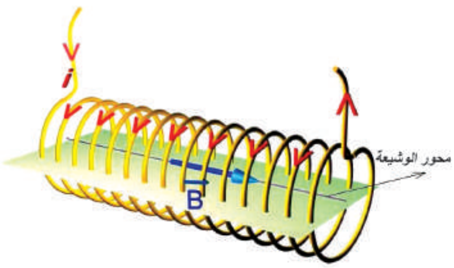
2- الشدّة: وجد تجريبياً أنّ شدّة الحقل المغناطيسيّ لتيّار حلزوني داخل الوشيعة لا يتعلق بسطح مقطع الوشيعة، بل يتناسب:

- طرداً مع شدّة التيّار الكهربائي المتواصل المار فيه I .
- طرداً مع النسبة $\frac{n}{\ell}$ أي مع عدد اللفّات في وحدة الأطوال $n_1 = \frac{n}{\ell}$.

وتعطى الشدّة بالعلاقة:

$$B = \mu_0 \frac{n\,I}{\ell}$$

حيث: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{T.m.A^{-1}}$



بالتعويض نجد: $\boxed{B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{n\,I}{\ell}}$

حيث: B : T

n : لفة

I : A

ℓ : m

مثال محلول (3):

تتكون وشيعة من 1000 لفّة في 50 cm من طولها بطبقة واحدة.

احسب شدّة الحقل المغناطيسيّ في مركز الوشيعة إذا مرّ تيّار كهربائي متواصل شدته 5 A.

هل تتغيّر شدّة الحقل المغناطيسيّ في مركز الوشيعة إذا جعلنا طول الوشيعة مثلي ما كان عليه؟

الحلّ:

$$B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{n\,I}{\ell}$$

$$B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{1000 \times 5}{0.5} = 4\pi \times 10^{-3}$$

$$B = 12.5 \times 10^{-3}\ \mathrm{T}$$

لا تتغيّر شدّة الحقل في مركز الوشيعة لأنّ النسبة $n_1 = \frac{n}{\ell}$ ثابتة أي:

$$n_1 = \frac{n}{\ell} = const$$

هل تعلم أنّ:

- شدّة الحقل المغناطيسي لمغناطيس مستقيم صغير 10^{-2} T .
- شدّة الحقل المغناطيسيّ المستخدم في جهاز التصوير الطبي بالرنين المغناطيسيّ 1.5 T .

نعمة لا تُقدَّر بثمن!

تتميز أرضنا بوجود حقل مغناطيسي حولها يمتد لأكثر من 60 ألف كيلو متر في الفضاء، وهو موجود في منطقة تسمى magnetosphere يمنع الكثير من الجزيئات الخطرة المنبعثة من الشمس التي تحملها الرياح الشمسية ويردها ولا يسمح لها باختراق جو الأرض.

يعمل الحقل المغناطيسي على صد الهجوم الشمسي الفتاك! هذه الأجسام هي عبارة عن أشعة إلكترونية وأشعة من البروتونات وذرات متأينة من معظم العناصر المعروفة. وتسير بسرعة تبلغ حتى 800 كيلو متر في الثانية، وعندما تصطدم بالحقل المغناطيسي للأرض يقوم بتخفيض سرعة هذه الجسيمات إلى ما دون ذلك وإلغاء فعاليتها.

درس العلماء بقية الكواكب في النظام الشمسي فوجدوا أن معظمها لا يملك مجالاً مغناطيسياً، فمثلاً كوكب المريخ ليس له حقل مغناطيسي، ولذلك ليس محمياً من الرياح الشمسية القاتلة فهي تقترب منه بسهولة، ولذلك ترتفع درجة الحرارة على سطحه عدة مئات من الدرجات

ويعتبر الحقل المغناطيسي للأرض الأقوى بين الكواكب، ولولا هذه الميزة لاستحالت الحياة على الأرض.

يتغير اتجاه الحقل المغناطيسي للأرض باستمرار، فنجد أن الشمال المغناطيسي مثلاً يتحرك بمعدل 15 كيلو متر في السنة ويتأرجح، وخلال آلاف السنين (أو ملايين السنين) يغير اتجاهه، فيصبح في الجنوب بدلاً من الشمال وهكذا. وهذه الظاهرة تؤثر على الكائنات الحية على الأرض وعلى الحياة العامة. وسبب هذا الدوران هو دوران الحديد الموجود في نواة الأرض باستمرار.

ما يجب تذكّره

- مفهوم الحقل المغناطيسيّ: نقول عن منطقة من الفراغ إنّه يسودها حقل مغناطيسي إذا وضعت في نقطة منها إبرة مغناطيسية توجهت باتّجاه ومنحى معيّنين.
- يكون الحقل المغناطيسيّ منتظماً إذا كانت خطوط الحقل مستقيمات متسايرة وفي الجهة نفسها.
- خطّ الحقل المغناطيسيّ هو خطّ وهميّ يكون في كل نقطة من نقاطه مماسّاً لشعاع الحقل المغناطيسيّ في تلك النقطة.
- عامل الإنفاذ المغناطيسيّ هو النسبة بين قيمة الحقل المغناطيسيّ الكلي $\overrightarrow{B'}$ بوجود قطعة الحديد بين فرعي المغناطيس إلى قيمة الحقل المغناطيسيّ الأصلي $\overrightarrow{B}$.
- شدّة الحقل المغناطيسيّ لتيّار مستقيم طويل تعطى بالعلاقة:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} = 2\times10^{-7}\frac{I}{a}$$

حيث:

$$\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\, T\ m^{-1} A$$

- شدّة الحقل المغناطيسيّ لتيّار دائري تعطى بالعلاقة:

$$B = 2\pi\times10^{-7}\frac{n\,I}{r}$$

- شدّة الحقل المغناطيسيّ لتيّار حلزوني تعطى بالعلاقة:

$$B = 4\pi\times10^{-7}\frac{n\,I}{\ell}$$

أنشطة وتدريبات

أجب عن الأسئلة الآتية:

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1- نمرّر تيّاراً كهربائيّاً متواصلاً في سلك مستقيم، فينشأ حقل مغناطيسي شدّته B يبعد مسافة a عن محور السلك، وفي نقطة ثانية تبعد $2\ a$ عن محور السلك، وبعد أن نجعل شدّة التيّار نصف ما كانت عليه تصبح شدّة الحقل المغناطيسيّ في النقطة الثانية:

a) B b) $2\ B$ c) $4\ B$ d) $0.25\ B$

2- نمرّر تيّاراً كهربائيّاً متواصلاً في وشيعة فيتولّد عند مركزها حقل مغناطيسي شدته B نجعل شدّة التيّار المار مثلي ما كانت عليه فتصبح شدّة الحقل المغناطيسيّ عند مركزها:

a) B b) $2\ B$ c) $4\ B$ d) $0.5\ B$

3- نمرّر تيّاراً كهربائيّاً متواصلاً في ملفّ دائري، فيتولّد عند مركزه حقل مغناطيسيّ شدّته B نضاعف عدد لفّاته ونجعل نصف قطر الملفّ الوسطي مثلي ما كان عليه فتصبح شدّة الحقل المغناطيسيّ عند مركزه:

a) B b) $2\ B$ c) $4\ B$ d) $0.5\ B$

4- إذا كانت زاوية ميل الإبرة المغناطيسيّة i عن خط الزوال المغناطيسيّ الأرضي الأفقي فإنّ:

a) $\tan i = \frac{B_T}{B_V}$ b) $\tan i = \frac{B_H}{B_V}$ c) $\tan i = \frac{B_V}{B_H}$ d) $\tan i = \frac{B_T}{B_H}$

5- إنّ شدّة شعاع الحقل المغناطيسيّ في مركز وشيعة يتناسب طرداً مع:

a) مقاومة سلك الوشيعة.

b) طول الوشيعة.

c) التوتّر المطبّق بين طرفي الوشيعة.

d) سطح مقطع الوشيعة.

ثانياً: ضع إشارة ✓ أمام العبارة الصحيحة أو ✗ أمام العبارة الغلط ثمّ صحّحها لكلٍّ ممّا يأتي:

1- شدّة الحقل المغناطيسيّ المتولّد في مركز وشيعة يتناسب طرداً مع شدّة التيّار المار في الوشيعة.

2- شدّة الحقل المغناطيسيّ المتولّد في مركز وشيعة ينخفض إلى نصف شدّته في حالة مضاعفة عدد حلقاتها.

3- تزداد شدّة الحقل المغناطيسيّ لتيّار كهربائي متواصل يمرّ في سلك مستقيم كلّما ابتعدنا عن السلك.

4- نمرّر تيّاراً كهربائياً متواصلاً في وشيعة حرّة الحركة فيكون الوجه الشمالي للوشيعة متّجهاً نحو الشمال الجغرافي الأرضي.

ثالثاً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1- هل شعاع الحقل المغناطيسيّ ثابت دوماً في جميع نقاط خط قوّة الحقل؟ ناقش ذلك.

2- هل الحقل المغناطيسيّ منتظم في جميع النقاط الواقعة داخل وشيعة طويلة عندما يمرّ فيها تيّار كهربائي، ولماذا؟

3- كيف تتفاعل الأقطاب المغناطيسيّة المتماثلة؟ وكيف تتفاعل الأقطاب المغناطيسيّة المتعاكسة؟

4- متى نقول عن الحقل المغناطيسيّ بإنّه منتظم؟

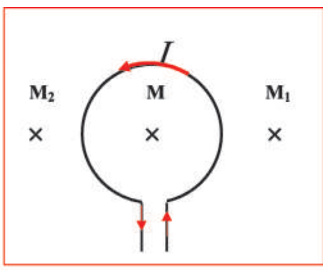
5- هل الحقل المغناطيسيّ لمغناطيس مستقيم منتظم؟

6- نقلنا إبرة مغناطيسية حرّة الحركة من نقطة إلى أخرى في منطقة يسودها حقل مغناطيسي فوجدناها تأخذ دوماً المنحى والجهة نفسيهما، فماذا يمكنك أن تقول عن هذا الحقل، ولماذا؟ أعطِ مثالاً على هذا الحقل.

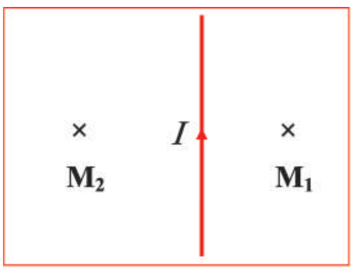
7- نضع إبرة بوصلة على طاولة أفقية لتستقرّ، كيف يجب وضع السلك بشكل أفقي فوق البوصلة، بحيث لا تنحرف إبرتها عند إمرار تيّار كهربائي في السلك (ناقش حالتين).

8- سلك مستقيم طويل يمر به تيّار شدته $20\ A$ احسب شدّة الحقل المغناطيسيّ الناتج عن مرور هذا التيّار في السلك عند نقطة تبعد بمقدار $10\ cm$ عن محور السلك.

9- حدّد جهة شعاع الحقل المغناطيسيّ في النقاط M ، M_1 ، M_2 في الشكل (1) وفي النقطتين M_1 ، M_2 في الشكل (2).



شكل – 1 –



شكل – 2 –

رابعاً: حلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى: نمرّر تيّاراً كهربائياً متواصلاً في سلك مستقيم طويل شدته 10 A. احسب شدّة الحقل المغناطيسيّ المتولّد في نقطة تبعد 5 cm عن محور السلك.

المسألة الثانية: ملفّ دائري نصف قطره الوسطي 12.5 cm وعدد لفّاته 100 لفة، نمرّر فيه تيّاراً كهربائياً متواصلاً شدّته 0.5 A ، حدّد بالكتابة والرسم عناصر شعاع الحقل المغناطيسيّ المتولّد عند مركز الملفّ.

المسألة الثالثة: وشيعة طولها 25 cm مؤلفة من 500 لفّة، نمرّر فيها تيّاراً كهربائياً متواصلاً شدّته 2 A حدّد عناصر شعاع الحقل المغناطيسيّ المتولّد عند مركز الوشيعة.

المسألة الرابعة: سلكان شاقوليان متوازيان البُعد بينهما 1 m نمرّر فيهما تيّارين كهربائيين لهما الشدّة نفسها، ولكن باتّجاهين متعاكسين شدّة كل منهما 10 A ، احسب شدّة الحقل المغناطيسيّ في منتصف المسافة بين السلكين.

المسألة الخامسة: سلكان طويلان ومتوازيان البُعد بينهما 1 m يمرّ فيهما تيّاران كهربائيّان، لهما اتّجاهان متعاكسان، فإذا كانت شدة التيّار المار في السلك الأوّل تساوي ثلث شدة التيّار المارّ في السلك الثاني. أوجد بُعد النقطة عن السلك الأوّل التي تقع على الخط العمودي الواصل بين السلكين حين تكون محصّلة الحقل المغناطيسيّ عندها تساوي الصفر.

المسألة السادسة: ملفّ دائري نصف قطره الوسطي 5 cm يولّد عند مركزه حقلاً مغناطيسياً، قيمته تساوي قيمة الحقل المغناطيسيّ الذي تولّده وشيعة عند مركزها عندما يمرّ بهما التيّار نفسه فإذا علمتَ أنّ عدد لفّات الوشيعة 100 لفة وطولها 20 cm فاحسب عدد لفّات الملف الدائري.

المسألة السابعة: نضع سلكين شاقوليين طويلين متوازيين بحيث يبعد منتصفاهما M_1،M_2 أحدهما عن الآخر 4 cm، نمرّر في السلك الأوّل تيّاراً كهربائياً شدّته I_1 ونمرّر في السلك الثاني تيّاراً كهربائياً شدّته I_2 وباتجاهين متعاكسين، فتكون شدّة الحقل المغناطيسيّ المحصّل لحقلي التيّارين 4×10^{-7} T عند النقطة M منتصف المسافة بين M_1،M_2 ، وعندما يكون التيّاران بجهة واحدة تكون شدّة الحقل المغناطيسيّ المحصّل عند M هي 2×10^{-7} T فإذا كان $I_1>I_2$ احسب كلاً من I_1،I_2 .

النشاط: الحقل المغناطيسيُّ لتيَّار كهربائيّ في سلك مستقيم طويل

الهدف من النشاط:

تجسيدُ الحقل المغناطيسيّ الناشئ عن تيّار كهربائيّ في سلك مستقيم طويل.

الأجهزة والأدوات:

سلكٌ نحاسيٌّ طويلٌ وغليظٌ ومستقيمٌ، لوحٌ من الكرتون المقوّى، مولِّد تيَّار كهربائيّ مستمرّ، برادة حديد، بوصلة.

