الجمهورية العربية السورية
وزارة التربية
المركز الوطني لتطوير المناهج التربوية

الفيزياء

الصف الحادي عشر العلمي

2019–2020م

تأليف
فئة من المختصّين

طُبع لأول مرة في العام الدراسي: 2018 – 2019م

المقدمة

نقدّم للمتعلّمين الأعزّاء كتاب الفيزياء المبنيّ وفق الإطار العام للمنهاج الوطني ووثيقة المعايير الوطنيّة المطوّرة، والّتي تهدف إلى مواكبة التطوّرات الحاليّة، وتقديم منهاج قائم على البحث العلمي والتجريب يلبّي آمال المتعلّمين من جهةٍ، ومتطلّبات سوق العمل والمجتمع المحلّي من جهةٍ أخرى.

يشهد العالم ثورةً معرفيّةً يرافقها تسارعٌ في إنتاج المعرفة وانتشارها وتطوّر التّقانات المستخدمة إضافةً إلى سرعة التغيّرات في مجالات الحياة كلّها.

لذلك وجب ربط المنهاج بالحياة اليوميّة للمتعلّم وبيئته، ومواكبة المستجدّات العلميّة والتّقنيّة الّتي سيكون لها الأثر الفعّال في تنمية شخصية المتعلّم من النّاحيتين الفكريّة والجسديّة، وهذا ما يسمح له بالتكامل مع متطلّبات الحياة المعاصرة، والمساهمة في التّنمية الوطنيّة المستدامة.

يخاطب المحتوى العلمي المتعلّم بوصفه محور العمليّة التّربويّة، ويشجّعه على التّعلم الذّاتي، حيث صيغت موضوعات الكتاب بأسلوب علمي مبسّط وواضح لتناسب النّمو العقلي والعمري للمتعلّم وتثير دافعيته. كما يرتكز المحتوى على المعارف والمهارات بعيداً عن الحشو والتّكرار، ويمكّن المتعلّم من مواجهة المشكلات الّتي يتعرّض لها في حياته اليوميّة، وإيجاد الأساليب المناسبة لحلّها، وكذلك يحفز المتعلّم على اكتساب مهارات التّواصل والتّفكير والبحث والاستنتاج بدلاً من تلقّي المعلومات وحفظها واستظهارها، كما يؤكّد المحتوى على دور المعلّم بوصفه موجّهاً للمناقشة، وميسّراً للعلم والعمل.
وكلّنا أملٌ وثقة أن يحقّق زملاؤنا المعلّمون ما نصبو إليه.

فريق التّأليف

الفهرس

الوحدة الأولى: الحركة والتحريك

الوحدة الثانية: الكهرباء

الوحدة الثالثة: الأمواج والضوء

الوحدة الأولى
الحركة والتحريك

الميكانيك أحد أقسام علم الفيزياء فهو يصف حركة الأجسام ويدرس مسبباتها وفق قوانينه وهو ذو أهمية كبرى لما له من تطبيقات حياتية متعدّدة تسهم في تحسين الظروف الحياتية للإنسان

1

كميّة الحركة وتطبيقاتها

الأهداف:

* يتعرّف مفهوم كميّة الحركة
* يحدّد عناصر شعاع كميّة الحركة
* يتعرّف مصونية شعاع كمية الحركة
* يستنتج علاقة شعاع الدفع
* يتعرّف تطبيقات مصونية شعاع كميّة الحركة
* يستنتج علاقة سرعة ارتداد سلاح ناريّ
* يتعرّف الصدم المرن
* يتعرّف الصدم الليّن

الكلمات المفتاحية:

* كميّة الحركة
* تغيّر كمية الحركة
* مصونية كمية الحركة
* الصدم المرن
* الصدم الليّن
* نهائيّ
* بدائيّ

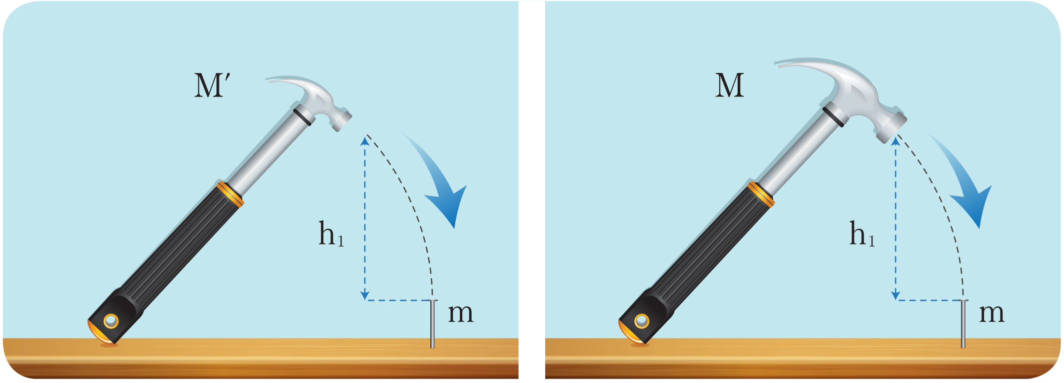
مفهوم كميّة الحركة:

توضع شاخصات مرورية على الطرقات السريعة تسمح للسيارات الصغيرة السير بسرعة أكبر من سرعة الشاحنات الكبيرة. ما السبب في ذلك؟

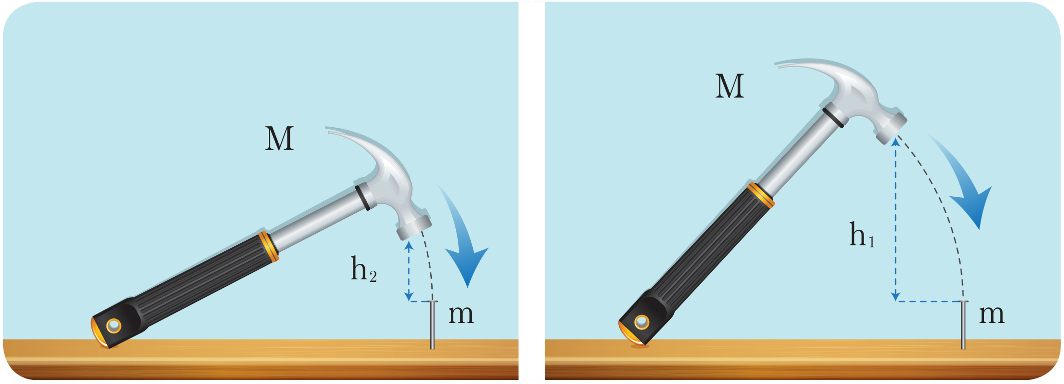
ألاحظ وأستنتج:

نشاط (1):

1. إذا تركت مطرقتين مختلفتين دون سرعة ابتدائية لتهبطا من الارتفاع ذاته على مسمارين متماثلين: فأيّهما ينغرس في الخشب أكثر؟



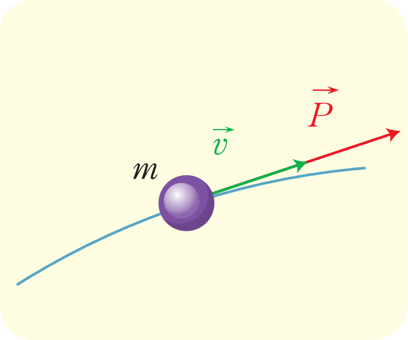
2. إذا تركت مطرقتين متماثلتين من ارتفاعين مختلفين دون سرعة ابتدائية لتهبطا على مسمارين متماثلين، أيُّ المسمارين ينغرس في الخشب لمسافة أكبر؟ ولماذا؟



أستنتج

إنّ كتلة المطرقة وسرعتها تؤثران في مقدار انغراس المسمار في الخشب.
تدلّ التجارب الأكثر عمقاً أنّ انغراس المسمار في الخشب يتعلّق بجداء كتلة المطرقة وسرعتها.

1. كميّة حركة نقطة مادّية:



اصطلح على تسمية جداء كتلة النقطة المادّية m بشعاع سرعتها $\vec{v}$ في لحظة ما بشعاع كميّة حركة النقطة المادّية ويعبر عنه بالعلاقة

$$\vec{P} = m\vec{v}$$

عناصر شعاع كميّة حركة نقطة مادية:

- الحامل: حامل شعاع السرعة (المماسّ للمسار في تلك النقطة).
- الجهة: جهة شعاع السرعة أي جهة الحركة.
- الشدّة: $P = mv$

ما وحدة قياس كميّة الحركة في الجملة الدوليّة؟

2. كميّة حركة جملة ماديّة:

إنّ شعاع كميّة حركة جملة مادّية في لحظة ما هو مجموع أشعة كميّة حركة جميع النقاط المادّية المكوّنة لها في اللحظة نفسها.
فلو تأملنا جملة مادّية تسير بسرعة ما فإنّ شعاع كميّة حركتها:

$$\vec{P} = \vec{P_1} + \vec{P_2} + \vec{P_3} + \ldots$$

وفي حالة الحركة الانسحابية لجسم صلب فإنّ أشعة السرعة تكون متسايرة ويمكننا أن نكتب:

$$\vec{P} = (m_1 + m_2 + m_3 + ...)\vec{v}$$

$m = m_1 + m_2 + m_3 + ...$

لكن: $m = m_1 + m_2 + m_3 + ...$ حيث m كتلة الجملة.

إذن:

$$\vec{P} = m\vec{v}$$

تغيّر شعاع كميّة الحركة:

يدفع عدد من الأشخاص سيارة متوقفة لعطلٍ فيها على طريق أفقية.

1. هل للسيارة كميّة حركة وهي متوقفة؟
2. هل اكتسبت السيارة كميّة حركة بعد دفعها؟
3. هل ترتبط كميّة الحركة المكتسبة بالفترة الزمنية للدفع؟

تغيّر شعاع كميّة حركة السيارة خلال الفترة الزمنية Δt ناتج عن تأثير محصلة قوى خارجية (دفع الأشخاص).