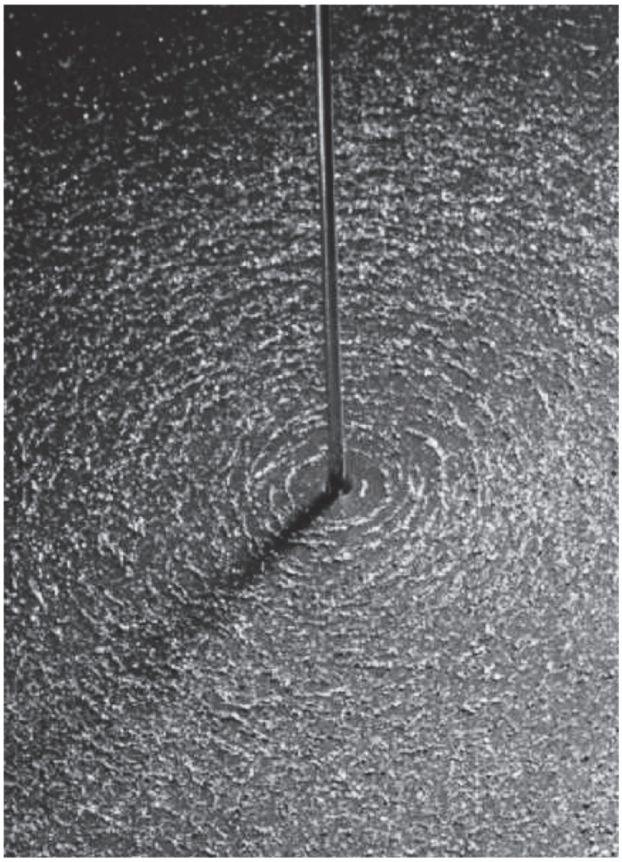
المهاراتُ المرجوُّ اكتسابُها:

الملاحظةُ، التوقّع، تفسير النتائج.

المبدأ النظريُّ:

أوّل من اكتشف تجريبيّاً الأثر المغناطيسيَّ للتيَّار الكهربائيِّ هو العالم الدنماركيّ أورستد الذي لاحظَ انحراف إبرة بوصلة صغيرة موضوعة موازية سلكاً ناقلاً نتيجة مرور تيَّارٍ كهربائيٍّ متواصل فيه.

الإجراءات:



1. ثبِّت لوح الكرتون بشكلٍ أفقيٍّ، واجعل السلك النحاسيَّ المستقيم يمرُّ من مركزه بشكل شاقوليٍّ، ثمَّ صل طرفي السلك بمولِّدٍ لتيَّارٍ متواصل.
2. انثر برادة الحديد على لوح الكرتون مع الطرق بلطف. تلاحظُ أنّ برادة الحديد تترتَّب على هيئة دوائرَ مركزها يقع على محور السلك كما في الشكل المجاور.
3. ضع إبرةَ البوصلة على اللَّوح. ماذا تلاحظ؟ تجد أنّ إبرتها تأخذ منحىً واتجاهاً مُعيَّناً.
4. اعكس جهة التيّار في السلك المستقيم. تلاحظ أنّ الإبرة تأخذُ اتِّجاهاً معاكساً ل لسابق.

التحليل والاستنتاج:

ماذا تستنتج من التجربة؟

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

النشاط: الحقل المغناطيسيُّ لتيَّار كهربائيٍّ في ملفٍّ دائريٍّ

الهدف من النشاط:

تجسيدُ الحقل المغناطيسيِّ الناشئ عن تيّار كهربائيٍّ متواصل في ملفٍّ دائريٍّ.

الأجهزة والأدوات:

ملفٌّ دائريٌّ، لوح من الكرتون المقوّى، مولّد تيّار كهربائيّ مستمرّ، برادة حديد، بوصلة، أسلاك توصيل.

المهارات المرجوُّ اكتسابُها:

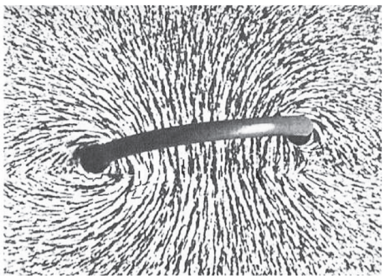
الملاحظةُ، التوقّع، تفسير النتائج

المبدأ النظريُّ:

يختلفُ شكل خطوط الحقل المغناطيسيّ باختلاف الشكل الهندسيّ للدارة الكهربائيّة.

الإجراءات:

1. اجعل الملفَّ الدائريَّ يخترق قطعة الكرتون بحيث يكون مستواها أفقيًّا، ومستوي الملفّ شاقوليًّا، ثمَّ صل طرفي الملفّ بمولِّدٍ لتيَّار متواصل.
2. انثرْ برادة الحديد على لوح الكرتون مع الطَّرْق بلطف. تلاحظُ أنّ برادة الحديد تترتَّب كما في الشكل المجاور.
3. ضعْ إبرة البوصلة على اللَّوح. ماذا تلاحظ؟ تجدُ أنّ إبرتها تأخذ منحىً واتّجاهاً معيّناً.



التحليل والاستنتاج:

....

....

....

....

....

....

....

الضوء والصوت

- الحركة الدوريّة والحركة الاهتزازيّة وانتشار الأمواج

- انعكاس وانكسار الأمواج
- التّداخل والانعراج
- الضوء غير المرئي

الضّوء والصّوت

الأهدافُ العامّة للوحدة :

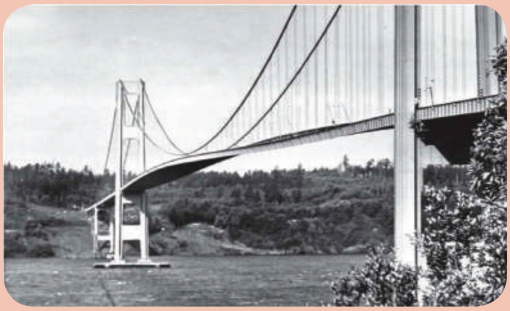
يجب أنْ يكون المتعلّمُ في نهايةِ الوحدة قادراً على أن:

- يميّز بين الحركة الاهتزازيّة والحركة الدوريّة.
- يتعرّف التّداخل في الأمواج.
- يتعرّف انعراج الأمواج عند اعتراض طريقها بحاجز.
- يتعرّف الأمواج المتقدمة.
- يميّز بين الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجيّة.
- يحل تمارين ومسائل تطبيقيّة.

الدرس الأول

الحركة الدوريّة والحركة الاهتزازيّة وانتشار الأمواج

الأهداف التعليمية



1. - يتعرّف الحركة الدوريّة.
2. - يتعرّف الحركة الاهتزازيّة.
3. - يميّز بين الاضطّراب العرضيّ والاضطّراب الطولّي.
4. - يوضّح أشكال انتشار الأمواج.
5. - يتعرّف قطار الأمواج المتقدمة.
6. - يربط بين حركات دوريّة اهتزازيّة وغير اهتزازيّة.
7. - يبيّن بتجارب انتشار الأمواج في أوساط ماديّة مختلفة.
8. - يربط العلاقة بين طول الموجة والدور والتواتر.
9. - يتعرّف طول الموجة.
10. - يستنتج الدوريّة المضاعفة للموجة.
11. - يقارن بين التوافق والتعاكس والترابع.

أولاً: الحركة الدورية والحركة الاهتزازية.

الحركة الدوريّة:

هناك حركات مألوفة تتكرر مماثلة لنفسها: كحركة دقّات قلبك، أو حركة أرجوحة، وتعاقب الليل والنهار.

- ما الصفة المشتركة بين هذه الحركات؟

تتصف هذه الحركات بأنّها تتكرّر مماثلة لنفسها، وتسمّى حركة كلّ منها بالحركة الدوريّة.

فالحركة الدوريّة: هي الحركة التي تتكرّر ممّاثلة لنفسها خلال فترات زمنيّة متساوية.

- نسمّي أصغر فترة زمنيّة تلزم لتكرّر الحركة نفسها بدور الحركة، ونرمز له T، ووحدته في الجملة الدولية SI هي الثانية s.
- تواتر الحركة الدوريّة: هو عدد الأدوار في وحدة الزمن، ونرمز له f ووحدته هرتز Hz في الجملة الدوليّة SI.

الحركة الاهتزازيّة:

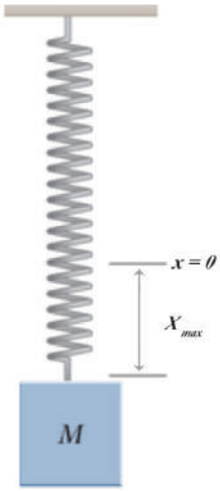
سندرس بعض الأمثلة على الحركة الاهتزازيّة، وسنهمل في هذه الدراسة تبدّد الطاقة.

مثال (1):

- نعلّق في طرف نابض مرن شاقوليّ، حلقاته متباعدة يحمل في طرفه الآخر جسماً كتلته مناسبة M، ونتركه ليتوازن.
- نزيح الجسم عن وضع توازنه شاقوليّاً نحو الأسفل مسافة مناسبة (ضمن حدود مرونة النابض)، ونتركه، ماذا نلاحظ؟

يهتزّ الجسم بحريّة إلى جانبي وضع توازنه بفعل قوّة مرونة النابض بحركة اهتزازيّة (دوريّة).

- يُسمّى أكبر مقدار للإزاحة إلى أحد جانبي وضع التوازن بسعة الحركة، ونرمز لها X_{max} وهي موجبة دوماً، ووحدتها المتر m في الجملة الدولية SI.

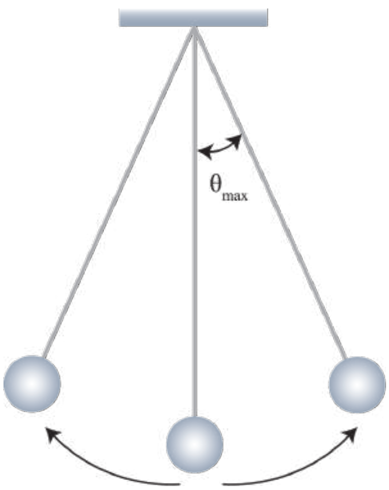


الشكل 4-1-1
الحركة الاهتزازية لكتلة معلقة بطرف نابض

مثال (2):

- نعلّق كرة معدنية صغيرة بطرف خيط مهمل الكتلة لا يمتطّ ونثبّت طرفه الآخر، ونتركه ليتوازن.
- نزيح الكرة عن وضع توازنها لينحرف الخيط عن الشاقول بزاوية θ ونتركها، ماذا نلاحظ؟

- تهتزّ الكرة بحريّة إلى جانبي وضع توازنها ذهاباً وإياباً بحركة اهتزازيّة (دوريّة).
- نسمّي أكبر زاوية يصنعها الخيط مع وضع التوازن (السعة الزاوية للحركة) ونرمز لها θ_{max} ووحدتها rad في الجملة الدولية SI.



الشكل 4-1-2
الحركة الاهتزازية لكرة معلقة بطرف خيط لا يمتط مهمل الكتلة

إذاً: الحركة الاهتزازيّة هي حركة إلى جانبي وضع التوازن، وتكون سعة الاهتزاز ثابتة في غياب الاحتكاك (في حالة غياب ضياع الطاقة).

ثانياً: الأمواج وانتشارها

تحوّل العالم إلى قرية صغيرة بفعل التطور الهائل لوسائل الاتصال، فأصبح يمكنك الاتصال بواسطة الهاتف النقال أو شبكة الانترنت

وغيرها بسرعة مدهشة، أو مشاهدة حدث ما (رياضي، اجتماعي ....) لحظة وقوعه في أي مكان في العالم. نتساءل كيف تنتقل المعلومات من مكان إلى آخر بهذه السرعة؟

تنتشر المعلومات على شكل أمواج كهرطيسية بسرعة الضوء.

- لعلّك تساءلت ما الأمواج؟

يمكن تقسيم الأمواج من حيث طبيعتها إلى:

- **الأمواج الميكانيكية:** هي أمواج تحتاج إلى وسط ماديّ لانتقالها وتتضمّن اهتزاز أجزاء هذا الوسط الماديّ وانتقال الطاقة فيه كأمواج الماء والأمواج الصوتيّة. كذلك تبدي الإلكترونات أيضاً خواصّ موجيّة أي تسلك سلوك الأمواج.
- **الأمواج الكهرطيسية:** هي أمواج لا تحتاج إلى وسط ماديّ لانتقالها، مثل الأمواج الضوئيّة، والأشعّة السينيّة وأمواج الراديو والتلفاز.

1- انتشار اضطراب وحيد

وسط الانتشار:

نترك حجراً صغيراً ليسقط في بركة ماء ساكن، ماذا نلاحظ؟ يتشوّه مكان سقوط الحجر على سطح الماء مسبباً اضطراباً، ثمّ ينتشر على شكلّ تجاعيد دائريّة تصيب جميع نقاط الوسط. ندعو سطح الماء بوسط الانتشار.

إن الوسط الذي تعود فيه جميع نقاطه إلى حالتها الأصلية بعد زوال الاضطراب يدعى وسطاً مرناً.

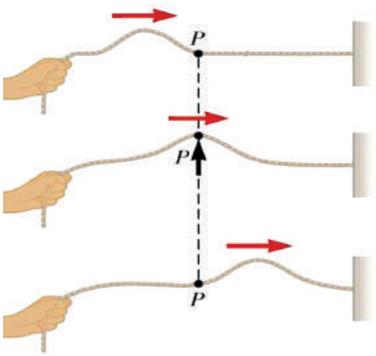
ينتشر الاضطراب المتولّد في نقطة من وسط مرن إلى بقية نقاط الوسط، بحيث يعود إلى شكلّه الأصليّ بعد زوال سبب التشوّه.

حدوث الانتشار:

نمدّ حبلاً من المطاط أفقياً، ونثبّت أحد طرفيه في الجدار تثبيتاً ليناً (مثلاً نحيطه بقطعة نسيج) كما في الشكلّ.

نشدّ الحبل ونحدث في نقطة منه P مثلاً هزّة واحدة. ماذا نلاحظ؟

ينتشر هذا الاضطراب (الاهتزاز) على طول الحبل من نقطة إلى أخرى تدريجيّاً.



الشكل 3-1-4
انتشار الاضطرات في حبل

ممّيزات الانتشار

1. إنّ انتشار الاضطراب ليس آنياً بل يستغرق وصول الاضطراب إلى نقطة ما زمناً يزداد مع بُعدها x عن المنبع M .
2. تكرّر كلّ نقطة حين يصلها الاضطراب حركة المنبع M بتأخر زمني $t = \frac{x}{v}$ هو الزمن اللازم لوصول الاضطراب إليها.
3. لا يرافق انتشارَ الاضطراب انتقالٌ في مادة الوسط من نقطة إلى أخرى، بينما يرافق ذلك انتقال في الطاقة.

أي أ- تهتز المادة مع منحى الاضطراب.

ب- تنتقل الطاقة مع منحى الانتشار.

2- الاضطراب العرضيّ والاضطراب الطوليّ

أ- الاضطراب العرضيّ:

يكون فيه منحى انتقال الطاقة عمودياً على منحى انتقال المادّة.

أمثلة: اهتزاز حبل من المطاط - انتشار تجاعيد دائريّة على سطح الماء.

ب- الاضطراب الطوليّ:

يكون فيه منحى انتقال الطاقة منطبقاً على منحى انتقال المادّة.

أمثلة: انتشار انضغاط في بعض حلقات نابض - انضغاط غاز في اسطوانة

- لا ينتشر الاضطراب العرضيّ الميكانيكي إلاّ في الأوساط التي تتوافر فيها قوى تماسك كافية بين ذرّاتها، كما في الأجسام الصلبة والسطوح الحرة للسوائل.
- ينتشر الاضطراب الطوليّ في جميع الأوساط الصلبة والسائلة والغازية؛ لأنه يكفي لانتشاره أن تصدم الذرّة المتحرّكة ذرّة أخرى أمامها لتحرّكها وفق منحى الانتشار، ولا حاجة لوجود قوى تماسك.

سرعة انتشار الاضطراب

وتر مرن متجانس مشدود بين نقطتين a ، b نضع خليّتين كهربائيّتين ضوئيتين M_1 ، M_2 مربوطتين إلى ميقاتية إلكترونية، نولّد اضطراباً في الوتر، وعندما يمرّ هذا الاضطراب أمام M_1 تبدأ الميقاتية بالعمل، ويتوقّف عندما يمرّ أمام M_2 وبذلك نكون قد قمنا بقياس الزمن اللازم لقطع الاضطراب المسافة x الفاصلة بين M_1 ، M_2.

نكرّر التجربة من أجل مسافات مختلفة، فنجد أنّ النسبة $\frac{x}{t}$ ثابتة وهي سرعة انتشار الاضطراب. أي $v = \frac{x}{t}$ إنّ سرعة انتشار الاضطراب ثابتة في وسط متجانس.

الأمواج المتقدّمة: تنجم الأمواج المتقدّمة عن التكرار الدوريّ لاضطرابات (إشارات) متماثلة بالسرعة نفسها v .

إنّ الطاقة الميكانيكية E التي تكتسبها كل نقطة من نقاط الوسط الذي ينتشر فيه الاضطراب (نابض مرن)، تعطى بالعلاقة:

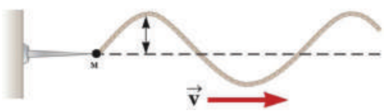
$$E = \frac{1}{2} k \, X_{max}^2$$

حيث تمثّل X_{max} سعة الاضطراب (الإشارة) العظمى

3- أشكال انتشار الأمواج:

عندما نولّد اضطراباً في نقطة من وسط مرن فإنّ هذه النقطة تكتسب طاقة لا يضيع منها شيء إذا كان الوسط تامّ المرونة ممّا يجعل هذا الاضطراب ينتشر في جميع نقاط الوسط.

أ- إذا كان الوسط وحيد البُعد: تنتشر الأمواج وفق هذا البُعد، كما في حالة وتر مرن (أي أنّ الطاقة التي يولّدها المنبع تصل بكاملها إلى جميع النقاط وفق هذا البُعد) كما في الشكل (4 - 1 - 4).



الشكل 4-1-4

ب- إذا كان الوسط سطحاً مستوياً:

تنتشر الأمواج في جميع مناحي هذا المستوي وفق دوائر على سطح الماء كما في الشكل (5 - 1 - 4) (أي أنّ الطاقة تتوزّع على مجموعة النقاط الواقعة على محيط دائرة نصف قطرها r، ونصيب كلّ نقطة من هذه الطاقة $E_1 = \frac{E}{2\pi r}$).

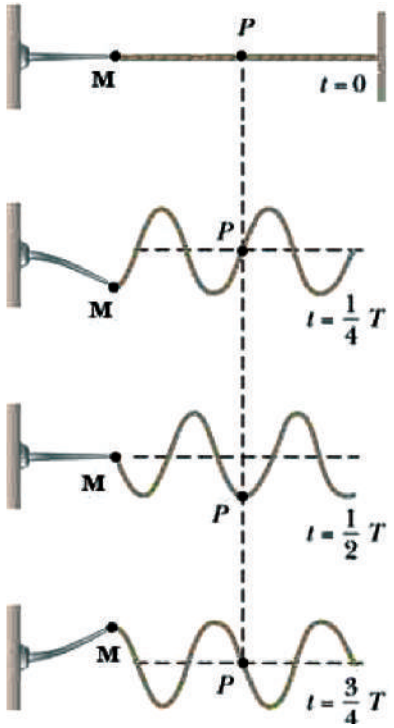

الشكل 4-1-5

ج- إذا كان الوسط فراغاً: تنتشر الأمواج وفق جميع مناحي الفراغ (أي أنّ الطاقة تتوزّع على نقاط سطح كرة نصف قطرها r، ونصيب كلّ نقطة من هذه الطاقة $E_1 = \frac{E}{4\pi r^2}$). حيث E هي الطاقة المتاحة في المركز في البداية كما في الشكل (6 - 1 - 4).


الشكل 4-1-6

ثالثاً: انتشار الاهتزاز المغذّى (الأمواج المتقدمة)

انتشار الاهتزاز العرضيّ المغذّى على وتر(قطار الأمواج):



الشكل 7-1-4
قطار الأمواج العرضية

- نثبّت طرف وتر مرن طويل أفقيّاً بإحدى شعبتي رنّانة كهربائيّة مغذّاة لتولّد فيه اهتزازاً عرضيّاً.
- نجعل الرنّانة تهتزّ، ماذا تشاهد؟

تكرّر كلّ نقطة من نقاط الوتر حركة المنبع M بتفاوت زمني، أي ينتشر الاهتزاز على طول الوتر بسرعة ثابتة، ويتشكل في الحبل ارتفاعات وانخفاضات متتابعة متماثلة تماماً تسمّى قطار الأمواج.

ماذا تقرأ من الأشكال المبيّنة؟

في اللحظة $t = 0$ تكون نقاط الوتر في وضع التوازن.

في اللحظة $t = \frac{T}{4}$ تكون النقطة M قد أدّت ربع هزّة والنقطة P سوف تبدأ بالاهتزاز لتكرّر حركة M التي تبعد عنها مسافة $MP = v \times \frac{T}{4}$

أمّا النقاط التي بين M و P فكلّها تكرّر حركة M بتفاوت زمنيّ يتعلّق ببُعد النقطة عن M .

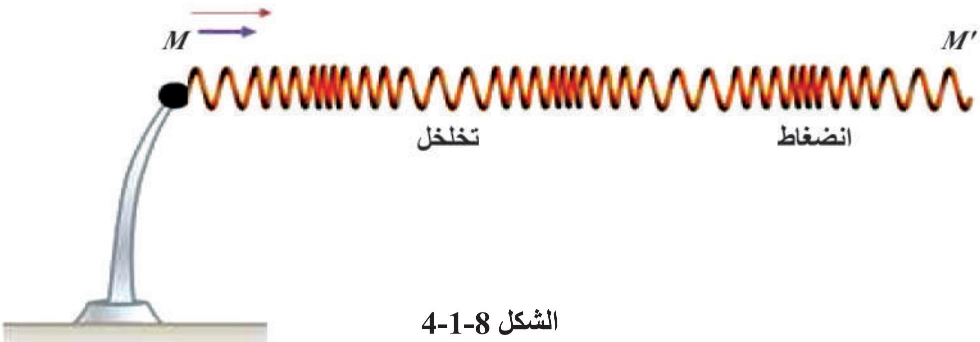
ناقش بالطريقة نفسها بقية الأشكال. ماذا تستنتج؟

إنّ الاهتزاز العرضيّ المغذّى ينتشر على طول الوتر بموجات متتابعة تؤلف قطار الأمواج.

انتشار الاهتزاز الطوليّ المغذّى على نابض (قطار الأمواج):

نثبّت طرفَ نابضٍ أفقيّ في النقطة M'، ونربط طرفه الآخر M بإحدى شعبتي رنّانة كهربائيّة مغذّاة لتولّد فيه اهتزازاً طوليّاً كما في الشكلّ.

نجعل الرنّانة تهتزّ، ماذا نشاهد؟



الشكل 8-1-4
قطار الأمواج الطولية

- تهتزّ كلّ حلقة من حلقات النابض إلى جانبي وضع توازنها عندما يصلها الاهتزاز مكرّرة اهتزاز المنبع، ومتأخرة عنه بأزمنة متفاوتة حسب بُعد الحلقة عن المنبع، ويرافق اهتزاز مختلف الحلقات سلسلة من الانضغاطات والتخلخلات.

الاهتزاز الطوليّ المغذّى ينتشر على طول النابض بسلسلة متتابعة من الانضغاطات والتخلخلات تؤلّف قطار الأمواج.

طول الموجة: هي المسافة التي يقطعها الاهتزاز خلال دور واحد.

وجدنا أنّ سرعة الانتشار ثابتة $v = \dfrac{x}{t}$ وخلال زمن دور واحد $t = T$ تقطع الأمواج مسافة $\lambda = x$ بالتعويض في علاقة سرعة الانتشار فنجد: $v = \dfrac{\lambda}{T}$

وبما أنّ $T = \dfrac{1}{f}$ تكون سرعة انتشار الأمواج:

$v = f\ \lambda$ حيث:

v سرعة الانتشار $(\mathrm{m.s^{-1}})$

f تواتر الاهتزاز (Hz)

λ طول الموجة (m)

مثال محلول (1):

تُحدث شعبة رنّانة اضطراباً عرضيّاً في وتر مرن بتواتر $200\ \mathrm{Hz}$ فإذا كان طول الموجة الحادثة يساوي $20\ \mathrm{cm}$ فاحسب سرعة انتشار هذا الاضطراب في الوتر.

الحلّ:

$$v = f\ \lambda$$

$$v = 200 \times \frac{20}{100} \Rightarrow v = 40\ \mathrm{m.s^{-1}}$$

مثال محلول (2):

تبثّ محطّة إذاعة إرسالها على موجة تواترها 500 kHz احسب طول موجة هذه المحطّة إذا علمت أنّ سرعة انتشار الموجات الكهرطيسية في الهواء $3\times10^{8}\ m.s^{-1}$.

الحلّ:

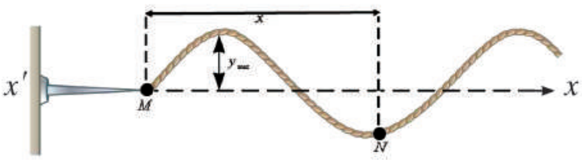
$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{3\times10^{8}}{500\times1000} = 600\ \text{m}$$

معادلة اهتزاز نقطة من وسط مرن:

تنتشر الأمواج في الأوساط الماديّة المرنة (حبل مثلاً) بشكلّ دوريّ منتظم نتيجة اهتزاز المنبع M ممّا يسبّب اهتزاز جزيئات الوسط بالكيفية نفسها؛ ممّا يؤدّي إلى انتشار طاقة الاهتزاز على شكلّ موجة جيبيّة إذا كان اهتزاز المنبع جيبيّاً، فإذا كانت معادلة المنبع في وضع التوازن في اللحظة t:

$$y_{M} = Y_{max} \cos \omega t$$



الشكل 9-1-4
تكرّر نقاط الحبل حركة المنبع عندما يصلها الاهتزاز

لإيجاد مطال نقطة N من الحبل فاصلتها x نلاحظ أنّه لكي يصل الاهتزاز من المنبع إلى النقطة N يلزمه زمن $t' = \frac{x}{v}$ أي تعيد النقطة N حركة المنبع M بتأخّر زمني t' باعتبار أنّ الانتشار يتمّ في الاتجاه الموجب للمحور $\overrightarrow{x'x}$.

إنّ مطال N في اللحظة t هو مطال المنبع M في اللحظة $(t - t')$:

$$y_{N} = Y_{max} \cos \omega (t - t')$$

$$y_{N} = Y_{max} \cos \omega (t - \frac{x}{v})$$

ولكن: $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$

$$y_N = \mathrm{Y}_{\max} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{vT}\right) \quad \text{ولكن} \quad \lambda = vT$$

$$y_N = \mathrm{Y}_{\max} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$\boxed{y_N = \mathrm{Y}_{\max} \cos \left(2\pi \frac{t}{T} - 2\pi \frac{x}{\lambda}\right)}$$

وهي معادلة مطال نقطة من وسط الانتشار.

نلاحظ أنّ مطال النقطة N تابع لمتحولين:

1. للزمن t أي يتغيّر من لحظة إلى أخرى.
2. للمسافة x أي يتغيّر من نقطة إلى أخرى.

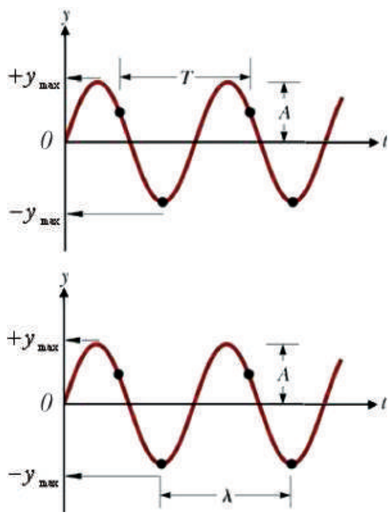
ملاحظة: إذا كان الانتشار يحدث في الاتجاه السالب للمحور $\overrightarrow{x'x}$ تصبح معادلة المطال:

$$y_N = \mathrm{Y}_{\max} \cos \left(2\pi \frac{t}{T} + 2\pi \frac{x}{\lambda}\right)$$

الدوريّة المضاعفة للموجة:

- **دوريّة الحركة في الزمن:** إذا كان $x = const$
إنّ مطال النقطة N تابع جيبيّ دوريّ للزمن t فقط دوره T وهذا يعني أنّ مطال النقطة N يعود ليأخذ القيم نفسها والجهة نفسها في فترات زمنية متساوية كلّ منها يساوي T.

- **دوريّة الحركة في المسافة:** إذا كان $t = const$ (ننظر إلى مختلف نقاط الوسط في اللحظة نفسها) فإنّ المطال يصبح تابعاً جيبيّاً للمسافة x فقط ودوره يساوي λ طول الموجة، وهذا يعني أنّ مختلف نقاط الوسط لا يكون لها مطالات متساوية في اللحظة نفسها، ولكنّ النقاط التي تفصل فيما بينها مسافات متساوية كلّ منها تساوي طول الموجة λ يكون لها في اللحظة نفسها المطال نفسه وجهة الحركة نفسها.



الشكل 10-1-4
للموجة دورية مضاعفة

مثال محلول (3):

تنتشر حـركـة جيبيّـة فـي وسـط مـرن، تعـطى معادلـة المطـال y_N لنقطة N من هذا الوسط تبعد مسافة x عن منبع الأمواج بالمعادلة الآتية:

$$y_N = 0.04\cos(100\pi t - 15x) \qquad (m)$$

والمطلوب:

1. حدّد قيمة سعة الحركة.
2. حساب تواتر حركة المنبع.
3. حساب طول الموجة المنتشرة في الوسط المرن.
4. حساب سرعة انتشار الأمواج في الوسط المرن.