نتيجة:

إذا أثرت محصلة قوى خارجية $\Sigma\vec{F}$ على جملة مادية متماسكة خلال فترة زمنية Δt سبّبت تغيّراً في شعاع كميّة حركة الجملة المادية $\Delta\vec{P}$.

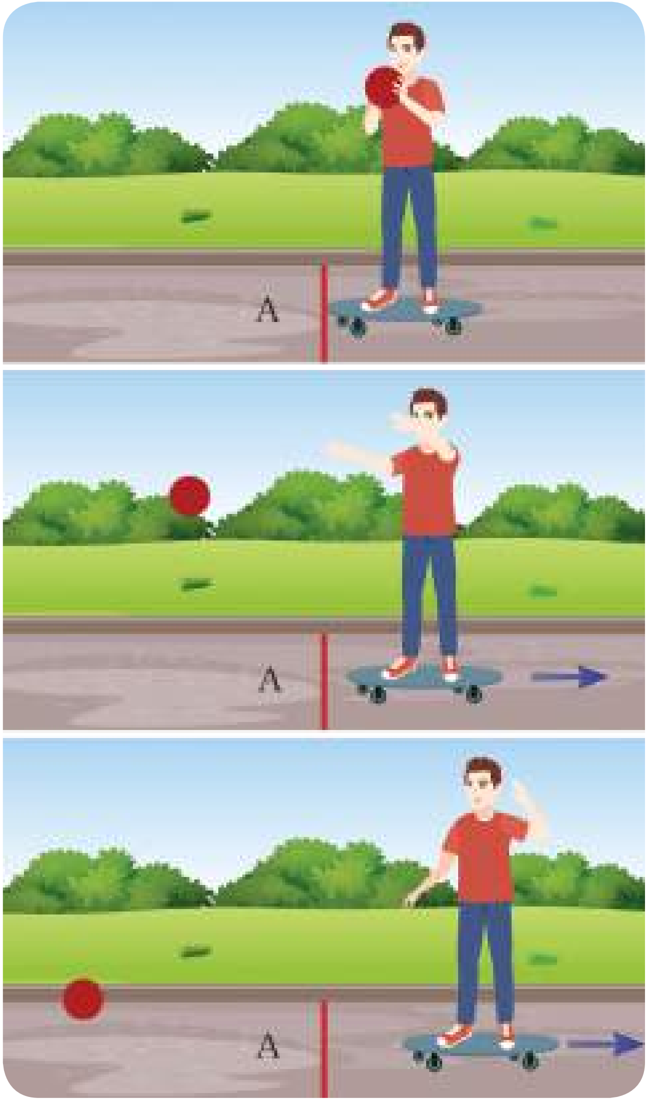
$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$$
$$\Sigma\vec{F} = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$
$$\Sigma\vec{F} = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t}$$
$$\Sigma\vec{F} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$$

ندعو المقدار $\Delta\vec{P} = (\Sigma\vec{F})\,\Delta t$ شعاع الدّفع الذي تتلقّاه الجملة خلال الفترة الزمنية Δt .

مصونيّة شعاع كميّة الحركة :

نشاط (2):

يمسك شخص كتلته m_1 بكرة كتلتها m_2 حيث $m_1>m_2$ ويقف فوق لوح مجهّز بعجلات عند نقطة A فوق أرض ملساء ليشكّلا جملة مادّية ندعوها جملة بحكم المعزولة (أي أنّ محصلة القوى الخارجية المؤثرة فيها معدومة) وفي لحظة ما, يرمي الشخص بالكرة جانباً.



1. هل يتحرّك الشخص أمّ يبقى ساكناً؟
2. ما جهة حركة الشخص بالنسبة لجهة حركة الكرة؟
3. هل يتعد الشخص والكرة عن النقطة A المسافة ذاتها خلال الفترة الزمنية نفسها؟
4. هل يتعد الشخص والكرة بالسرعة ذاتها عن النقطة A ؟ كيف يمكن تفسير ذلك؟

بما أنّ الجملة بحكم المعزولة (لأنها ساكنة) وحسب القانون الثاني لنيوتن نجد:

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a} = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \vec{0}$$

حيث $m = m_1 + m_2$ (كتلة الجملة).

$$(\Sigma\vec{F})\,\Delta t = \vec{0}$$
$$\Delta\vec{P} = \vec{0}$$
$$\vec{P}_f - \vec{P}_i = \vec{0}$$
$$\vec{P}_f = \vec{P}_i$$
$$\vec{P} = \overrightarrow{const}$$

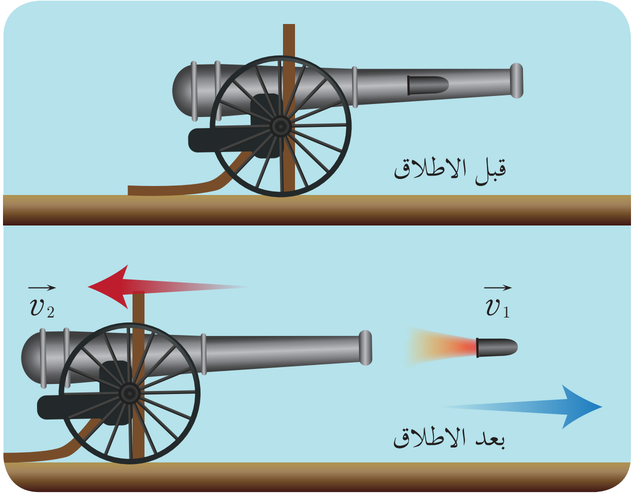
أي أنّ شعاع كميّة الحركة ثابت.

نتيجة:

في كلِّ جملة مادية معزولة (لا تخضع لقوى خارجية) أو بحكم المعزولة (محصلة القوى المؤثّرة فيها معدومة) شعاع كميّة حركتها ثابت حاملاً وجهةً وشدةً أي: $\overrightarrow{P_f} = \overrightarrow{P_i}$

تطبيقات مصونيّة شعاع كميّة الحركة:

1. ارتداد سلاح ناريّ



ليكن لدينا جملة مؤلفة من مدفع ماسورته أفقية كتلته M، ومن قذيفة مع حشوتها كتلتها M، والجهة ساكنة مع أرض أفقية.

ما القوى الخارجية المؤثرة في الجملة قبل الإطلاق، وما محصلتها؟

ماذا ندعو هذه الجملة؟

تنفجر الحشوة وتنطلق القذيفة، هل تتغيّر محصلة القوى الخارجية المؤثرة في الجملة بعد الإطلاق؟

تتولّد لحظة الإطلاق قوى ضاغطة (ناتجة عن تمدّد الغازات) في حجرة الانفجار تؤثر في القذيفة وفي الجدران الداخلية وهي قوى داخلية.

إذن:

جملة (مدفع– قذيفة) جملة بحكم المعزولة، وشعاع كميّة الحركة مصون:

$$\overrightarrow{P_i} = \overrightarrow{P_f}$$
$$\vec{o} = \overrightarrow{P_1} + \overrightarrow{P_2}$$
$$\vec{o} = m\,\overrightarrow{v_1} + M\,\overrightarrow{v_2}$$
$$\overrightarrow{v_2} = -\frac{m}{M}\overrightarrow{v_1}$$

أتفكر

ما دلالة الإشارة السالبة في العلاقة السابقة؟

2. الصدم:

تزوّد السيّارات الحديثة بوسائد هوائيّة لحماية الركاب فيها وللتخفيف من أثار التصادم.

ففي حادث التصادم بين سيّارتين، بإمكان المحققين تقدير سرعة كلّ من السيّارتين قبل الصدم بالاعتماد على مصونيّة شعاع كميّة الحركة. وهنا تبرز أهمية تطبيقات الفيزياء في حياتنا، ومن هذه التطبيقات التصادم بين جسمين.

للتصادم أنواع. سنتناول منها: الصدم المرن، والصدم الليّن.

* الصدم المرن:

يكون الصدم مرناً إذا كانت الطاقة الحركيّة للجملة مصونة.

a. الصدم المرن على مجرى مستقيم:

نشاط (3):

الأدوات المطلوبة:

- طاولة ذات وسادة هوائية (أو طاولة ممغنطة مجهّزة بسكة مستقيمة خاصة كما في الشكل المجاور).
- كتل مختلفة يمكنها الحركة على السكة دون احتكاك.
- مسطرة مدرّجة

خطوات التجربة:

1. أضع كتلتين مختلفتين m_2 ، m_1 على السّكة نفسها، واترك مسافة مناسبة بينهما ($40\,cm$ مثلاً).
2. أدفع الكتلتين لتتحركا باتجاهين متعاكسين حتى تتصادما، ماذا ألاحظ؟
3. أكرّر الخطوتين السابقتين من أجل كتلتين متساويتين $m_2 = m_1$، ماذا ألاحظ؟
4. أدفع إحدى الكتلتين فقط باتجاه الكتلة الثانية الساكنة، ماذا ألاحظ؟

- **شعاع كميّة حركة الكتلتين مصون:**

$$\vec{P_i} = \vec{P_f}$$

$$\vec{P_1} + \vec{P_2} = \vec{P_1'} + \vec{P_2'}$$

$$m_1\vec{v_1} + m_2\vec{v_2} = m_1\vec{v_1'} + m_2\vec{v_2'}$$

بالإسقاط على محور موجّه بجهة حركة الكتلة الأولى $\vec{v_1}$ نجد:

$$m_1\overline{v_1} + m_2\overline{v_2} = m_1\overline{v_1'} + m_2\overline{v_2'} \quad ....(1)$$

- **الطاقة الحركية للجملة مصونة (لا يوجد ضياع بالطاقة):**

$$E_{ki} = E_{kf}$$

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v'^2_1 + \frac{1}{2}m_2v'^2_2 \quad ....(2)$$

بالحلّ المشترك للمعادلتين (1) و(2) نجد علاقة سرعة كلٍّ من الجسمين بعيد الصدم:

$$v_1' = \frac{(m_1 - m_2)\,v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}$$

$$v_2' = \frac{(m_2 - m_1)\,v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}$$

أتفكر

بفرض أنّ الكتلة الثانية ساكنة قبل الصدم أي: $v_2 = 0$. ناقش العلاقتين السابقتين، مبيّناً ماذا يحدث لكلّ من الكرتين في الحالات الآتية:

a. إذا كانت $m_1 > m_2$.

b. إذا كانت $m_1 < m_2$.

c. إذا كانت $m_1 = m_2$.