الحلّ:

مطال أيّ نقطة من وسط الانتشار يعطى بالمعادلة:

$$y_N = Y_{max}\cos(2\pi\frac{t}{T} - \frac{2\pi x}{\lambda})$$

بمقارنة المعادلة المعطاة مع هذه المعادلة نجد:

1- سعة الحركة: $Y_{max} = 0.04\ m$

2- التواتر:

$$2\pi f = 100\pi \Rightarrow$$

$$f = \frac{100\pi}{2\pi} = 50\ Hz$$

-3

$$\frac{2\pi}{\lambda} = 15 \Rightarrow$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{15} = 0.42\ m$$

-4

$$v = \lambda f$$

$$v = 0.42 \times 50$$

$$v = 21\ m.s^{-1}$$

النقاط المميّزة في وسط الانتشار:

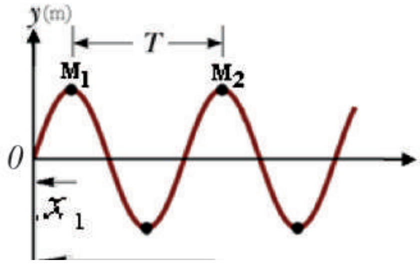
لتكن لدينا النقطتان M_1 ، M_2 من حبل مرن فاصلتهما x_2 ، x_1 على الترتيب بحيث يكون فرق المسير: $\Delta = |x_2 - x_1|$ والتفاوت الزمنيّ بين النقطتين هو $t' = \frac{\Delta}{v}$:

<u>شرط التوافق</u>: تكون النقطتان M_1 ، M_2 على توافق إذا كان لهما الحالة الاهتزازيّة نفسها ويتحقّق عندئذٍ فرق في المسير:

$\frac{\Delta}{v} = k\,T$ حيث k عدد صحيح موجب.

$$\Delta = k\,vT \quad \Rightarrow$$

$$\Delta = k\,\lambda$$



الشكل 4-1-11
النقطتان M_1 , M_2 تهتزان على توافق

لكي تهتزّ النقطتان على توافق يجب أن يكون فرق المسير بينهما عدداً صحيحاً من طول الموجة.

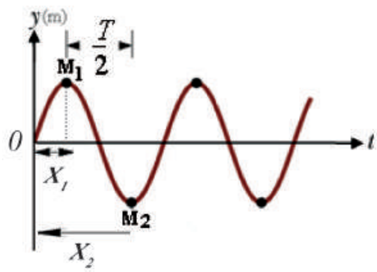
<u>شرط التعاكس</u>: تكون النقطتان M_1 ، M_2 على تعاكس عندما يتحقّق فرق في المسير:

$$\frac{\Delta}{v} = (2k+1)\frac{T}{2}$$

حيث k عدد صحيح.

$$\Delta = (2k+1)\frac{T\,v}{2}$$

$$\Delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$



الشكل 4-1-12
النقطتان M_1 , M_2 تهتزان على تعاكس

لكي تهتزّ النقطتان على تعاكس يجب أن يكون فرق المسير بينهما عدداً فرديّاً من نصف طول الموجة.

<u>سؤال</u>: حدّد النقاط التي تهتزّ على توافق مع المنبع والنقاط التي تهتزّ على تعاكس مع المنبع.

الأمواج المتقدّمة الدائريّة:

نولّد أمواجاً دائريّة على سطح الماء بواسطة منبع اهتزازيّ نقطي يهتزّ شاقوليّاً، ويمسّ سطح الماء بنقطة ولتكن o فينتشر الاهتزاز على السطح

الحرّ للماء في جميع الاتجاهات بسرعة ثابتة فيصل الاهتزاز في لحظة ما t نفسها إلى مجموعة من النقاط تقع على محيط دائرة مركزها o منبع الاهتزاز، تشكلّ هذه النقاط سطح الموجة الدائريّة.

سطح الموجة:

في حالة الانتشار المستوي والفراغي، فإنّ مجموعة النقاط التي تبعد عن منبع الاضطراب أبعاداً متساوية يصلها الاضطراب بآنٍ واحد، وتتوافق في اهتزازها تسمّى سطح الموجة. وتكون هذه السطوح دائريّة في الأوساط المستويّة المتجانسة، وكرويّة في الأوساط الفراغية المتجانسة.

الأمواج المتقدّمة المستوية:

إذا ولّدنا أمواجاً متقدّمة على سطح الماء في حوض الأمواج بواسطة منبع مهتز بشكلّ مسطرة ذات حدّ رفيع، كما في الشكل، نجد خطوطاً مستقيمة متوازية، البُعد بين كلّ خطّين متتاليين لهما الحالة الاهتزازيّة نفسها (تهتزان على توافق) يساوي طول الموجة λ .

الشكل 13-1-4
يبيّن الحالة الاهتزازية لمختلف نقاط سطح السائل

ما يجب تذكره

- الأمواج الميكانيكيّة تحتاج إلى وسط ماديّ لانتقالها.
- الأمواج الكهرطيسيّة لا تحتاج إلى وسط ماديّ لانتقالها.
- الحركة الدوريّة هي حركة تتكرّر مماثلة لنفسها خلال فترات زمنيّة متساوية.
- الحركة الاهتزازيّة هي حركة إلى جانبي وضع التوازن.
- الوسط المرن تعود فيه جميع نقاط الوسط إلى حالتها الأصليّة بعد زوال الاضطراب.
- في الاضطراب العرضيّ يكون منحى انتقال الطاقة عمودياً على منحى انتقال المادة.
- في الاضطراب الطوليّ يكون منحى انتقال الطاقة منطبقاً على منحى انتقال المادة.
- سرعة انتشار الاضطراب ثابتة في وسط متجانس.
- سطح الموجة هو مجموعة النقاط التي تبعد عن منبع الاضطراب أبعاداً متساوية، ويصلها الاهتزاز بآنٍ واحد، وتكون متوافقة في اهتزازها.
- الاهتزاز العرضيّ المغذّى ينتشر على طول الوتر المرن بموجات متتابعة تؤلّف قطار الأمواج.
- الاهتزاز الطوليّ المغذّى ينتشر على طول النابض بسلسلة متتابعة من الانضغاطات والتخلخلات تؤلّف قطاراً للأمواج.
- طول الموجة هو المسافة التي يقطعها الاهتزاز في دور واحد ويعطى بالعلاقة: $\lambda = \frac{v}{f}$
- معادلة اهتزاز نقطة من الوسط المرن يصلها الاهتزاز بجهة الانتشار تعطى بالعلاقة:

$$y_N = y_{max} \cos(2\pi \frac{t}{T} - 2\pi \frac{x}{\lambda})$$

- تهتزّ نقطتان على:

1. توافق عندما يكون: $\Delta = k\lambda$
2. تعاكس عندما يكون: $\Delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$
3. ترابع عندما يكون: $\Delta = (2k+1)\frac{\lambda}{4}$

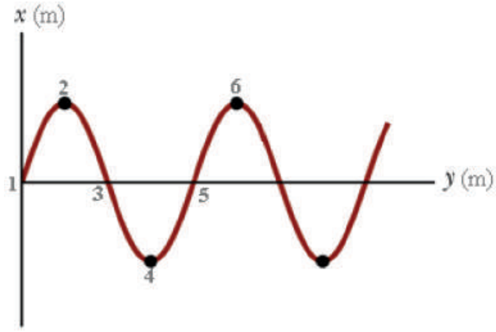
أنشطة وتدريبات

أوّلاً: اختر أنسب إجابة صحيحة لكلّ من العبارات الآتية:

1- الموجات التي تحتاج إلى وسط ماديّ لانتشارها:

a) ميكانيكيّة   b) كهرطيسيّة   c) عرضيّة   d) طوليّة

2- المسافة الممثّلة لطول موجة واحدة بين نقطتين على الشكّل هي:



a) (3,1)   b) (4,2)   c) (5,6)   d) (2,6)

3- نُحدث اضطراباً على سطح ماء بتواتر 5 Hz فتنتشر الأمواج على سطح الماء بسرعة $20\ cm.s^{-1}$ فيكون طول الموجة:

a) 20 cm   b) 0.05 cm   c) 4 cm   d) 100 cm

ثانياً: أكمل الجمل الآتية بوضع العبارة المناسبة في الفراغات:

1- الأمواج الكهرطيسيّة لا تحتاج إلى وسط .... مثل ....

2- الحركة الدوريّة هي .... في فترات زمنيّة ....

3- انتشار الاضطراب في وسط مرن ليس .... زمناً

4- لا يرافق انتشار الاضطراب .... من نقطة إلى أخرى بينما يرافق ذلك ....

5- لا ينتشر الاضطراب العرضيّ إلاّ .... بين ذراتها كما في .... و..........

6- الاهتزاز الطوليّ المغذّى ينتشر على طول النابض بسلسلة متتابعة .... تؤلّف ....

ثالثاً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1- قارن بين الموجة العرضيّة والموجة الطوليّة، واذكر مثالاً من حياتنا اليوميّة على كلّ منهما.

2- ينتشر الاضطراب الطوليّ في جميع الأوساط الصلبة والسائلة والغازيّة. علّل ذلك.

رابعاً: حلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى: يستغرق انتشار موجة ميكانيكيّة من بداية حبل طوله 14.4 m وحتّى نهايته زمناً قدره 4.8 s، احسب سرعة انتشار هذه الموجة، وما نوعها؟

المسألة الثانية: إذا كانت المسافة بين قمتين متتاليتين في موجة عرضيّة تساوي 1.2 m وتمر 9 قمم من نقطة محدّدة باتجاه انتشار الأمواج كلّ 12 s والمطلوب احسب سرعة انتشار الموجة.

المسألة الثالثة: قطار من الأمواج الجيبيّة يعبّر عنه بالعلاقة الآتية:

$$y_n = 0.25 \cos(40t - 0.3x_n)$$

حيث $(y \text{ ، } x)$ تقاس بالمتر، t بالثانية، والمطلوب:

a- احسب تواتر الموجة وطولها وسرعتها.

b- بيّن اتجاه انتشار الأمواج.

المسألة الرابعة: تهتزّ شعبة رنّانة كهربائيّة أفقية وفق التابع الزمنيّ:

$$y_m = 10^{-3} \cos(200\,\pi\, t)$$

حيث تقدّر y_m بالمتر. يربط بهذه الشعبة خيط مرن أفقي طويل ينتشر فيه الاهتزاز دون تخامد بسرعة $4\ m.s^{-1}$ ، والمطلوب:

استنتج التابع الزمنيّ لمطال نقطة تبعد 10 cm عن طرف شعبة الرنّانة الكهربائيّة.

المسألة الخامسة: يهتزّ طرف وتر مرن طويل حركة اهتزازيّة جيبيّة عرضيّة تواترها 65 Hz ويُلاحظ أنّ أول نقطة n تهتزّ على التعاكس مع المنبع تبعد عنه 30 cm، احسب سرعة انتشار الأمواج، وعيّن أبعاد النقاط التي تهتز على توافق مع النقطة n.

المسألة السادسة: يتحرّك منبع اهتزازيّ M حركة جيبيّة، تواترها 50 Hz، سعتها 50 cm، وتنتشر هزّاته على مستقيم $x'x$ بسرعة $4\ m.s^{-1}$ دون تخامد. المطلوب:

a- احسب طول الموجة.

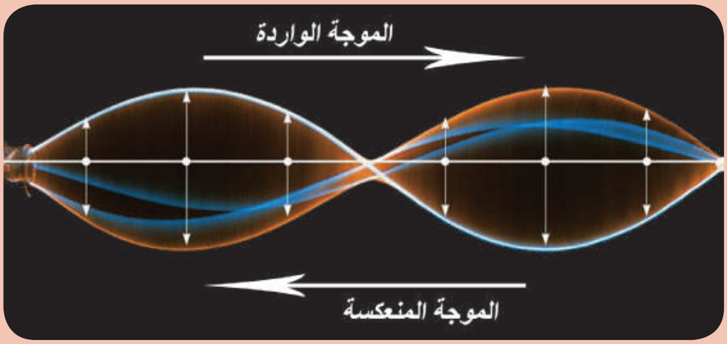
b- اكتب معادلة الحركة للمنبع M، واستنتج معادلة نقطة n التي تبعد عن المنبع مسافة 30 cm.

الدرس الثاني

انعكاس وانكسار الأمواج

الأهداف التعليمية

1. يقوم بتجارب انعكاس وانكسار الأمواج.
2. يستخلص صفات الأمواج المنعكسة والمنكسرة.
3. يذكر قوانين الانعكاس والانكسار في الأمواج.



انعكاس الأمواج:

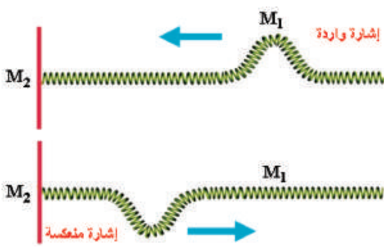
1- انعكاس موجة بالانتشار المستقيم:

حالة نهاية مقيدة:

نثبّت طرف نابض مرن أفقيّاً في النقطة M_2 من جدار، ونحدث اضطراباً عند طرفه الآخر M_1 بضربة واحدة ولتكن نحو الأعلى فينتشر هذا الاضطراب من النقطة M_1 إلى النقطة M_2 في نهاية النابض كما في الشكلّ المجاور.

وعندما يصل هذا الاضطراب إلى M_2 يرتدّ عنها نحو الأسفل منتشراً في الجهة المعاكسة من M_2 إلى M_1.

نعلّل حدوث انعكاس الاضطراب: بأنّ الإشارة الواردة التي تصل إلى M_2 النهاية الثابتة تحاول هزّها نحو الأعلى فيتولّد عنها (لثباتها) ردّ فعل يُنتج في اللحظة نفسها إشارة أخرى نحو الأسفل مساوية للإشارة



الشكل 1-2-4
انعكاس الاضطراب عند النهاية المقيدة

الواردة تنتشر من M_2 إلى M_1 نسمّيها الإشارة المنعكسة.

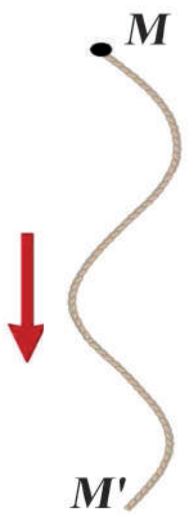
مميّزات الإشارة المنعكسة على نهاية مقيّدة:

1. جهة الإشارة المنعكسة مخالفة لجهة الإشارة الواردة.
2. تنتشر الإشارة المنعكسة بالسرعة نفسها للإشارة الواردة.
3. تنتشر الإشارة المنعكسة في جهة معاكسة للجهة التي تنتشر فيها الإشارة الواردة أي ينشأ فرق في الطور φ بين الإشارة الواردة والإشارة المنعكسة مقداره π.

الإشارة المنعكسة تماثل الإشارة الواردة عدا الجهة، عند تمام المرونة والعزل وكون حاجز التثبيت ناظمياً على منحنى الانتشار.