ملاحظة:

إذا تصادم جسمان وكان حامل شعاع سرعة أحدهما يمرّ من مركز عطالة الجسم الآخر فإنّنا ندعو الصدم بالمباشر.

تمرين (1):

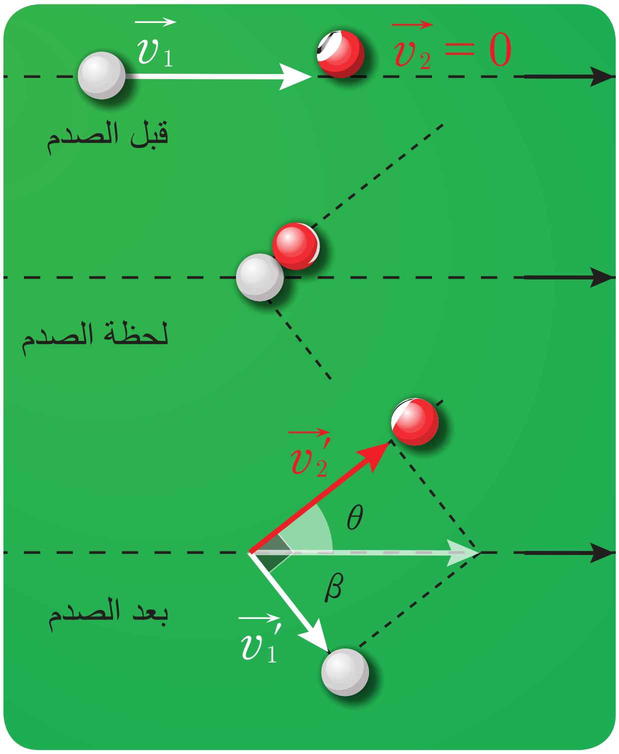
تتحرك كرة كتلتها $m_1 = 2\,kg$ بسرعة ثابتة $v_1 = 4\,m.s^{-1}$ في مجرى أفقي مستقيم أملس باتجاه كرة ثانية كتلتها $m_2 = 6\,kg$ ساكنة في المجرى ذاته فتتصادم الكرتان تصادماً مرناً وتبقيان في المجرى ذاته. احسب سرعة كلّ من الكرتين بعيد الصدم، محدداً جهة حركة كلّ منهما بعيد الصدم؟

b. الصدم المرن في المستوي:

تعتبر لعبة البلياردو والسنوكر ولعبة كرة الطاولة من الألعاب الرياضية الممتعة التي تعتمد على التصادم.

ألاحظ وأستنتج:

تبيّن الصور الموضّحة جانباً كرة بلياردو بيضاء متحرّكة بسرعة ثابتة $\vec{v_1}$ على مستوي الطاولة الأفقيّة لتصدم كرة حمراء ساكنة (مماثلة لها بالكتلة كما نعلم) صدماً مرناً:



- هل ستصدم الكرة البيضاء المتحركة الكرة الحمراء الساكنة صدماً مباشراً؟
- هل تحافظ الكرة البيضاء على حامل شعاع سرعتها بُعيد الصدم؟
- هل ينطبق حامل شعاع سرعة الكرة البيضاء على حامل شعاع سرعة الكرة الحمراء بُعيد الصدم؟
- استنتج سرعة كلٍّ من الكرتين بُعيد الصدم:

شعاع كميّة الحركة لجملة الكرتين مصون:

$$\vec{P_1} + \vec{P_2} = \vec{P_1'} + \vec{P_2'}$$

$$m_1\vec{v_1} + \vec{0} = m_1\vec{v_1'} + m_2\vec{v_2'}$$

وبما أنّ: $m_1 = m_2$

$$\vec{v_1} = \vec{v_1'} + \vec{v_2'} \quad ....(1)$$

• الطاقة الحركية في الصدم المرن مصونة:

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2+0=\frac{1}{2}m_1v'^2_1+\frac{1}{2}m_2v'^2_2 \Longrightarrow v_1^2=v'^2_1+v'^2_2 \quad ....(2)$$

بتربيع طرفي العلاقة (1) نجد: $v_1^2=v'^2_1+v'^2_1+2\overrightarrow{v'_1}.\overrightarrow{v'_2}$

والمقارنة مع العلاقة (2) نجد:

$$2\overrightarrow{v'}_1.\overrightarrow{v'}_2=0$$

$$2v'_1v'_2\cos\beta=0 \text{ ،} v'_1\neq 0 \text{ ،} v'_2\neq 0$$

$$\cos\beta=0 \Longrightarrow \beta=\frac{\pi}{2}rad$$

$$\overrightarrow{v'_1}\perp\overrightarrow{v'_2}$$

ويمكن إيجاد سرعة كلّ من الكرتين بُعيد الصدم من العلاقتين: $v'_1=v_1\sin\theta$ ،$v'_2=v_1\cos\theta$ ،

وذلك بمعرفة قيمة θ الزاوية بين حامل $\overrightarrow{v_1}$ وحامل $\overrightarrow{v'_2}$.

* الصدم الليّن:

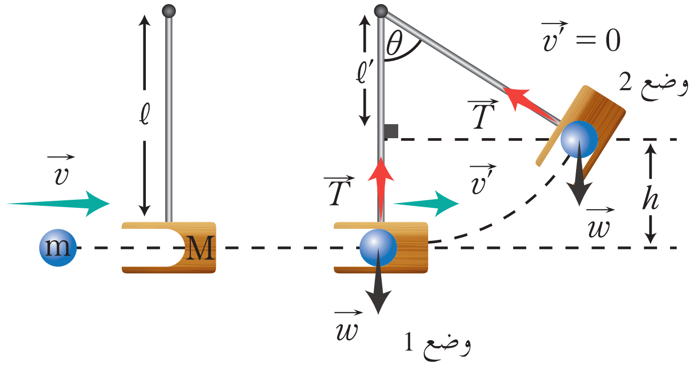
يكون الصدم ليّناً إذا كانت الطاقة الحركية لجملة الجسمين المتصادمين غير مصونة.

أجرب وأستنتج:

الأدوات المطلوبة: النواس القذّاف المخبريّ.

1. أقوم بتركيب الجهاز المبيّن بالشكل.
2. أحدّد كتلة الكرة m، وكتلة الحافظة مع الساق M وأسجّل القيم.
3. أرجع المكبس إلى التدريجة الثالثة مثلاً.
4. أحرّر المكبس ليدفع الكرة وتصطدم بالحافظة وتستقر بها، وأسجّل سرعة الكرة قبل الصدم v.
5. أحسب كميّة حركة القذيفة قبل الصدم P.
6. أحسب الطاقة الحركية للقذيفة قبل الصدم E_k.
7. أقيس الزاوية θ التي تصنعها ساق الحافظة بواسطة المنقلة الخاصة بالجهاز، وأحسب منها ارتفاع مركز عطالة الجملة بُعيد الصدم h.
8. أحسب سرعة الجملة بُعيد الصدم بالعلاقة: $v'=\sqrt{2gh}$.
9. أحسب كميّة حركة الجملة بُعيد الصدم P'.
10. احسب الطاقة الحركية للجملة بُعيد الصدم E'_k.
11. أقارن النتائج التجريبية مع الدراسة النظرية الآتية.

استنتاج سرعة القذيفة:



تؤثر على الجملة قوتان:

1. ثقل الجملة: $\vec{w} = (m+M)\vec{g}$

2. توتر خيط التعليق: $\vec{T}$ محصلتهما معدومة

إذن: شعاع كميّة حركة الجملة مصون أثناء عملية الصدم:

$$\vec{P}_f = \vec{P}_i$$
$$\vec{P}_m + \vec{P}_M = \vec{P}'$$
$$m\vec{v} + \vec{0} = (m+M)\vec{v}'$$

بالإسقاط على محور أفقي موجّه بجهة حركة الكرة:

$$mv = (m+M)v'$$
$$v' = \frac{m}{m+M}v \qquad ....(1)$$

بتطبيق نظرية الطاقة الحركية على جملة (كرة – حافظة) بين الموضعين:

الأول: يوافق لحظة الصدم (الوضع الشاقولي)

الثاني: يوافق لحظة وصول مركز علامة الجملة إلى أقصى ارتفاع حيث يصنع الخيط مع الشاقول زاوية θ.

حيث $\overline{W_{\vec{T}}} = 0$ لأنّ حامل قوة التوتر يعامد الانتقال في كل لحظة:

$$\Delta E_K = \Sigma\, \overline{W_{\vec{F}}}\,(1 \longrightarrow 2)$$
$$E_{K_2} - E_{K_1} = \overline{W_{\vec{w}}} + \overline{W_{\vec{T}}}$$
$$0 - \frac{1}{2}(m+M)v'^2 = -(m+M)gh + 0$$
$$v'^2 = 2gh$$
$$v' = \sqrt{2gh} \qquad ....(2)$$

نعوض (1) في (2):

$$\frac{m}{m+M}v = \sqrt{2gh}$$
$$v = \frac{m+M}{m}\sqrt{2gh}$$

وبما أنّ $h = \ell(1-\cos\theta)$ نعوّض فنجد:

$$v = \frac{m+M}{m}\sqrt{2g\,\ell(1-\cos\theta)}$$

وهي علاقة سرعة القذيفة قبل الصدم.

موازنة الطّاقة الحركيّة قبل الصدم وبُعيد الصدم:

a) قبل الصدم:

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

b) بُعيد الصدم:

$$E'_K = \frac{1}{2}(m+M)v'^2$$
$$E'_K = \frac{1}{2}(m+M)\frac{m^2}{(m+M)^2}v^2$$

بالإصلاح والاختصار:

$$E'_K = \frac{1}{2}\left(\frac{m}{m+M}\right) mv^2$$

$$E'_K = E_K\left(\frac{m}{m+M}\right)$$

$$\frac{E'_K}{E_K} = \frac{m}{m+M}$$

وبما أن $\frac{m}{m+M} < 1$ فإنّ:

$$\frac{E'_K}{E_K} < 1 \Longrightarrow E'_K < E_K$$

فالطاقة الحركية غير مصونة.