حالة النهاية طليقة:

نمسك طرف وتر مرن من المطاط باليد من الطرف M، ونتركه شاقوليّاً فتبقى نهايته M' حرّة، نولّد في النقطة M إشارة عرضيّة فتنتشر على طول الحبل من M إلى M'، وترتدّ عن النهاية بالجهة نفسها أيضاً إشارة من M' إلى M أي يكون فرق الطور φ بين الإشارة الواردة والإشارة المنعكسة مساوياً الصفر.



الشكل 2-2-4
انعكاس الاضطراب عند النهاية الطليقة

نعلّل حدوث الانعكاس عند النهاية الطليقة M' بأنّ النقطة M' حين تبلغها الإشارة الواردة تستجيب لها، وتنتشر الإشارة المنعكسة بالجهة نفسها التي وردت منها الإشارة.

انعكاس موجة مستوية على حاجز مستوٍ ثابت:

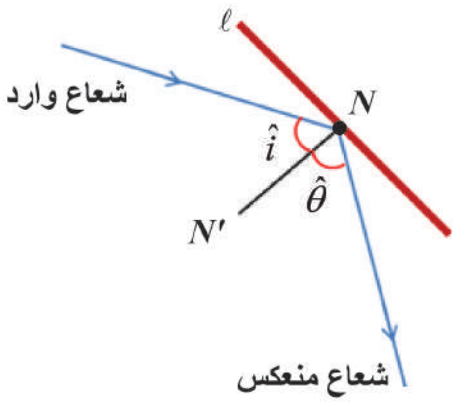
تجربة إيجاد العلاقة بين زاوية الورود وزاوية الانعكاس:

نستعمل حوض الأمواج المائيّ وفي داخله شفرة متصلة بجهاز لتوليد اهتزاز عرضيّ مغذّى، فيتولّد مجموعة من الأمواج المستوية تنتشر في حوض الأمواج.

نضع في هذا الحوض حاجزاً ℓ يميل عن الشفرة بزاوية ما ويبعد عنها مسافة ما.

نلاحظ أنّ الحاجز ℓ لا يسمح للأمواج الواردة باجتيازه فتنعكس هذه

الأمواج المستوية على الحاجز ℓ. إنّ كلّ نقطـة مـن نقـاط الحاجـز ℓ تتلقّى الأمواج الواردة تدعى نقطة ورود.

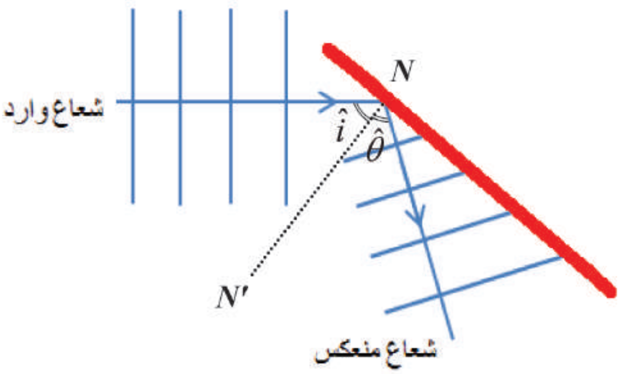


الشكل 3-2-4

قانون الانعكاس (قانون ديكارت):

نختار نقطة مثل N من الحاجز ℓ ونرسم منها عمودين: أحدهما عموديّ على سطوح الموجات الواردة، والثاني عموديّ على سطوح الموجات المنعكسة عن الحاجز ℓ، ثمّ نرسم من النقطة N عموداً على الحاجز ℓ نسمّيه الناظم $N N'$.

فتكون الزاوية الحاصلة بين الشعاع الوارد والناظم هي زاوية الورود $\hat{i}$ والزاوية بين الشعاع المنعكس والناظم تسمّى زاويـة الانعكاس $\hat{\theta}$، ومهما غيّرنا من وضع الحاجز فإنّه يبقى $\hat{i} = \hat{\theta}$.



الشكل 4-2-4

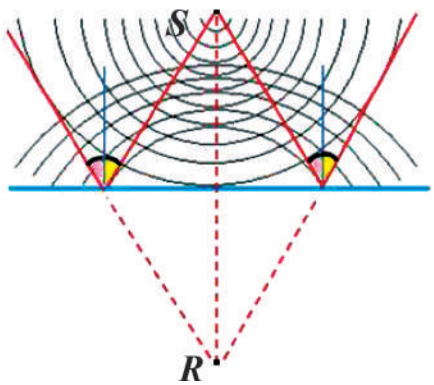
لهذا نتوصّل إلى قانوني الانعكاس:

1- زاوية الورود = زاوية الانعكاس.

2- الشعاع الوارد والشعاع المنعكس والناظم تقع جميعها في مستو واحد.

انعكاس موجة دائرية تنتشر على سطح الماء عن حاجز مستو ثابت:

نثبّت حاجزاً مستوياً على بعد مناسب من منبع نقطيّ S يولّد أمواجاً دائريّة باستخدام حوض الأمواج المائيّة في نقطة من سطح الماء نلاحظ أنّ الأمواج الدائريّة الواردة تنعكس عن الحاجز المستوي محافظة على شكلّها الدائريّ وكأنّها صادرة عن R نظيرة النقطة S بالنسبة للحاجز بحسب الشكلّ.



الشكل 5-2-4
الانعكاس على حاجز مستوي ثابت

تطبيقات على انعكاس الموجات من حياتنا اليوميّة:

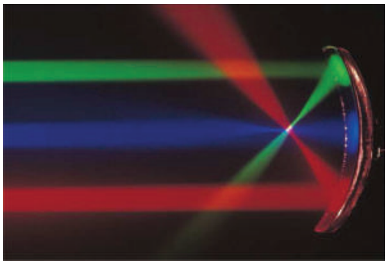
1- رؤية الأجسام: كيف نرى الأجسام من حولنا؟

- الأجسام المضيئة كالشمس والمصباح: تصل الموجات الضوئيّة منها مباشرة إلى العين.
- الأجسام غير المضيئة، كالحائط، والكتاب، والمنضّدة، وغيرها فإنّنا

نراها نتيجة سقوط الموجات الضوئيّة عليها، ثمّ انتشارها وانعكاسها في اتّجاهات مختلفة ووصول بعضها إلى العين لتحدث الرؤية.

2- انعكاس الضوء على سطوح المرايا:

تقوم المرايا المقعّرة بعكس موجات الضوء، لذلك تستخدم في أغراض كثيرة منها بعض أنواع المدافئ: حيث يوجد فيها سطوح عاكسة مقعّرة تعكس الموجات الحرارية فنشعر بالدفء.



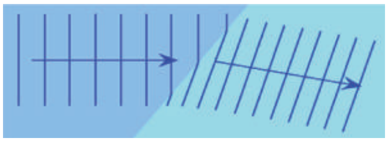
الشكل 4-2-6
انعكاس الضوء عن المرآة المقعرة

3- انعكاس موجات صوتيّة كما في سمّاعة الطبيب.

4- صدى الصوت: هو تكرار سماع الصوت الناتج عن الانعكاس ويشترط لحدوث الصدى أن يتوافر عاملان أساسيّان هما:

أ) وجود سطح عاكس متّسع اتّساعاً كافياً تنعكس عليه الموجات الصوتيّة.

ب) أن تكون المسافة بين الشخص والسطح العاكس لا تقلّ عن 17 m حتّى تستطيع الأذن أن تميّز بين الصوت الصادر ومنعكسه.



الشكل 4-2-7
انكسار الأمواج

انكسار الأمواج:

نضع لوحاً زجاجياً في حوض الأمواج المائيّة بحيث تصنع حافّته زاوية مع مصدر الأمواج المستوية كما في الشكل.

- نضع ماء في الحوض حتّى يغمر اللوح الزجاجيّ فيصبح لدينا منطقتان في الحوض، الأولى ماؤها عميق والثانية ضحل.
- نولّد أمواجاً مستوية بتواتر ثابت ماذا نلاحظ؟

تنتشر الأمواج المستوية في الوسطين بالتواتر نفسه، وهو تواتر المنبع، كما أنّ الأمواج الواردة تنتشر من الوسط الأول إلى الوسط الثاني مع حدوث تغيّر في منحى الانتشار، نسمّي الأمواج في الوسط الثاني بالأمواج المنكسرة. إنّ طول الموجة المنكسرة أصغر من طول الموجة الواردة ويعود ذلك إلى اختلاف سرعة الأمواج في الوسطين نتيجة اختلاف عمق الماء.

فإذا اعتبرنا طول الموجة في الماء العميق λ_1 وفي الماء الضحل λ_2 وسرعة الأمواج فيهما v_1، v_2 على الترتيب فإنّ:

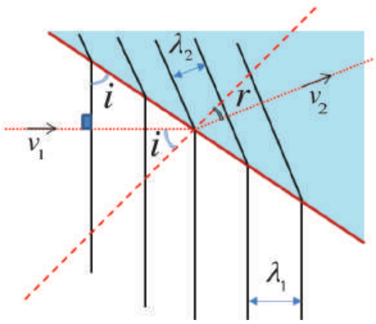
$$v_1 = f\ \lambda_1 \quad , \quad v_2 = f\ \lambda_2$$

نسب العلاقتين فنجد: $\dfrac{v_1}{v_2} = \dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}$

نلاحظ أنّ النسبة بين سرعتي الأمواج في الوسطين تعبّر عن كمّية فيزيائيّة تسمّى معامل الانكسار النسبي للأمواج ويرمز لها $n_{1,2} = \dfrac{v_1}{v_2}$

وبما أنّ $\lambda_2 < \lambda_1$ نجد:

$$v_2 < v_1$$



الشكل 8-2-4
تختلف سرعة الأمواج المنكسرة عن سرعة الأمواج الواردة

سرعة انتشار الأمواج في الماء العميق أكبر من سرعة انتشارها في الماء الضحل.

نكرّر النشاط السابق مع تغيير وضع اللوح الزجاجيّ، بحيث تصنع حافّته زاويا مختلفة مع مصدر الأمواج ماذا تلاحظ؟

إنّ الأمواج المنكسرة تبقى مستوية ولكن منحى انتشارها يختلف عن منحى انتشار الأمواج الواردة.

إنّ لانتشار الأمواج المنكسرة منحى ليس كمنحى انتشار الأمواج الواردة.

قانون سنل في الانكسار:

النسبة بين جيب زاوية الورود في الوسط الأوّل إلى جيب زاوية الانكسار في الوسط الثاني تساوي قيمة ثابتة وتسمّى معامل الانكسار النسبيّ بين هذين الوسطين.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = n_{1,2}$$

مثال محلول (1):

نولّـد أمواجـاً مسـتويـة في حوض الأمواج المائيّة بتواتر 5 Hz وطول موجة 4 cm وعند اجتيازها للحدّ الفاصل بين الماء العميق والماء الضحل في الحوض أصبح طول الموجة 3 cm والمطلوب:

1- حساب سرعة انتشار الأمواج في كلّ من الجزأين العميق والضحل.

2- أي الجزأين من الحوض ماؤه عميق؟

3- حساب معامل انكسار الأمواج بين الجزأين.

4- احسب $\sin r$ إذا كانت زاوية الورود $i=30°$.

<u>الحلّ:</u>

(1

$$v_1 = f\ \lambda_1 \qquad v_2 = f\ \lambda_2$$

$$v_1 = 5 \times 0.04 \qquad v_2 = 5 \times 0.03$$

$$v_1 = 0.2\ \text{m.s}^{-1} \qquad v_2 = 0.15\ \text{m.s}^{-1}$$

(2 بما أنّ سرعة الأمواج تزداد بزيادة عمق الماء وأنّ $v_2 < v_1$ فالجزء الأوّل هو الأعمق.

(3

$$n_{1,2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{0.2}{0.15}$$

$$n_{1,2} = \frac{4}{3}$$

(4

$$n_{1,2} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

$$\frac{4}{3} = \frac{\sin 30}{\sin r}$$

$$\sin r = \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{8}$$

ما يجب تذكره

- **في النهاية المقيّدة:** الإشارة المنعكسة تماثل الإشارة الواردة، عدا الجهة- عند تمام المرونة والعزل، وكون حاجز التثبيت ناظمياً على منحى الانتشار.
- **في النهاية الطليقة:** تنتشر الإشارة المنعكسة في الجهة نفسها التي كانت للإشارة الواردة.
- نقطة الورود: هي كلّ نقطة من نقاط الحاجز تتلقّى الأمواج الواردة.
- قانونا الانعكاس:
  - زاوية الورود تساوي زاوية الانعكاس.
  - الشعاع الوارد والشعاع المنعكس والناظم تقع جميعها على مستوٍ واحد.
- الأجسام المضيئة: تصل الموجات الضوئيّة منها مباشرة إلى العين.
- الأجسام غير المضيئة: نراها نتيجة سقوط الموجات الضوئيّة عليها ثمّ انتشارها وانعكاسها في اتجاهات مختلفة ووصول بعضها إلى العين لتحدث الرؤية.
- شرطا حدوث صدى الصوت:
  - وجود سطح عاكس متّسع اتّساعاً كافياً تنعكس عنه الأمواج.
  - أن تكون المسافة بين الشخص والسطح العاكس لا تقلّ عن 17 m .
- طول موجة الأمواج المنكسرة على سطح الماء يختلف عن طول موجة الأمواج الواردة، وهذا يعود إلى اختلاف سرعة الأمواج في الوسطين نتيجة اختلاف عمق الماء.
- إنّ منحى انتشار الأمواج المنكسرة ليس لها منحى انتشار الأمواج الواردة ذاته.
- قانون سنل في الانكسار:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = n_{1,2}$$

أنشطة وتدريبات

أوّلاً: ضع كلّمة صح أو غلط أمام العبارات الآتية مع تعليل بسيط :

1- انتقال إشارة من وسط انتشار إلى وسط انتشار آخر يرافقه دوماً انعكاس.

2- انتقال إشارة من وسط انتشار إلى وسط انتشار آخر يرافقه دوماً انكسار.

3- انتقال إشارة من وسط انتشار إلى وسط انتشار آخر يرافقه دوماً تغيّر في طول الموجة.

4- انعكاس موجة دائرية تنتشر على سطح الماء عن حاجز دائريّ يعطي موجة مستقيمة .

5- انعكاس موجة مستقيمة تنتشر على سطح الماء عن حاجز دائريّ يعطي موجة مستقيمة أيضاً.

6- يحدث انكسار الأمواج الصوتيّة بين طبقات الهواء المختلفة في درجات حرارتها.

ثانياً: أعط تفسيراً علمياً لكلٍّ ممّا يأتي:

1- تبدو الملعقة مكسورة عند السطح الفاصل بين الماء والهواء إذا وضعت بشكل مائل.

2- تقلّ سرعة انتشار الموجات المائيّة عند انتقالها من مياه عميقة إلى مياه ضحلة.