نتيجة

في الصّدم الليّن:

- **شعاع كميّة حركة الجملة مصون، على عكس الطاقة الحركية للجملة فهي غير مصونة.**
- **يحدث تشوّه في شكل أحد الجسمين المتصادمين أو كليهما، وانتشار طاقة على شكل حرارة.**
- **ينفصل الجسمان بُعيد الصدم، وقد يلتحمان ويدعى الصدم عندئذٍ صدماً ليّناً كما في النوّاس القذّاف.**

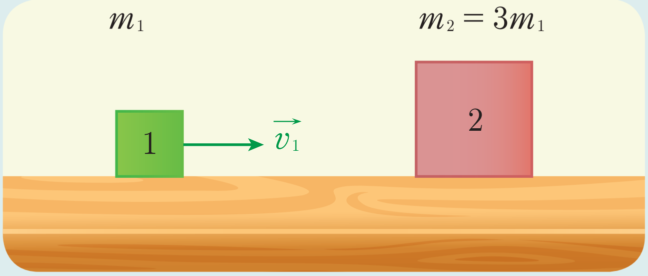
تعلّمتُ

- **كميّة حركة نقطة ماديّة** $\vec{P} = m\vec{v}$.
- **كميّة حركة جملة مادية** $\vec{P} = (m_1 + m_2 + m_3 + ...)\vec{v}$.
- **تغيّر شعاع كمية الحركة (شعاع الدفع)** $\Delta\vec{P} = (\Sigma\vec{F})\,\Delta t$.
- **مصونية شعاع كميّة الحركة** $\vec{P_i} = \vec{P_f}$.
- **تطبيقات مصونية شعاع كميّة الحركة: ارتداد سلاح ناري — الصدم.**

أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. تتحرّك الكتلة m_1 على سطح أملس دون احتكاك بسرعة ثابتة $\vec{v}_1$ لتصطدم كتلة ثانية $m_2 = 3m_1$ ساكنة صدماً مرناً، فسرعة الكتلة الثانية بُعيد الصدم v'_2 كما هو موضّح بالشكل:



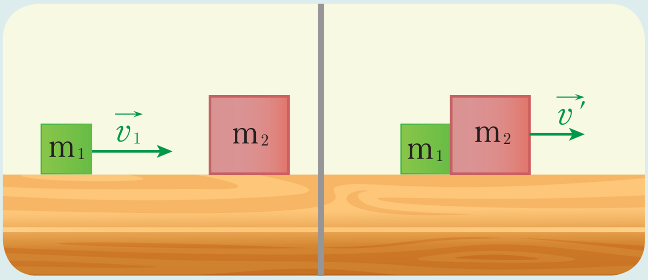
a. $v'_2 = 4v_1$

b. $v'_2 = 3v_1$

c. $v'_2 = \frac{1}{2}v_1$

d. $v'_2 = \frac{1}{4}v_1$

2. تتحرك الكتلة m_1 بسرعة ثابتة v_1 دون احتكاك كما هو موضح بالشكل جانباً فتصطدم بكتلة ثانية $m_2 = 2m_1$ ساكنة وتلتحم معها لتتحرك الجملة $(m_2 + m_1)$ بُعيد الصدم بسرعة:



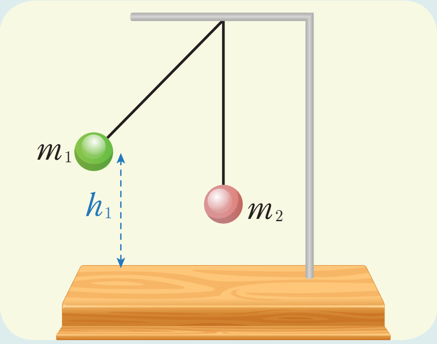
a. $v' = \frac{1}{2}v_1$

b. $v' = \frac{1}{3}v_1$

c. $v' = \frac{1}{2}v_1$

d. $v' = 3v_1$

3. تعلق كرتان كتلتاهما $(m_1 = m_2)$ بخيطين متساويي الطول إلى نقطة واحدة، نزيح الكرة الأولى بزاوية ما عن الشاقول ونتركها دون سرعة ابتدائية لتهبط وتصدم الكرة الثانية صدماً مرناً فيلاحظ أنّ:



a. الكرة الأولى وترتدّ، وترتفع الكرة الثانية إلى $h_2 > h_1$

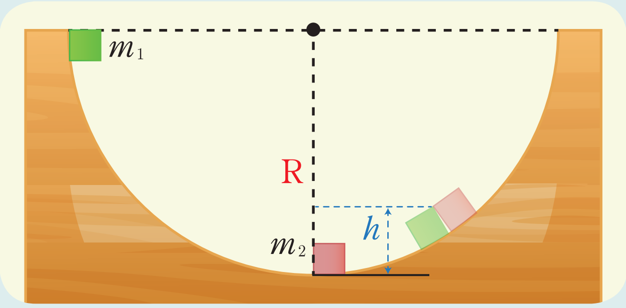
b. الكرة الأولى وتقف، وترتفع الكرة الثانية إلى $h_2 < h_1$

c. الكرة الأولى ترتدّ، وترتفع الكرة الثانية إلى $h_2 < h_1$

d. الكرة الأولى تقف، وترتفع الكرة الثانية إلى $h_2 = h_1$

ثانياً: حل المسائل الآتية:

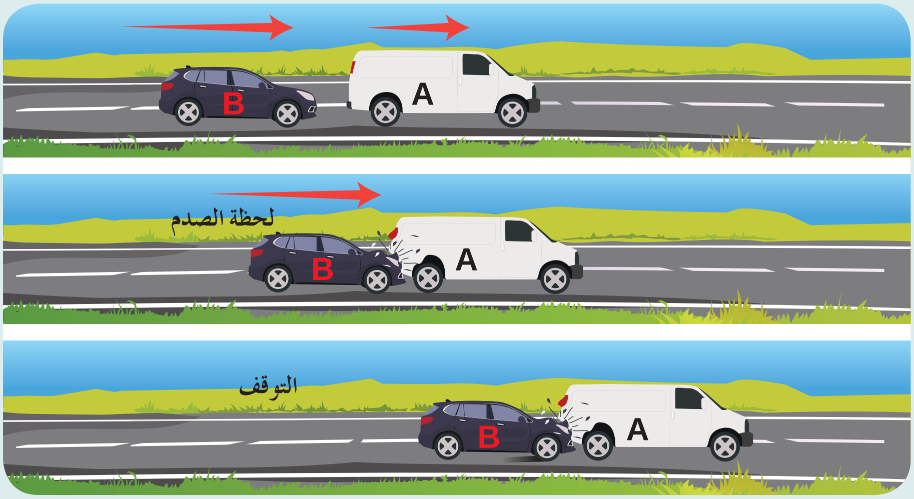
المسألة الأولى:



لدينا الشكل الموضح جانباً: حيث الكتلتان $m_1 = m_2$ تنزلق الكتلة m_1 على السطح الداخلي لنصف كرة نصف قطرها R دون احتكاك لتصطدم بالكتلة m_2 صدماً ليناً وتلتصق الكتلتان وتتحركان معاً لتصلا إلى الارتفاع h. أثبت أنّ $h = \frac{R}{4}$.

المسألة الثانية:

تسير السيّارة A بسرعة ثابتة $2\,m.s^{-1}$ على طريق مستقيمة أفقية وإذ بسيّارة B تصدمها من الخلف وتلتحم معها لتصبح سرعة الجملة بُعيد الصدم مباشرة $4\,m.s^{-1}$، فتدفعها والطريق بين الجملة بعيد الصدم تتوقّف جملة السيّارتين بعد قطع مسافة معينة، فإذا علمتَ أنَّ كتلة السيارة A هي $3000\,kg$ وكتلة السيارة B $1000\,kg$ وقد بلغت قوة الاحتكاك بسبب الفرملة $1600\,N$

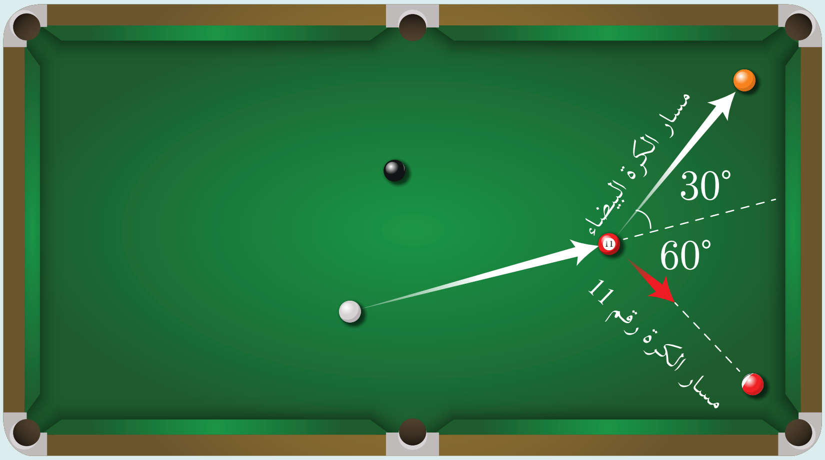


المطلوب:

1. أوجد سرعة السيارة B قبل الصدم؟
2. ما قيمة المسافة التي قطعتها الجملة حتى التوقف؟

المسألة الثالثة:

في الشكل المجاور يدفع لاعب بلياردو الكرة البيضاء بسرعة $\sqrt{3}\,m.s^{-1}$ لتصدم الكرة رقم 11 صدماً غير مباشر، ثمّ تتابع حركتها بعد ذلك لتصدم الكرة الصفراء الساكنة صدماً مباشراً، بدورها تباشر الكرة رقم 11 حركتها لتصدم الكرة الحمراء صدماً مباشراً.



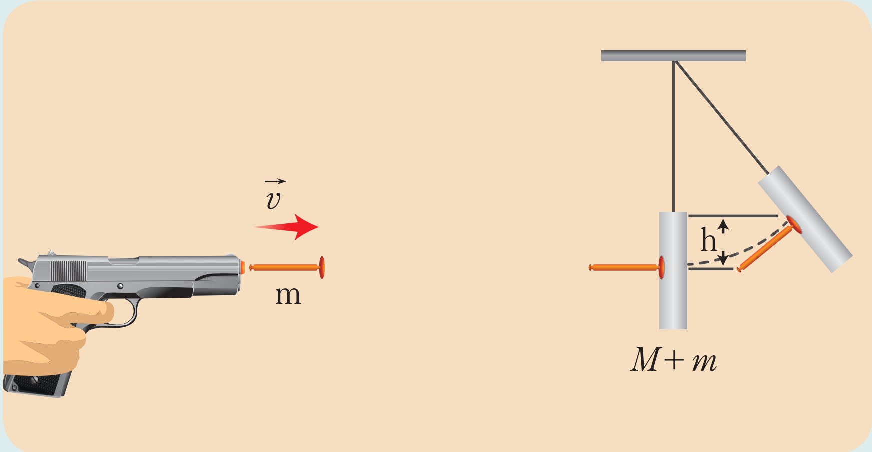
المطلوب:

احسب قيمة سرعة كلّ من الكرات الثلاث بُعيد الصدم إذا علمت أنّ الصدم مرن.

المسألة الرابعة:

قام أحد طلاب الصفّ الثاني الثانوي بإجراء تجربة لمعرفة سرعة سهم لاصق مخصّص للأطفال فأطلق السهم باتجاه لوح بلاستيكي ساكن معلق بخيط ليلتصق به ويرتفع مركز عطالة الجملة مسافة شاقولية قدرها $h = 10\,\text{cm}$ فإذا كانت كتلة السّهم $m = 30\,\text{g}$ وكتلة اللوح $M = 90\,\text{g}$. **المطلوب:**

استنتج بالرموز العلاقة المحدّدة السرعة السهم البلاستيكيّ قبل الصدم ثمّ احسب قيمتها. نأخذ $\text{g} = 10\,\text{m.s}^{-2}$



تفكير ناقد

دأبت شركات إنتاج السيارات على تصميم واقي للصدّمات يوضع في مقدمة السيارة ومؤخرتها لتلافي أي اصطدام قد يضر بها أو بالأشخاص الموجودين بداخلها، وكذلك حماية مكوناتها وزوّد بأضواء مناسبة للاستعمال ليلاً.
ويلاحظ أن هذه الصدّامات مصنوعة من المعدن في السيارات القديمة بينما تم استبدالها بخلائط بلاستيكية متينة في السيارات الحديثة.
بيّن إيجابيات وسلبيات كلّ منهما من خلال مفهوم كمية الحركة والصدم.

أبحث أكثر

لنفرض أننا قمنا بصنع تمثال لشخص مصنوع من الفخار كتلته تساوي كتلة شخص، ثمّ وضعنا التمثال على ارتفاع متر واحد من سطح الأرض.
فإذا ترك التمثال ليسقط إلى الأرض نجد أنه يتحطم في حين لو قفز الشخص إلى سطح الأرض من الارتفاع ذاته فلا يتأذى، وضّح السبب مستعيناً بمكتبة مدرستك أو في الشابكة.

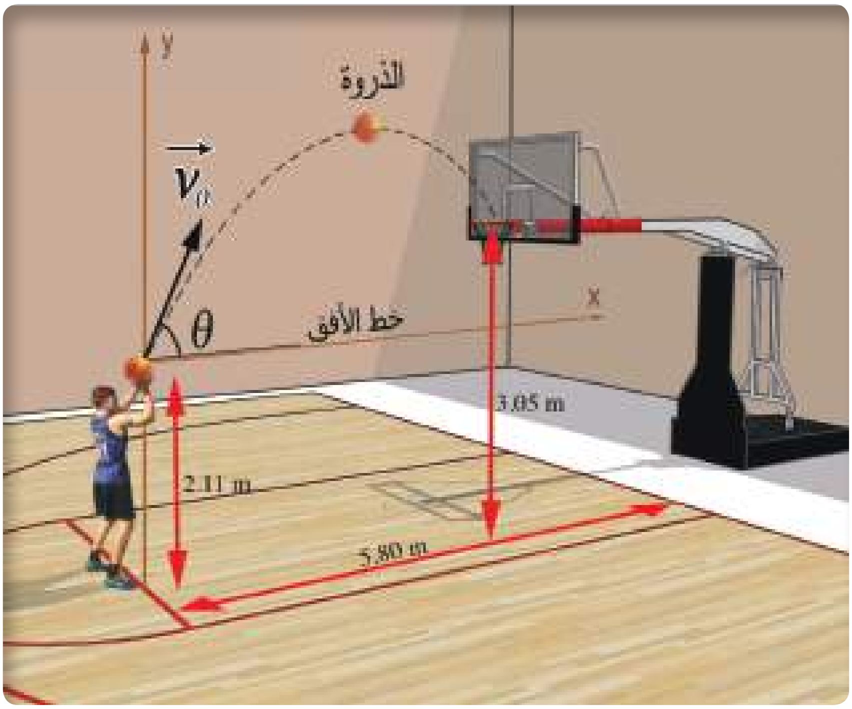
2 حركة القذائف

الأهداف:

* يتعرّف القذيفة
* يتعرّف حركة القذيفة
* يستنتج معادلات القذف المائل
* يميّز بين أنواع القذف وشكل مسار القذيفة
* يتعرّف تطبيقات القذف

الكلمات المفتاحية:

* القذيفة
* مسار القذيفة
* زاوية القذف
* المدى
* الذروة
* السرعة الابتدائية للقذف
* معادلة المسار



تحتاج رياضة كرة السلّة إلى مهارة وتمرين في التسديد وتعتمد على تطبيق أحد مبادئ الفيزياء، ولعلك حاولت أكثر من مرة أن تسدد الكرة إلى السّلة.

ألاحظ وأفكّر

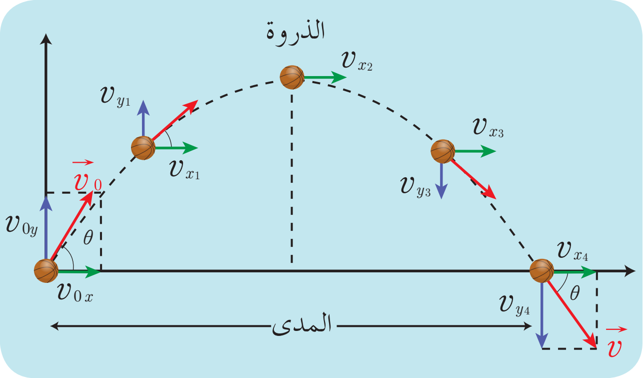
1. هل هناك علاقة بين سرعة قذف الكرة والبُعد عن السلّة؟
2. ما شكل مسار حركة الكرة عندما تقذف الكرة في كلّ ممّا يأتي:
   - لتدخل في السلّة، وأنت تقف تحت السلّة تقريباً؟
   - لتصل إلى زميلك الذي يبعد عنك مسافة متراً واحداً؟
   - لتصل إلى زميلك الذي يبعد عنك مسافة خمسة أمتار؟

للإجابة عن التساؤلات السابقة ندرس حركة القذف.

القذيفة:

جسم ماديّ كتلته m أبعاده صغيرة، مزوّد بسرعة ابتدائية $\vec{v}_0$ ، كثافته كبيرة بحيث يهمل تأثير الهواء فيه أمام قوة ثقله، يرسم مساراً أبعاده صغيرة بما يكفي لإهمال تغيّرات حقل الثقالة الأرضية في المنطقة التي يتحرك داخلها الجسم (حقل الثقالة المنتظم).

القذف المائل



القوى الخارجية المؤثرة في الكرة هي قوة ثقلها فقط $\vec{w} = m\vec{g}$ وحسب القانون الثاني نيوتن:

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a} \Longrightarrow \vec{w} = m\vec{a} \Longrightarrow m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = \vec{g} = \overrightarrow{const} \quad ....(1)$$

بما أنّ حامل $\vec{v}_0$ لا ينطبق على حامل $\vec{a}$ فالحركة منحنية مستوية متغيّرة. ندرس الحركة في الجملة (o,x,y):

$\overrightarrow{ox}$ محور أفقي

$\overrightarrow{oy}$ محور شاقولي

نأخذ مبدأ الزمن لحظة القذف $(t = 0)$ ومبدأ الفواصل نقطة القذف $(x_0 = 0 , y_0 = 0)$

و $(v_{0x} = v_0 \cos\theta , v_{0y} = v_0 \sin\theta)$

نسقط العلاقة (1):

على المحور $\overrightarrow{oy}$	على المحور $\overrightarrow{ox}$
$\overline{a_y} = -g = const$	$a_x = g_x = 0$
$\overline{v_y} = -gt + v_0 \sin\theta$ ....)4(	$v_x = v_0 \cos\theta$ ....)2(
$\overline{y} = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin\theta\, t$ ....)5(	$x = v_0 \cos\theta\, t$ ....)3(

بحذف الزمن بين المعادلتين (3) و(5) نحصل على معادلة المسار:

من (3):

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

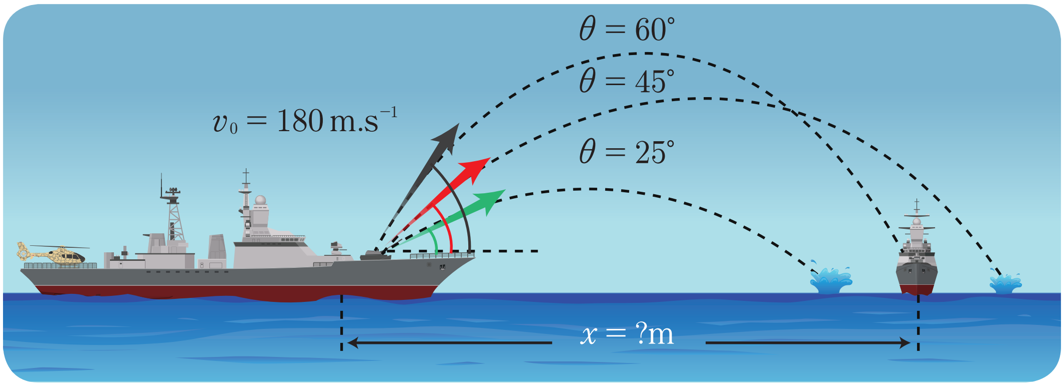
نعوّضها في (5) فنجد: $y = -\frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v_0 \cos\theta}\right)^2 + v_0 \sin\theta \left(\frac{x}{v_0 \cos\theta}\right)$

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

وهي معادلة قطع مكافئ، وحامل المسار هو جزء من قطع مكافئ.