3- لا يحدث صدى الصوت في قاعة يقلّ طولها عن 17 m.

4- إذا كنت في قارب قريب من الشاطئ فإنّك تسمع الأصوات على الشاطئ في اللّيل بوضوح أكثر منها في النهار.

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى: شاهد قبطان سفينة جبلاً جليديّاً فأوقف محرّكها، و أطلق موجة صوتيّة في الهواء، فسمع صداها بعد 18 s من لحظة إطلاقها. احسب بُعد الجبل الجليديّ عن السفينة باعتبار سرعة انتشار الصوت $340\ m.s^{-1}$ في شروط التجربة.

المسألة الثانية: نولّد أمواجاً مستقيمة واردة في الماء العميق تواترها 10 Hz طول موجتها λ_1 تنتشر بسرعة $2\ m.s^{-1}$ في حوض الأمواج المائيّة، وعند ما تجتاز السطح الفاصل بين الماء العميق والماء الضحل - الذي يوازي المسطرة المهتزة - يصبح طول موجتها $\lambda_2 = 0.1\ m$ المطلوب:

1) احسب سرعة انتشار الأمواج في الماء الضحل.

2) إذا تغيّر منحى انتشار الأمواج الواردة بحيث يصنع زاوية $i = 60^\circ$ فاحسب زاوية الانكسار r بدلالة إحدى نسبها المثلثية.

المسألة الثالثة: إذا علمت أنّ الانطباع السمعيّ في أذن الإنسان يدوم عُشْر الثانية.احسب أقرب مسافة بين الجدار وشخص يستطيع أن يسمع صدى صوته حيث سرعة انتشار الصوت $340\ m.s^{-1}$.

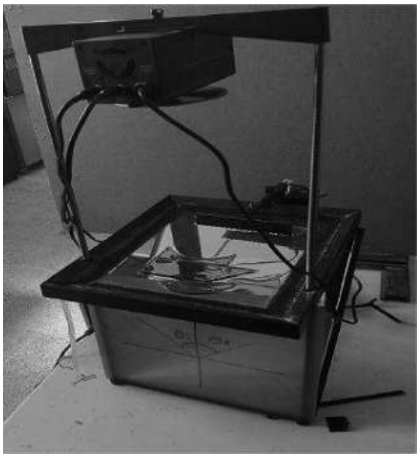
المسألة الرابعة: تنتشر أمواج في حوض مائيّ بسرعة $40\ m.s^{-1}$ وبطول موجه $8\ cm$ عند عمق معيّن من الماء فإذا تغيّر هذا العمق أصبح طول الموجة $12\ cm$ والمطلوب:

1) حساب سرعة انتشار الموجة في الوسط الثاني بعد تغيّر العمق.

2) حساب تواتر الموجه في كلّ من الوسطين.

3) إذا كان اتجاه انتشارها يصنع زاوية 30° مع العمود المقام على الفاصل بين الوسطين، فما زاوية انكسار الأمواج بدلالة إحدى نسبها المثلثية؟

النشاط: التحقُّق من قانون ديكارت في الانعكاس



الهدف من النشاط:

إيجادُ العلاقة بين زاوية الورود وزاوية الانعكاس.

الأجهزة والأدوات:

حوضُ الأمواج المائيَّة، ورقةٌ بيضاء، مسطرة، قلم.

المهاراتُ المرجوُّ اكتسابُها:

الملاحظة، التوقّع، القياس، التعلّم التعاونيُّ، تفسير النتائج.

الإجراءات:

1. هيّئ حوض الأمواج المائية.
2. ضع حاجزاً مستقيماً في وسط الحوض الموضوع فوق ورقة بيضاء، يميل بزاويةٍ ما على حافة الحوض.
3. حدِّد بالقلم والمسطرة خطّاً ينطبق على ظلّ الحاجز المستقيم.
4. أحدِثْ نبضةً مستقيمة بواسطة حافة حاجز مستقيم بحيث تكونُ مقدِّمتها موازيةً لحافة الحوض.
5. لاحظ حركة هذه النبضة على الورقة البيضاء أسفلَ الحوض، وحاولْ أن تضع المسطرة موازيةَ لمقدّمة الموجة. ارسم خطّاً يمثِّل ذلك.
6. لاحظ الموجة المنعكسة عن الحاجز، وحاول أن تضع المسطرة موازيةً لمقدِّمة الموجة. ارسم خطّاً يمثِّل ذلك.
7. حدِّد اتِّجاه انتشار الموجة الواردة وذلك برسم خطٍّ متعامد مع مقدّمتها.
8. حدِّد اتِّجاه انتشار الموجة المنعكسة وذلك برسم خطٍّ متعامدٍ مع مقدِّمتها.
9. ارسم خطَّين أحدُهما يمثِّل اتّجاه انتشار الموجة الواردة، والآخر يمثِّل اتِّجاه الموجة المنعكسة بحيث يلتقيان في نقطة على الخطِّ الممثِّل للحاجز، وأقمْ عموداً على الخطِّ الممثِّل للحاجز من النقطة السابقة نفسها.
10. حدِّد زاوية الورود وزاويةَ الانعكاس.

التحليل والاستنتاج:

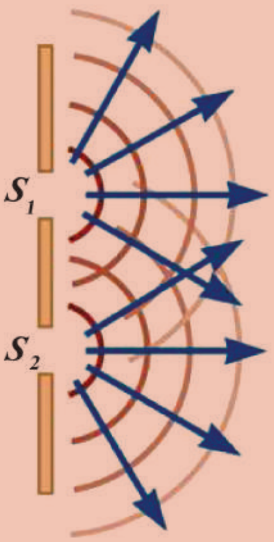
....

....

التداخل والانعراج

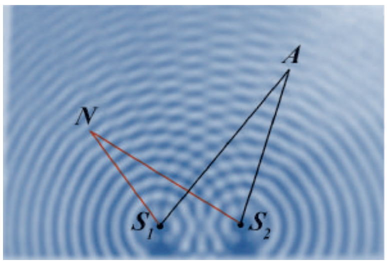
الأهداف التعليمية

1. يتعرّف الانعراج والتّداخل.
2. يقوم بتجارب على الانعراج والتّداخل.
3. يفسّر ظواهر الانعراج والتّداخل.
4. يتعرّف علاقات التّداخل.
5. يرسم أشكالاً تمثّل ظواهر الانعراج والتّداخل.



أوّلاً: التّداخل

نأخذ منبعاً للاهتزاز المغذّى كشعبة رنّانة كهربائيّة ونثبّت فيه ساقاً تنتهي بشعبتين S_1 ، S_2 البُعد بينهما مناسب ولهما الطول نفسه يؤلّفان منبعي اهتزاز يلامسان سطح سائل ساكن كالماء في حوض الأمواج المائيّة. ماذا يحدث؟



الشكل 1-3-4
تداخل الأمواج على سطح الماء

تنتشر موجات صادرة عن كلّ من المنبعين على سطح الماء وينتج عن ذلك أنّ كلّ نقطة من نقاط السطح تتعرّض في كلّ لحظة إلى تأثير موجتين:

الأولى صادرة عن المنبع الأوّل S_1، والثانية صادرة عن المنبع الثاني S_2 أي تعاني إزاحتين في آنٍ واحد.

وبما أنّ الأمواج عرضيّة نجد نقاطاً من سطح السائل يكون فيها الاهتزاز أكبر ما يمكن كالنقطة A، وهي النقاط التي تكون الاهتزازات الواصلة

إليها من المنبعين متّفقة في الطّور، كما لو تلاقت قمّة من الموجة الأولى مع قمّة من الموجة الثانية، فنحصل على قمّة مضاعفة السعة كما في الشكلّ (4-3-1)، أو تلاقى قاع من الموجة الأولى مع قاع من الموجة الثانية فنحصل على قاع مضاعف السعة. في مثل هذه النقاط تكون سعة الحركة تساوي مجموع سعتي الحركتين الواردتين من المنبعين، كما في الشكلّ (4-3-1). وكذلك نجد نقاطاً يكون فيها الاهتزاز معدوماً كالنقطة N كما لو تلاقت قمّة من الموجة الأولى مع قاع من الموجة الثانية، وفي مثل هذه النقاط تكون سعة الحركة مساوية حاصل طرح السعتين أي معدومة.

الشكل 4-3-2
نقاط الاهتزاز الأعظمي ونقاط السكون

تداخل الأمواج الدائريّة المتولّدة عن المنبعين المتماثلين:

نشاهد بإضاءة مستمرّة على سطح السائل منحنيات ثابتة أشكالها قطوع زائدة محرقاها منبعا الاهتزاز نسمّيها أهداب التّداخل.

تبدو نقاط السائل في بعضها ساكنة نتيجة تلاقي الاهتزازات على تعاكس دائم، وبعضها الآخر يهتزّ اهتزازاً أعظميّاً نتيجة تلاقي الاهتزازات على توافق دائم.

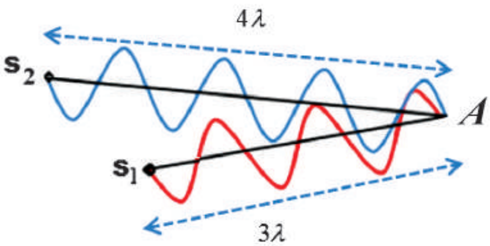
1- نقاط الاهتزاز الأعظميّ:

كلّ نقطة A من سطح الماء فرق بُعديها عن المنبعين (يسمّى فرق المسير) يساوي عدداً صحيحاً من طول الموجة، تهتزّ اهتزازاً أعظميّاً بسعة عظمى، تؤلّف قطوعاً زائدة محرقاها المنبعان.

فرق المسير:

$$\Delta = \left| S_2A - S_1A \right| \Rightarrow$$

$$\Delta = k\ \lambda$$



الشكل 4-3-3
تمثّل A نقطة اهتزاز أعظمي

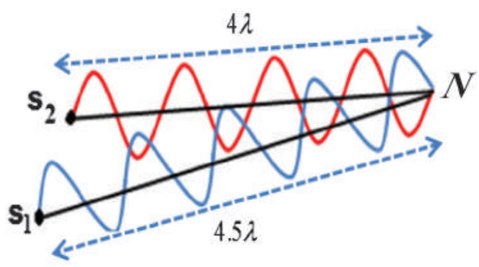
حيث: Δ فرق المسير

$k = 0, 1, 2 ...$ عدد صحيح موجب

λ طول الموجة

2- نقاط السكون:

كلّ نقطة N من سطح الماء فرق بُعديها عن المنبعين يساوي عدداً فرديّاً من نصف طول الموجة تكون ساكنة تؤلّف قطوعاً زائدة محرقاها هما المنبعان، وتقع بين القطوع الزائدة السابقة التي تؤلّف نقاط الاهتزاز الأعظمي.



الشكل 4-3-4
تمثّل N نقطة سكون

$$\Delta = \left| S_2N - S_1N \right| = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

حيث: Δ فرق المسير

$k = 0, 1, 2 \ldots$ عدد صحيح

λ طول الموجة

ملاحظة: درسنا فقط نقاط الاهتزاز الأعظميّ ونقاط السكون، ولكن هناك نقاط أخرى في حقل التّداخل تهتزّ بسعة تتراوح بين الصفر والسعة العظمى بحسب موضع تلك النقطة.

مثال محلول (1):

يولّد منبعان متماسكان للاهتزاز العرضيّ اهتزازاً تواتره 50 Hz ينتشر على سطح الماء بسرعة ثابتة $2\ m.s^{-1}$، إذا كانت النقطة A من سطح الماء تبعد 0.2 m عن المنبع الأول وتبعد 0.3 m عن المنبع الثاني المطلوب:

1- احسب طول موجة الاهتزاز المتولّد.

2- ما طبيعة اهتزاز النقطة A؟ بيّن أهي نقطة اهتزاز أعظمي أم نقطة سكون؟

الحلّ:

1- حساب طول الموجة:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{2}{50} = 0.04\ m$$

2- طبيعة اهتزاز النقطة A:

حتّى تكون A نقطة اهتزاز أعظمي يجب أن يتحقق: $\Delta = k\ \lambda$ ومن

أجل ذلك يجب أن تكون k عدداً صحيحاً. نحسب فرق المسير Δ:

$$\Delta = |0.3 - 0.2| = 0.1\ \text{m}$$

نعوّض:

$$0.1 = k \times 0.04 \quad \Rightarrow$$

$$k = 2.5$$

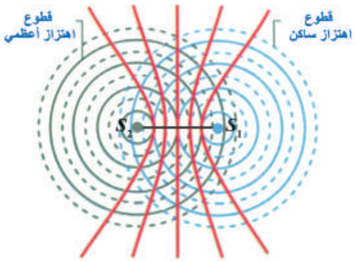
نجد أنّ k ليس عدداً صحيحاً، وبالتالي النقطة A ليست نقطة اهتزاز أعظميّ، لكن يمكن أن نكتبها بالشكلّ:

$$\Delta = 5\frac{\lambda}{2}$$

أي أنّ فرق المسير Δ إلى النقطة A يساوي عدداً فرديّاً من نصف طول الموجة فهي إذاً نقطة سكون.

ملاحظات:

- توجد مجموعة من النقاط الواقعة على العمود المقام من منتصف الخطّ المستقيم الواصل بين المنبعين S_1S_2 يتخلّلها قطوع سكون وقطوع اهتزاز أعظميّ.
- تبعد كلّ نقطة باهتزاز أعظميّ عن نقطة مجاورة لها باهتزاز أعظمي تالٍ بمقدار نصف طول الموجة هو المسافة بين ذروتي فرعين متجاورين من القطوع الزائدة المتماثلة المضيئة أو المعتّمة.
- تبعد كلّ نقطة اهتزازها أعظمي عن نقطة ساكنة تليها مباشرة بمقدار ربع طول الموجة، إنّها المسافة بين ذروتي فرعين متجاورين من القطوع الزائدة المضيئة والمعتّمة غير المتماثلة.



الشكل 5-3-4
أهداب التداخل

مثال محلول (2):

يولّد منبعان للاهتزاز العرضيّ متماسكان، البُعد بينهما $S_1S_2 = 8\ cm$ اهتزاز تواتره $12\ Hz$ ينتشر على سطح الماء بسرعة $0.312\ m.s^{-1}$

المطلوب:

1- احسب طول الموجة.

2- احسب عدد نقاط الاهتزاز الأعظم على الخطّ المستقيم الواصل بين المنبعين.

3- احسب عدد نقاط السكون على الخطّ المستقيم الواصل بين المنبعين.

الحلّ:

1- طول الموجة: $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{0.312}{12} = 0.026\ \ m$

2- شرط تكوّن نقاط الاهتزاز الأعظم: $\Delta = K\ \lambda$

$$\Delta \langle S_1S_2$$

$$K\ \lambda \langle S_1S_2$$

$$K \langle \frac{S_1S_2}{\lambda} \Rightarrow K \ \langle\ 3.07$$

أكبر قيمة تأخذها k تساوي 3 أي: $k = 0،1،2،3$ فقط

من أجل $k = 0$ توجد نقطة واحدة منتصف البُعد بين المنبعين تقع على العمود المقام على الخطّ المستقيم الواصل بين S_1،S_2.