أفكر وأجيب:

قامت إحدى السفن باختبار لجاهزيّة المعدات الدفاعية لها فأطلقت عدة طلقات نحو هدف مخصص وضع على مسافة أفقية محدّدة، وبلغت سرعة القذيفة $180\,m.s^{-1}$ واحتاج الرامي لثلاث محاولات للرمي، أصابت إحداها الهدف وفق الجدول:



الزمن اللازم	الارتفاع الأعظمي	المدى الأفقيّ	السرعة الابتدائيّة	الزاوية	المحاولة
$t = 15\,s$	$y_1 = ?$	$x_1 = ?$	$v_0 = 180\,m.s^{-1}$	$\theta = 25^\circ$	1
$t = 26\,s$	$y_2 = ?$	$x_2 = ?$	$v_0 = 180\,m.s^{-1}$	$\theta = 45^\circ$	2
$t = 32\,s$	$y_3 = ?$	$x_3 = ?$	$v_0 = 180\,m.s^{-1}$	$\theta = 60^\circ$	3

1. أستثمر معادلات حركة القذف المائل في إيجاد المدى الأفقيّ، والارتفاع الأعظمي لكلّ زاوية رمي.
2. ماذا تتوقع إذا تم إطلاق القذيفة بزاوية $\theta = 90^\circ$ ؟ ولماذا؟
3. هل يمكن إصابة الهدف إذا كانت الزاوية $\theta = 0^\circ$ ؟ علل اجابتك.

حالات خاصّة للقذف:

1. إذا كانت الزاوية بين حامل شعاع السرعة الابتدائيّة $\overrightarrow{v_0}$ وخط الأفق $\theta = 0$ ندعوه **بالقذف الأفقيّ** وبالتعويض بالمعادلات (2)، (3)، (4)، (5) نحصل على معادلات الحركة بالقذف الأفقيّ مع ملاحظة أنّ: $[\cos 0 = 1 , \sin 0 = 0]$ ومن الأنسب توجيه المحور $\overrightarrow{oy}$ نحو الأسفل

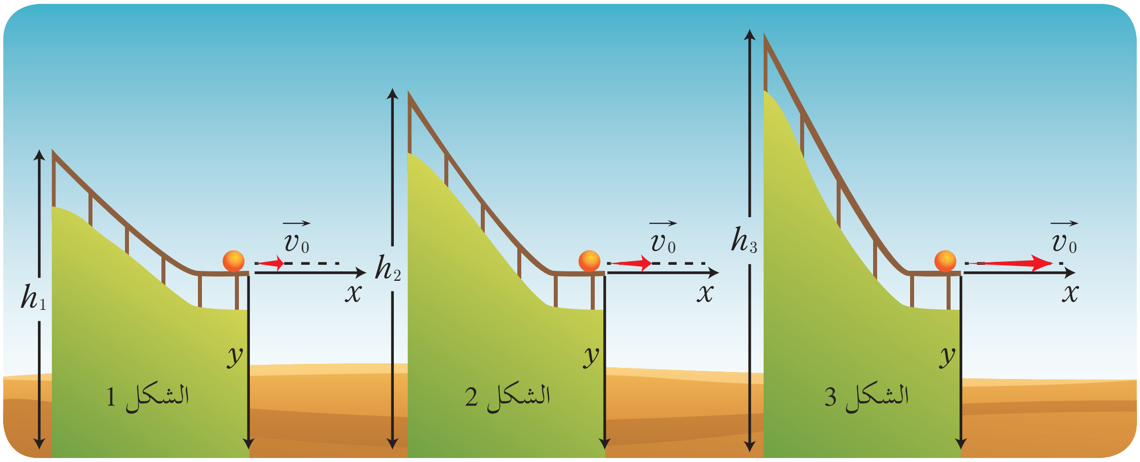
نشاط(1):

انظر إلى الشكل أدناه حيث تنزلق الكرة على المنحدر لتتابع بعد ذلك حركتها في الهواء.
تصل الكرات الثلاث إلى حافة المنحدر في اللحظة نفسها:

a. هل للكرات السرعة نفسها لدى وصولها إلى الحافة؟

b. هل ستصل الكرات معاً إلى الأرض؟ ولماذا؟

c. أي كرة ستبتعد أكثر عن حافة المنحدر؟

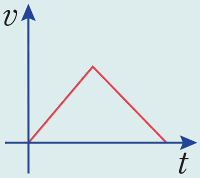


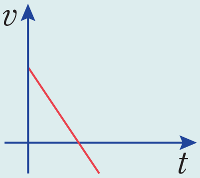
2. إذا كانت الزاوية بين حامل شعاع السرعة الابتدائيّة $\vec{v}_0$ وخط الأفق $\theta = \frac{\pi}{2}$ ندعوه **بالقذف شاقولي**.
مع ملاحظة أنّ $(\sin\frac{\pi}{2} = 1 \quad , \quad \cos\frac{\pi}{2} = 0)$.

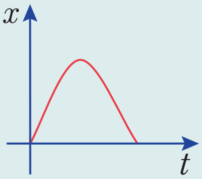
أختبر نفسي

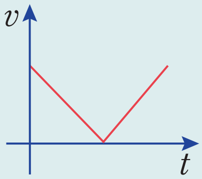
أولاً: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. الخط البياني الذّي يتحقق في القذف الشاقولي نحو الأعلى هو:

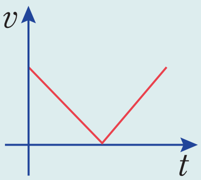
a. 

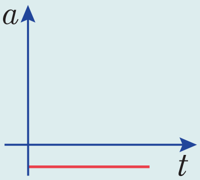
b. 

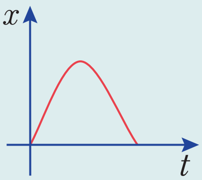
c. 

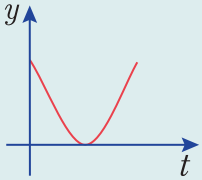
d. 

2. الخطّ البيانيّ الذي يتحقق بالقذف المائل نحو الأعلى هو:

a. 

b. 

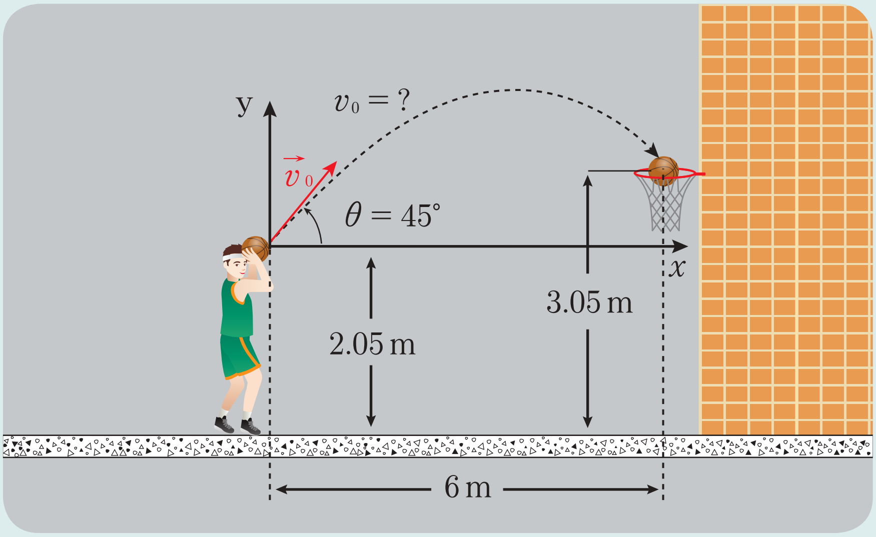
c. 

d. 

ثانياً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

1. كم يجب أن تكون قيمة السرعة الابتدائيّة للكرة عندما يقذفها اللاعب حتى تسقط في السلّة وفق ما هو موضّح بالصورة؟



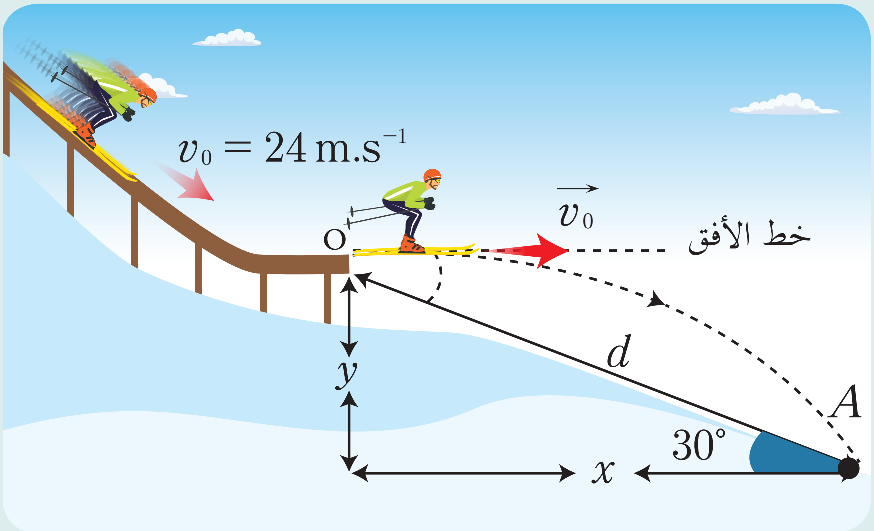
علماً أنّ:

$$\sin(45) = \cos(45) = \frac{\sqrt{2}}{2}$$
$$\tan(45) = 1$$
$$g \approx 10\ m.s^{-2}$$

2. ما أعلى ارتفاع تصل إليه الكرة عن سطح الأرض؟

المسألة الثانية:

يتزلج رياضيّ على منحدر ثلجيّ ليصل للنّقطة (O) بسرعة $v_0 = 24\ m.s^{-1}$ منطلقاً في الهواء ثم يلامس المنحدر عند النقطة (A):



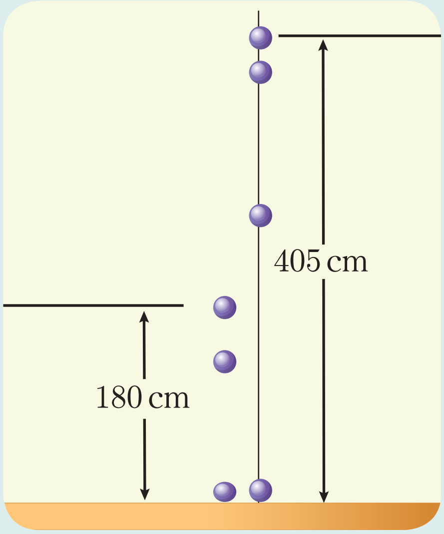
المطلوب:

احسب المسافة d، وسرعة الرياضي عند ملامسته المنحدر في النقطة A.

علماً أنّ:

$$\cos(30) = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad , \quad \tan(30) = \frac{\sqrt{3}}{3} \quad , \quad g \approx 10\,m.s^{-2} \quad , \quad \sqrt{1344} \approx 36.66$$

المسألة الثالثة:



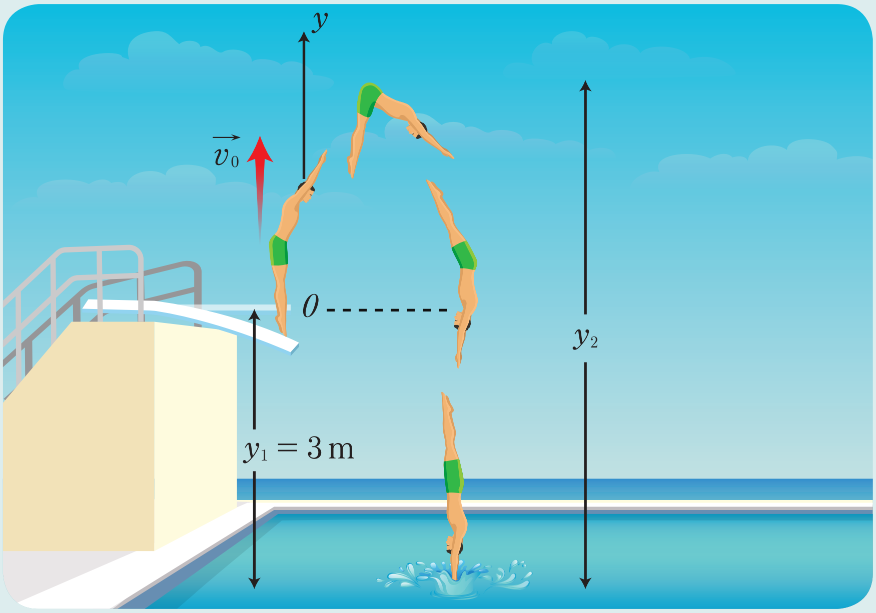
تسقط كرة مطاطيّة كتلتها $M = 400\,g$ من دون سرعة ابتدائيّة من ارتفاع $y = 405\,cm$ عن سطح الأرض لتصطدم بها وترتد إلى ارتفاع $y' = 180\,cm$ فإذا كانت $g = 10\,m.s^{-2}$. المطلوب:

1. حساب سرعة الكرة لحظة اصطدامها بالأرض، وسرعة الكرة لحظة ارتدادها.
2. ما نوع الصدم بين الكرة والأرض؟ ولماذا؟

المسألة الرابعة:

رياضة الغطس هي إحدى الرياضات القديمة والشعبيّة والممارسة في أماكن السباحة، وأدخلت ضمن مسابقات السباحة في الألعاب الأولمبيّة الدوليّة منذ دورة باريس عام 1990. وهي من الرياضات التي تعتمد على القوّة البدنيّة واللياقة العالية.

في الشكل المجاور أثّرتْ منصّة متحرّكة في لاعب الغطس لتقذفه شاقولياً نحو الأعلى بسرعة ابتدائيّة قدرها $\vec{v}_0 = 7m.s^{-1}$



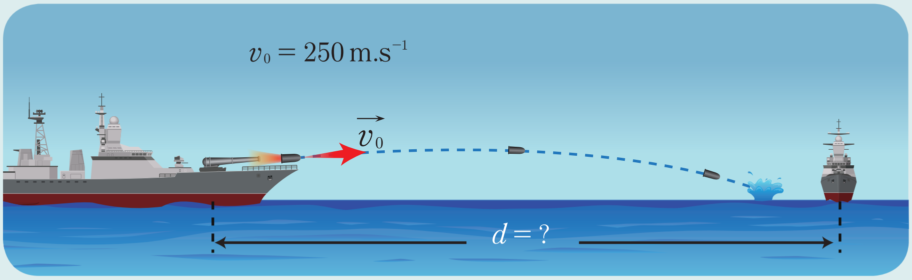
المطلوب:

1. ادرس حركة ملاعب الغطس في الهواء.
2. احسب أعلى ارتفاع يصل إليه الغطاس عن سطح الماء؟
3. احسب سرعة اللاعب لحظة ملامسته سطح الماء.

المسألة الخامسة:

يوضع مدفع كتلته $M = 3000\,kg$ على سطح سفينة حربيّة ماسورته أفقيّة، يطلق قذيفة تحذيرية كتلتها $m_1 = 6\,kg$ وسرعتها لحظة الإطلاق $v_1 = 250\,m.s^{-1}$ باتجاه سفينة أخرى لتسقط في الماء. **المطلوب:**

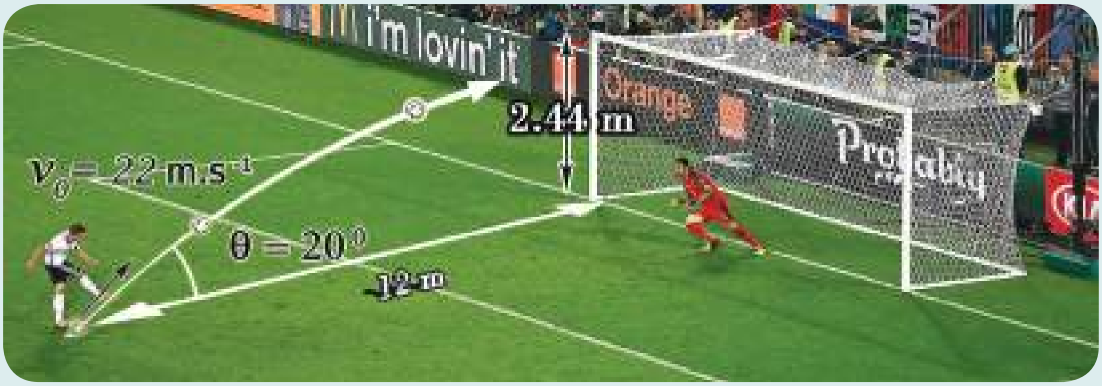
1. احسب سرعة ارتداد المدفع لحظة الإطلاق.
2. احسب شدة شعاع الدفع الذي يتلقّاه المدفع من القذيفة.
3. ادرس حركة القذيفة واحسب زمن وصولها إلى سطح الماء إذا كانت فوّهة المدفع ترتفع عن سطح الماء $4\,m$
4. احسب البعد الأفقيّ d لنقطة تلاقي القذيفة بالماء عن شاقول نقطة القذف.



المسألة السادسة:

نفّذ لاعب كرة قدم ضربة جزاء على مرمى الفريق الآخر فقذفَ الكرة باتّجاه الزاوية اليمنى العليا للحارس وبسرعة ابتدائيّة $v_0 = 22\,m.s^{-1}$ و زاوية قذف $\theta = 20°$ فإذا علمت أن ارتفاع المرمى $2.44\,m$ والبُعد الأفقيّ بين الكرة والنّقطة التي سدد إليها اللاعب بلغت $12\,m$ وفق ما هو موضّح في الصورة أدناه فهل استطاع تسجيل هدف أم لا؟

$$(\cos 20 \simeq 0.94 \quad , \quad \tan 20 \simeq 0.364 \quad , \quad g \simeq 10\,m.s^{-2})$$

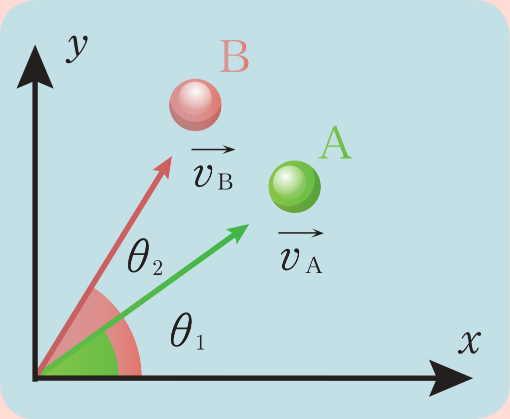


تفكير ناقد

في القذف المائل نحو الأعلى: استنتج قيمة الزاوية التي إذا قذفت بها كرة كان المدى الأفقي أكبر ما يمكن.