من أجل $k = 1$ توجد نقطتان على جانبي العمود المقام على الخطّ المستقيم الواصل بين S_1،S_2 (ذروتي فرعين لقطع زائد).

من أجل $k = 2$ توجد نقطتان على جانبي العمود المقام على الخطّ المستقيم الواصل بين S_1،S_2 (ذروتي فرعين لقطع زائد).

من أجل $k = 3$ توجد نقطتان على جانبي العمود المقام على الخطّ المستقيم الواصل بين S_1،S_2 (ذروتي فرعين لقطع زائد).

أي توجد سبع نقاط تهتزّ أعظمياً على الخطّ المستقيم الواصل بين المنبعين.

3– شرط تكوّن نقاط السكون:

$$\Delta \leq S_1S_2$$

$$(K+\frac{1}{2})\lambda \leq S_1S_2$$

$$(K+\frac{1}{2})\times 0.026 \leq 0.08$$

$$K \leq 2.57$$

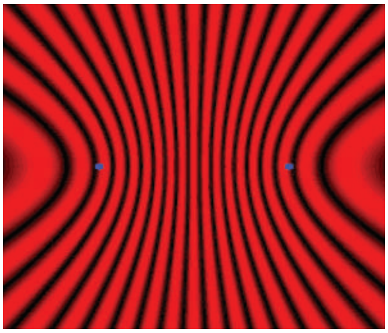
أكبر قيمة تأخذها k تساوي 2 أي: $k = 0،1،2$ فقط

من أجل $k = 0$ توجد نقطتان ساكنتان على جانبي العمود المقام على الخطّ المستقيم الواصل بين $S_2،S_1$ (ذروتي فرعين لقطع زائد).

من أجل $k = 1$ توجد نقطتان ساكنتان على جانبي العمود المقام على الخطّ المستقيم الواصل بين $S_2،S_1$ (ذروتي فرعين لقطع زائد).

من أجل $k = 2$ توجد نقطتان ساكنتان على جانبي العمود المقام على الخطّ المستقيم الواصل بين $S_2،S_1$ (ذروتي فرعين لقطع زائد).

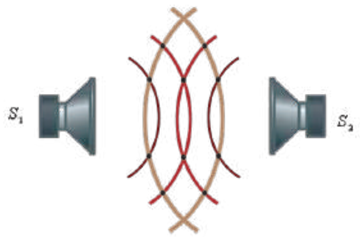
أي توجد ست نقاط ساكنة على الخطّ الواصل بين المنبعين.



الشكل 4-3-6
الخطوط الحمراء تمثّل قطوع الاهتزاز الأعظمي والخطوط السوداء تمثّل قطوع الاهتزاز الساكن على المستقيم الواصل بين المنبعين

التّداخل في الصوت:

لا تختلف الموجات الصوتيّة عن الموجات المائيّة، إذ ينطبق عليها تماماً ما ينطبق على الأمواج المائيّة. فعند تلاقي الموجات الصوتيّة يحدث بينهما تداخل يمكن الكشف عنها بطرائق مختلفة، منها الأذن كأداة حسّاسة للصوت.



الشكل 4-3-7
تداخل الأمواج الصوتية

نصل مكبّري صوت متماثلين $S_2،S_1$ بمنبع منخفض التواتر، ونضعهما وجهاً لوجه، بحيث يبعد أحدهما عن الآخر مسافة أكبر من طول الموجة الصوتيّة الصادرة عن المنبعين، ثمّ نصل مجهرة براسم اهتزاز. ننقل المجهرة على الخطّ الواصل بين مكبّري الصوت، فنشاهد على شاشة الراسم منحنياً بيانياً تأخذ فيه سعة الاهتزاز بالتناوب قيماً صغرى وقيماً عظمى.

تحديد أماكن الصوت الأعظمي وأماكن الصوت الأصغري:

نعدّ مكبّري الصوت منبعين نقطيين $S_2،S_1$ متفقين بالطّور ولهما السعة

نفسها والتواتر نفسه، فتتلقّى نقطة مثل n من الفضاء المحيط بها حركة اهتزازية من المنبع الأوّل S_1 وكذلك من المنبع الثاني S_2 وتتراكب الحركتان الاهتزازيتان المتلاقيتان في النقطة n ونحصل على:

1- اهتزاز أعظمي عندما $\Delta = k\,\lambda$

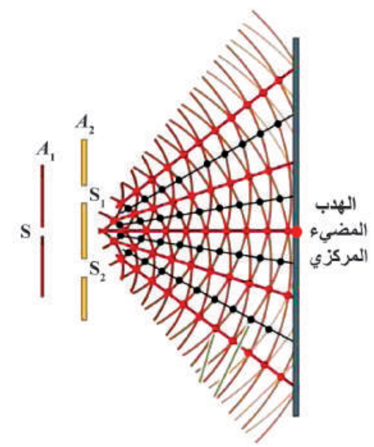
2- اهتزاز أصغري عندما $\Delta = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}$

التّداخل الضوئيّ:

كيف للعين أن تدرك ظواهر التّداخل في الضوء إذا ورد إلى كلّ نقطة ضوءان متواقتان وبفرق طور ثابت من خلال منبعين متماسكين؟

يمكن إظهار التّداخل الضوئيّ من خلال **تجربة ينغ:**

نضع حاجزاً A_1 فيه ثقب S أمام منبع ضوئيّ فتنتشر الأمواج الضوئيّة منه بشكلّ سطوح موجية كرويّة، وتصل بالتالي إلى الحاجز A_2 الذي يحوي الشقّين S_1،S_2 الواقعين على بعدين متساويين من المنبع S ، فنحصل على مصدرين للضوء متشابهين ومتّفقين في الطّور، والضوء الذي ينفذ من هاتين الفتحتين يسقط على شاشة موضوعة أمام المنبعين ويحصل تداخل بين الأمواج الضوئيّة، ويظهر على الشاشة مناطق مضيئة وأخرى معتّمة على جانبي الهدب المركزي.



الشكل 8-3-4
التداخل الضوئي من خلال تجربة ينغ

1- المناطق المضيئة (أهداب التّداخل المضيئة):

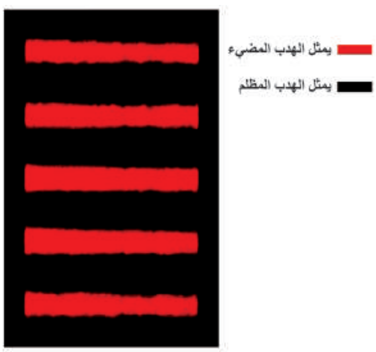
نحصل عليها عندما يكون فرق المسير يساوي أعداداً صحيحة من طول الموجة:

$$\Delta = k\,\lambda$$

2- المناطق المعتمة (أهداب التّداخل المظلمة):

نحصل عليها عندما يكون فرق المسير يساوي أعداداً فردية من نصف طول الموجة:

$$\Delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$



الشكل 9-3-4

أما الهدب المركزيّ فهو مضيء دوماً، ويمكن حساب البُعد بين مركزي هدبين مضيئين أو بين مركزي هدبين مظلمين والذي يسمّى البُعد الهدبيّ

بالعلاقة:

$$i = \frac{\lambda d}{a}$$

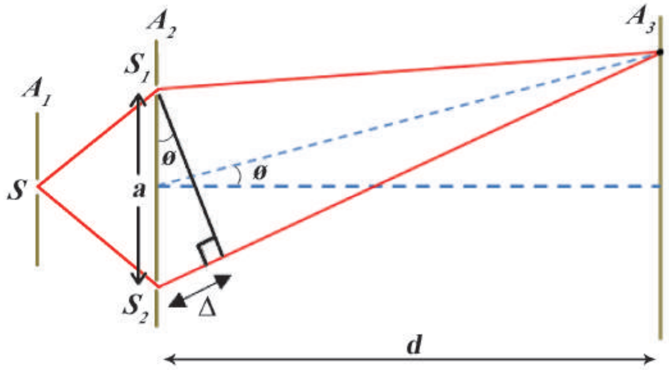
حيث:

i البُعد الهدبيّ

λ طول الموجة

d بُعد المنبعين عن الحاجز

a البُعد بين المنبعين



الشكل 10-3-4
مخطط تجربة شقا ينغ

مثال محلول (1):

نستخدم جهاز شقّي ينغ لتشكيل أهداب التّداخل، حيث البعد بين الشقّين المتوازيين 0.5 mm ويبعد الحاجز 100 cm عن مستوي الشقّين، ويُستخدَم ضوءٌ وحيد اللون طول موجته 0.5 μm والمطلوب حساب:

1- البُعد الهدبيّ.

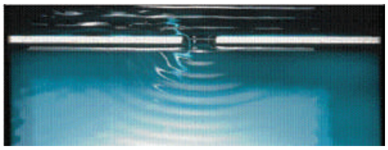
2- بُعد منتصف الهدب المضيء الثالث عن منتصف الهدب المركزيّ.

الحلّ:

-1 $i = \frac{\lambda d}{a} = \frac{0.5\times10^{-6}\times100\times10^{-2}}{0.5\times10^{-3}} = 1\times10^{-3}\ \text{m}$

-2 $x = k\, i = 3 \times 1 \times 10^{-3} = 3 \times 10^{-3}\ \text{m}$

ثانياً: حيود (انعراج) الأمواج

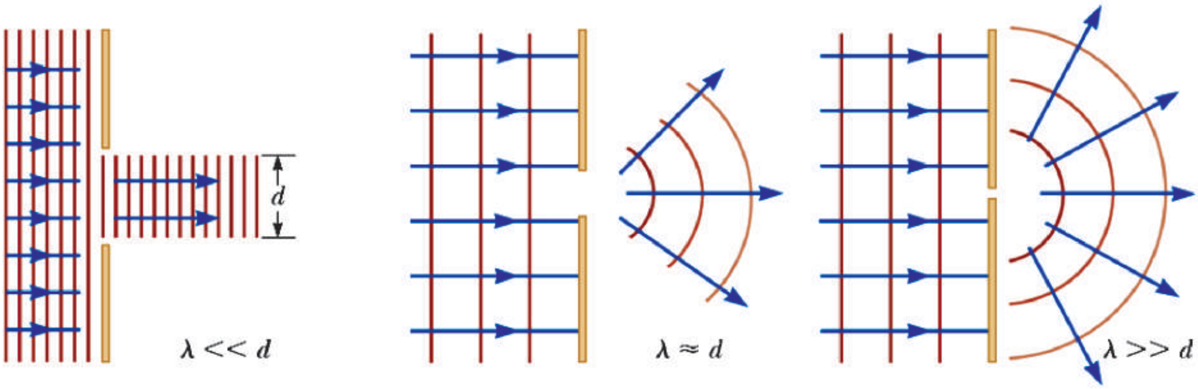


الشكل 11-3-4
الانعراج من خلال فتحة في حاجز

نولّد أمواجاً مستقيمة طول موجتها λ في حوض الأمواج بواسطة شفرة مهتزّة، ونضع في طريق انتشار الأمواج المستقيمة الواردة حاجزين مستويين بينهما فتحة صغيرة عرضها d يساوي تقريباً طول الموجة λ على استقامة واحدة يوازيان الشفرة المهتزّة. ماذا يحدث للأمواج؟ تصبح الأمواج العابرة خلف الفتحة دائرية مركزها الفتحة نفسها، وهذا ما يسمى حيود الأمواج أو انعراجها.

ما شرط حيود الأمواج؟

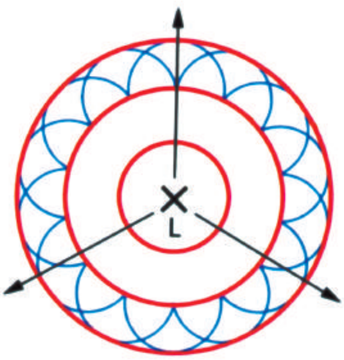
أن يكون عرض الفتحة d التي تتلقّى الأمواج الواردة يساوي طول الموجة λ أو أصغر منها بقليل، أمّا إذا كان عرض الفتحة $d > \lambda$ فإنّه لا يمكن ملاحظة انعراج الموجة.



الشكل 12-3-4
يكون التداخل أكثر وضوحاً عندما يكون عرض الفتحة من مرتبة طول الموجة

تعليل ظاهرة حيود الأمواج

عند وصول الاضطراب إلى الفتحة تتصرّف كلّ نقطة من الفتحة وكأنّها منبعٌ نقطيٌّ يُصدر موجة دائريّة، وتتداخل هذه الأمواج الجديدة لتعطي بعد الفتحة شكلّ الانعراج الذي نراه تجريبياً.



الشكل 13-3-4
تعيد نقاط الفتحة إصدار الأمواج في جميع المناحي

ما يجب تذكره

- تكون نقاط السائل ساكنة نتيجة تلاقي اهتزازين على تعاكس دائم.
- تهتز نقاط السائل اهتزازاً أعظمياً نتيجة تلاقي الاهتزازين على توافق دائم.
- فرق المسير في نقاط الاهتزاز الأعظمي $\Delta = k\lambda$.
- فرق المسير في نقاط السكون $\Delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$.
- البُعد الهدبيّ $i = \frac{\lambda d}{a}$ في تجربة شقيّ ينغ.
- الهدب المركزيّ دائماً مضيء
- شرط حيود الأمواج أن يكون عرض الفتحة التي تتلقّى الأمواج الواردة يساوي طول الموجة λ أو أصغر منها بقليل.

أنشطة وتدريبات

أوّلاً: ضع كلمة صحّ أو غلط أمام العبارات الآتية مع تعليل بسيط:

1- المنبعان المتماسكان متوافقان حتماً.

2- شرط أبعاد نقاط السكون على سطح الماء هو: $\Delta = k\ \lambda$

3- البُعد بين ذروتي فرعين متجاورين من القطوع الزائدة المتماثلة يساوي نصف طول الموجة.

ثانياً: حل المسائل الآتية

المسألة الأولى: يولّد منبعان متماسكان اهتزازاً عرضيّاً تواتره 116 Hz على سطح الماء، فإذا كانت النقطة M_1 تقع على خط سكون رتبته n فرق المسير إليها 1.08 m والنقطة M_2 تقع على خط سكون رتبته $n + 12$ فرق المسير إليها 2.04 m ، ومن جانب واحد بالنسبة للعمود المقام على الخطّ الواصل بين المنبعين، والمطلوب حساب:

1) طول موجة الاهتزاز العرضيّ على سطح الماء.

2) سرعة انتشار الاهتزاز العرضيّ على سطح الماء.

المسألة الثانية: يولّد منبعان متماسكان اهتزازاً عرضيّاً تواتره 50 Hz يبعد أحدهما عن الآخر مسافة 20 cm وسرعة انتشار الاهتزاز العرضيّ على سطح الماء $4\ m.s^{-1}$ المطلوب حساب:

1) طول موجة الاهتزاز على سطح الماء

2) عدد نقاط السكون المتكون على الخطّ المستقيم الواصل بين المنبعين

المسألة الثالثة: نكوّن أهداب التّداخل باستخدام جهاز ينغ، حيث البُعد بين الشقّين المتوازيين 1 mm ويبعد الحاجز 200 cm عن مستوي الشقّين ويُستخدم ضوءٌ وحيد اللون طولُ موجتِهِ 0.5 μm والمطلوب حساب:

1) البُعد الهدبي

2) بُعد منتصف الهدب المضيء الخامس عن منتصف الهدب المركزي.

المسألة الرابعة: نضع منبعاً يصدر ضوءاً وحيد اللون طول موجته 0.6 μm على بُعد 25 cm من شقّي ينغ اللذين يبعد أحدهما عن الآخر 1 mm ونشاهد أهداب التّداخل على حاجز يبعد 125 cm عن المنبع والمطلوب:

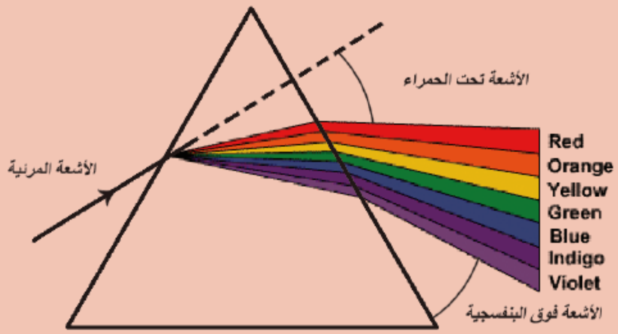
1) حساب البُعد الهدبيّ.

2) نملأ الفراغ بين الشقّين والحاجز بسائل شفاف بدلاً من الخلاء فيصبح البُعد الهدبيّ $i' = \frac{2}{3} i$ احسب سرعة انتشار الضوء في السائل باعتبار أنّ سرعة انتشار الضوء في الخلاء $3 \times 10^8\ m.s^{-1}$.

الأشعة غير المرئية

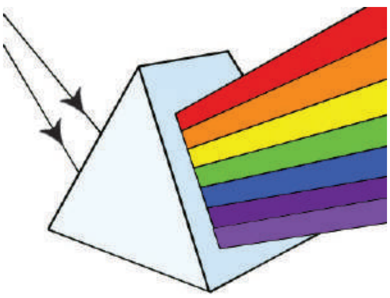
الأهداف التعليمية

1. - يتعرّف الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجيّة (وجودها، توليدها، خواصها، الكشف عنها).
2. - يقارن بين الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجيّة.
3. - يبيّن تطبيقات الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجيّة.
4. - يستخدم الاكتشافات والاختراعات التكنولوجية استخداماً صحيحاً.



الشمس هي المصدر الأساسيّ للطاقة الضوئيّة على الأرض، هل كلّ الإشعاعات الضوئيّة مرئيّة؟

- نسقط حزمة ضوئيّة ضيقة متوازية من مصدر للضوء الأبيض على أحد وجهي موشور زجاجي، بحيث تخرج الحزمة من الوجه الآخر للموشور، ثمّ نتلقّى هذه الحزمة على شاشة، ماذا نلاحظ؟



الشكل 1-4-4
الموشور يحلل الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف المرئي

يتحلّل الضوء الأبيض المركب إلى سبعة أضواء مرئيّة بسيطة وهي: الأحمر - البرتقالي - الأصفر - الأخضر - الأزرق - النيليّ - البنفسجيّ.
وهي أمواج كهرطيسيّة أطوال موجتها تتراوح من $0.75\ \mu m$ للضوء الأحمر إلى $0.4\ \mu m$ للضوء البنفسجي وقد دلّت التجارب على:

- وجود إشعاعات أخرى ذات طول موجة أطول من الأحمر وأقصر من البنفسجيّ، وهي إشعاعات غير مرئيّة لا نراها بالعين المجرّدة.

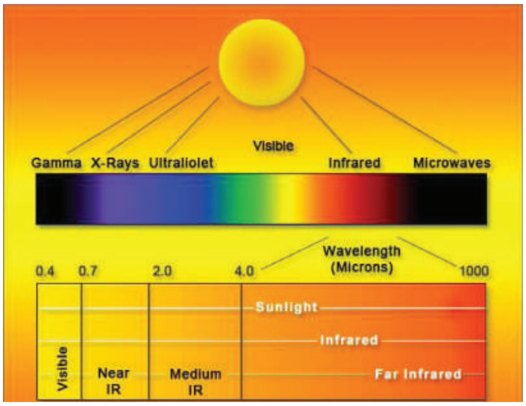
سندرس منها الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجيّة.

ربط مع علم الأحياء

إنّ الأشعّة المرئيّة والإشعاعات القريبة منها (الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجيّة) كافية، لتجعل الحياة ممكنة على الأرض، فهي تمدّنا بالطاقة والحرارة، وتمكّن من حدوث التفاعلات الحيويّة عند الكائنات الحية.

الأشعّة تحت الحمراء

اكتشفها العالم وليام هرشل عام 1800 عند دراسته طيف ضوء الشمس، حيث وجد أنّ الإشعاعات في جوار اللون الأحمر تمثّل مصدراً للطاقة الحرارية التي تشعّها الشمس وأطوال موجاتها أكبر من 0.75 μm وتملك تواترات أصغر من تواترات الضوء المرئي، تعدّ جميع الأجسام الساخنة منابع لتوليد الأشعّة تحت الحمراء، نذكر بعضاً منها: الشمس – الأفران – المصابيح الحرارية – جسم الإنسان والحيوان



الشكل 2-4-4
يحتوي ضوء الشمس على إشعاعات غير مرئية

استخداماتها:

- تستخدم في التصوير أثناء الظلام ومن خلال الضباب، ولو إلى مسافات بعيدة وفي المنظار اللّيلي.
- في الطبّ لتعقيم أدوات الجراحة لقتل البكتريا، ومعالجة بعض الأمراض الجلديّة وآلام العضلات وتنشيط الدورة الدموية.
- في الصناعة للقيام بعمليّة التلحيم والطلاء الجافّ للجلود والمعادن والأوراق والأقمشة.
- في الأرصاد الجويّة والتقاط الصور بالأقمار الصنعيّة.
- في صناعة الدارات الإلكترونيّة.

هل تعلم: أنّ الأفعى ترى في الظلام بفضل قدرتها على تحسس الأشعّة تحت الحمراء

هل تعلم: أنّ هناك الأشعّة الميكرومترية طول موجتها أكبر من الأشعّة

تحت الحمراء تستخدم في الميكرويف، وفي الهاتف النقال، وفي أجهزة الاستشعار عن بعد، وفي أجهزة الرادار.

الأشعّة فوق البنفسجيّة

اكتشفها العالم جوهان ريتر عام 1801 حيث لاحظ أنّ كلوريد الفضّة الأبيض تحوّل لونه إلى الأسود في منطقة الطيف المرئيّ (البنفسجي) ويسودّ أكثر عند وضعه في منطقة ما بعد البنفسجي خارج حدود تلوّن الطيف المرئي، ممّا يدلّ على وجود إشعاعات غير مرئيّة أطوال موجاتها أصغر من 0.4 μm، تسمّى الأشعّة فوق البنفسجيّة، وهي إشعاعات تصدرها الشمس وبعض النجوم، ويمكن أن تُنتج اصطناعيّاً من مصابيح القوس الكهربائيّ، وهذه الأشعّة تحمل طاقة قادرة على تأيين (تشريد) الذرّات والجزيئات، وبالتالي إثارة بعض التفاعلات الكيميائيّة أو تزيد في درجة حرارتها، وتؤثّر على الإنسان الذي يتعرّض لها بكثرة حيث تسبّب حروقاً في الجلد، وكذلك آلاماً في العين (يجب وضع نظارات واقية)، وقد تسبّب سرطان الجلد عند التعرّض لها لمدة طويلة، أما التعرض لها في ساعات الصباح الأولى يفيد في إكساب الجسم فيتامين D الضروري لتثبيت الكالسيوم على العظام، كما لها فوائد في تطهير الأطعمة من البكتريا وتعقيم المياه.

إنّ ما يحمي الكائنات الحيّة من الأشعّة فوق البنفسجيّة طبقة الأوزون الموجودة في الغلاف الجوي حيث تمتصّ هذه الطبقة الجزء الأكبر من هذه الأشعّة وهي تشارك في تحويل الأوزون O_3 إلى الأكسجين O_2 الذي يعوّض نقصان أكسجين الهواء.

هل تعلم: أنّ التلفاز يصدر الأشعّة فوق البنفسجيّة، لذا يُنصح أن تكون المسافة الوقائية من هذه الأشعّة هي خمسة أضعاف قطر الشاشة.

خواصها واستعمالاتها	الأشعّة تحت الحمراء	الأشعّة فوق البنفسجيّة
وجودها	توجد في المنطقة التي تسبق المنطقة الحمراء في الطيف المرئي.	توجد في المنطقة التي تلي المنطقة البنفسجيّة في الطيف المرئي.
الكشف عنها	بوضع ميزان حرارة طلي مستودعه بهباب الفحم ما بعد الضوء الأحمر في المنطقة الواقعة خارج حدود الطيف المرئي فترتفع درجة حرارة الميزان، ممّا يدلّ على وجود أشعة غير مرئيّة أطوال موجاتها أكبر من طول موجة الضوء الأحمر المرئي.	بوضع ورقة ترشيح مطلية براسب كلوريد الفضة الأبيض في منطقة ما بعد البنفسجي خارج حدود الطيف المرئي فيسود بعد مدة كافية من الزمن، ممّا يدلّ على وجود أشعّة غير مرئيّة أطوال موجاتها أصغر من طول موجة الضوء البنفسجي المرئي.
طبيعتها وتوليدها	أمواج كهرطيسيّة تحمل طاقة حراريّة كبيرة اكبر من الطاقة التي يحملها الضوء المرئي، وتمتدّ أطوال موجاتها من (0.4 mm - 0.75 µm) وتعدّ الأجسام المسخّنة منابع لتوليدها.	أمواج كهرطيسيّة تمتدّ أطوال موجاتها من (0.01 - 0.4 µm)، ويعدّ ضوء الشمس المصدر الطبيعيّ الرئيس لها، ويمكن توليدها باستخدام القوس الكهربائيّة، ومن أيّ منبع ضوئيّ يصدر ضوءاً أبيض.
امتصاصها	يمتصّ الزجاج العادي قسماً كبيرًا منها أكثر من القسم الذي يمتصّه زجاج الكوارتز، لذلك تستعمل في تدفئة الغرف الزجاجية، وأيضاً يعدّ الظلام والضباب أوساطاً شفافة لها، وهذا يعلّل استخدامها في التصوير في الظلام والضباب ولمسافات بعيدة.	يمتصّ الزجاج العادي الأشعّة فوق البنفسجيّة التي أطوال موجاتها أقلّ من 0.34 µm ويمتصّ زجاج الكوارتز الأشعّة التي أطوال موجاتها أقلّ من 0.2 µm، والأشعّة التي ترد من الشمس وتنفذ عبر الغلاف الجويّ إلى الأرض وتمتصّها الأرض أطوال موجاتها أكبر من 0.29 µm فقط.

فعلها الحراري والحيوي	تحمل طاقة حراريّة عالية تسخّن الأجسام التي تسقط عليها لذا تستخدم في التجفيف السريع لدهان السيارات وتجفيف الأغذية.	تخرّب الخلايا الحيةً وتسبّب الحروق الجلديّة إذا تمّ التعرّض طويلاً لأشعّة الشمس وتستعمل في تعقيم المياه وتثبيت الكالسيوم على العظام.
فعلها الكيميائيّ	**ليس لها أفعال كيميائيّة تذكر:** لكنّها تؤثّر في لوحات تصوير خاصة من أجل أطوال موجة أقلّ من $1.5\ \mu m$	**من أهمّ آثارها :** تهيج التفاعل التخريبي بين غاز الميتان CH_4 وغاز الكلور Cl_2 عند تعريض مزيجهما لضوء الشمس. تكوّن الأوزون O_3 انطلاقاً من الأكسجين في طبقات الجو العلياً.
فعل التألّق	لا تسبّب تألّق الموادّ التي تسقط عليها بل تزيل تألّق الأجسام التي تألّقت بإشعاعات سابقة.	تسبّب تألّق الموادّ التي تسقط عليها وتستعمل للتمييز بين بعض الموادّ التي تظهر بألوان متشابهة في الضوء المرئيّ.

أنشطة وتدريبات

أوّلاً: اختر الإجابة الصحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1- يُكشف عن الأشعّة تحت الحمراء:

a) بميزان حرارة طلي مستودعه بهباب الفحم
b) بورقة ترشيح مطلية براسب كلوريد الفضة
c) بورقة ترشيح مطلية براسب كبريتات الباريوم
d) بمقياس غلفاني مناسب

2- يُكشف عن الأشعّة فوق البنفسجيّة:

a) بميزان حرارة طلي مستودعه بهباب الفحم
b) بورقة ترشيح مطلية براسب كلوريد الفضة
c) بورقة ترشيح مطلية براسب كبريتات الباريوم
d) بمقياس غلفاني مناسب

3- الأشعّة تحت الحمراء:

a) تهيج التفاعل التخريبي بين الميتان والكلور
b) تكوّن الأوزون
c) تزيل التألّق
d) تساعد على تثبيت الكالسيوم في العظام

4- الأشعّة فوق البنفسجيّة:

a) تهيج التفاعل التخريبي بين الميتان والكلور
b) ليس لها أفعال كيميائيّة تذكر
c) تزيل التألّق
d) تستعمل في التجفيف السريع

ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1- حدّد مكان وجود كلّ من الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجيّة.

2- كيف يمكن الكشف عن الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجيّة ؟

3- قارن بين الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجيّة.

4- عدّد مصادر أخرى للأشعّة تحت الحمراء.

5- للتحكّم في تشغيل جهاز التلفاز نستخدم أداة التحكّم عن بُعد التي تعمل بنوع معيّن من الإشعاع، ما هذا الإشعاع؟ هل يمكن رؤيته؟ لماذا؟

6- هل الغلاف الجوي يسمح بمرور كلّ الأشعّة؟ ما دور طبقة الأوزون؟

7- عدّد بعض استعمال الأشعّة تحت الحمراء في الطب.

8- ما الصناعات التي تستخدم فيها الأشعّة تحت الحمراء؟

9- عندما يتعرّض الإنسان لمدة طويلة للأشعة فوق البنفسجيّة ماذا يحدث له؟

10- علّل استخدام الإنسان لنظّارات واقيّة عند النظر لأشعة الشمس فترة طويلة.

11- ينصح الأطباء الأطفال المصابين بمرض الكساح التعرّض في ساعات الصباح الأولى لأشعة الشمس، علّل ذلك.

الفهرس