أبحث أكثر

نقذف من نقطة (O) كرتين متماثلتين A ، B لهما السرعة الابتدائيّة نفسها $v_{0A} = v_{0B}$ وبزاويتين مختلفتين $\theta_2 > \theta_1$



1. أيّ الكرتين سيكون مداها أكبر ؟ علل إجابتك.
2. أيّ الكرتين ستبلغ ارتفاعاً أعلى؟

3 الحركة الدائريّة

ساحة اليمن بمدينة اللاذقية على شكل دائرة قطرها 200 m وتتضمن جسراً للسيارات بعرض أربعة ممرّات مرورية بطول إجمالي 548 m ونفق للسيّارات بطول إجمالي 550 m، إضافة إلى سبعة أنفاق لعبور المشاةً.

الأهداف:

* يتعرّف الحركة الدائريّة كحالة خاصة من الحركة المنحنية
* يحدّد خاصيّات الحركة الدائريّة المنتظمة.
* يصوغ قوانين الحركة الدائريّة المنتظمة.
* يبيّن أهميّة تطبيقات الحركة الدائريّة المنتظمة.

الكلمات المفتاحية:

* الفاصلة الدائرية
* الفاصلة الزاوية
* السرعة الزوية
* التسارع الزاوي
* التسارع المماسي
* التسارع الناظمي
* ميل الطريق
* القوة الجاذبة المركزية
* الدور
* التواتر

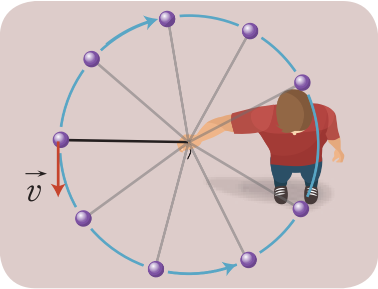
الحركة الدائريّة:

ألاحظ وأستنتج:

– أبيّن شكل المسار الناتج عن حركة الكرة الموضّحة في الشكل.

– أسمِّي نوع حركتها.

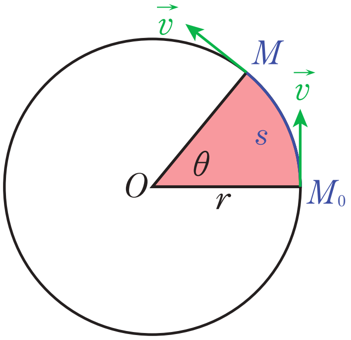
– أحدّد شعاع السّرعة بالنسبة لكلّ نقطة من المسار.



أستنتج

- **الحركة الدائريّة حركة مسارها دائري.**
- **شعاع السّرعة للجسم مماسّا للمسار الدائري في كلّ نقطة من نقاطه ويتجه بجهة الحركة .**

1. الفاصلة الدائريّة والفاصلة الزاويّة:



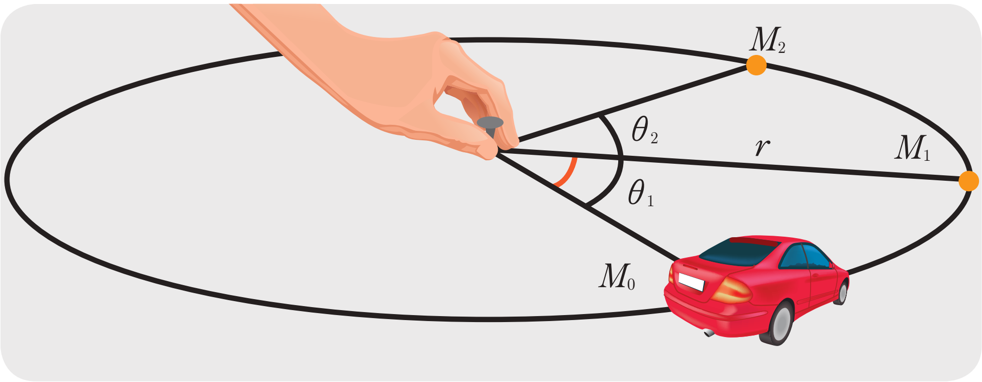
نشاط (1):

- تتحرك نقطة ماديّة وفق مسار دائريّ نصف قطره r
- أختار:
  – الاتّجاه الموجب بعكس جهة دوران عقارب الساعة.
  – النقطة M_0 مبدأ للفواصل الدائريّة.
  – نصف القطر $OM_0 = r$ مبدأ للفواصل الزاويّة.
- أسمِّي طول القوس M_0M .
- أسميّ الزاويّة $\widehat{M_0OM}$.
- أحدّد العلاقة بين طول القوس M_0M والزاويّة $\widehat{M_0OM}$.

أستنتج

- **الفاصلة الدائريّة $\bar{s}$: هي القياس الجبري لطول القوس M_0M ، واحدتها في الجملة الدولية هي المتر m.**
- **الفاصلة الزاويّة $\bar{\theta}$: هي القياس الجبري للزاوية المركزية $(\widehat{M_0OM})$ التي يمسحها نصف القطر r واحدتها rad.**
- **ترتبط الفاصلة الدائريّة والفاصلة الزاويّة بالعلاقة: $\bar{s} = r\bar{\theta}$**

2. السّرعة الزاويّة الوسطى والسّرعة الزاويّة الآنية:



نشاط (2):

الأدوات المستخدمة: سيّارة كهربائيّة صغيرة، خيط طوله $20\,cm$، مسمار كبس، ميقاتيّة.

- أثبّت المسمار مع الخيط في منتصف الورقة وأربط السيّارة به.
- أحدّد موضع السيّارة بالنقطة M_0 في اللحظة $t_0 = 0$.
- أقوم بتشغيل السيّارة الصغيرة لتبدأ حركتها من الموضع M_0 وأضغط على الميقاتيّة بآن واحد معاً.
- أقيس الزوايا: θ_1، θ_2 في اللحظات: t_1 و t_2، وأحسب النسبة $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$.

الفاصلة الزاويّة (rad)	$\theta_0 = 0$	$\theta_1 = \frac{\pi}{3}$	$\theta_2 = \frac{2\pi}{3}$
الموضع	M_0	M_1	M_2
الزمن (s)	$t_0 = 0$	$t_1 = 2$	$t_2 = 4$
النسبة $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$	$\frac{\theta_1 - \theta_0}{t_1 - t_0} =$	$\frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} =$	

ندعو النسبة $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ بالسّرعة الزاويّة الوسطى.

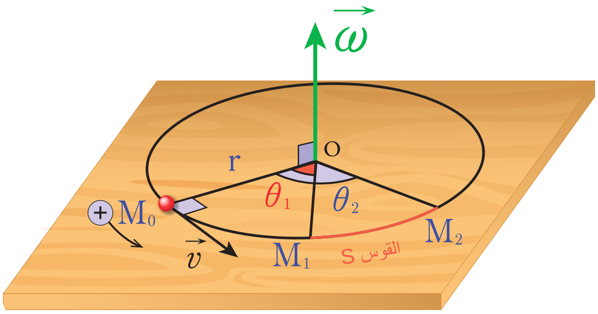
* السّرعة الزاويّة الوسطى $\overline{\omega}_{avg}$:

هي معدل تغيّر الفاصلة الزاويّة $\Delta\overline{\theta}$ التي يمسحها نصف القطر r خلال فاصل زمني معين Δt، ويعبّر عنها بالعلاقة $\frac{\overline{\theta}_2 - \overline{\theta}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\overline{\theta}}{\Delta t} = \overline{\omega}_{avg}$ وتقاس في الجملة الدوليّة بواحدة $rad.s^{-1}$.

* السّرعة الزاويّة الآنية $\overline{\omega}$:

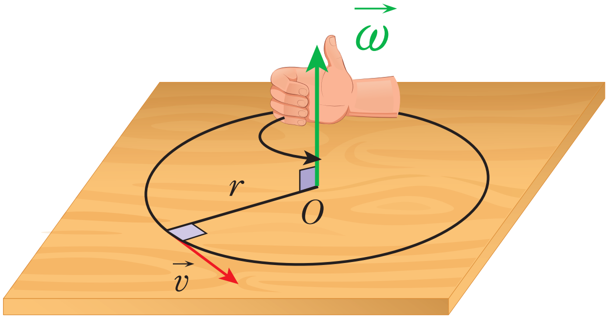
تؤول السّرعة الزاويّة الوسطى إلى السّرعة الزاويّة الآنيّة عندما يصبح الفاصل الزمنيّ صغير جداً dt

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



السّرعة الزاويّة الآنيّة $\overline{\omega}$ هي مشتق تابع الفاصلة الزاويّة بالنسبة للزمن.

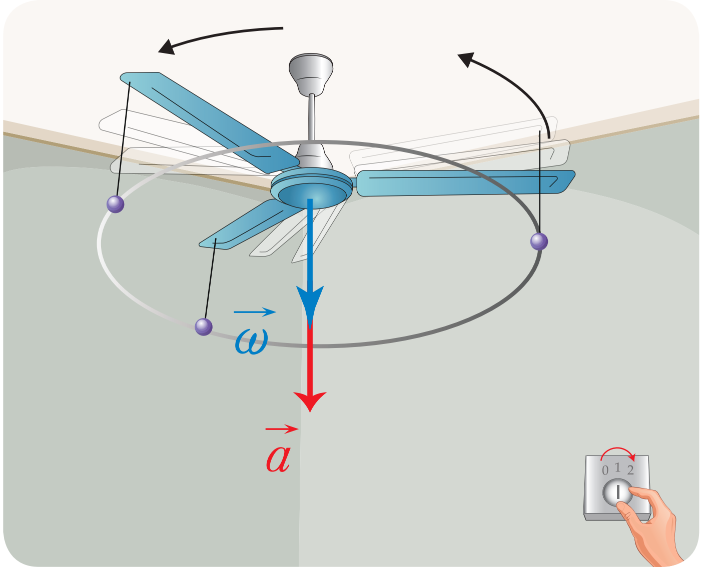
عناصر شعاع السّرعة الزاويّة:



- **حامله:** محور الدوران.
- **جهته:** بجهة إبهام يد يمنى تلفّ بقيّة الأصابع بجهة الدوران (قاعدة اليد اليمنى).
- **طويلته:** القيمة المطلقة للمشتق $(\overline{\theta})'_t$.

3. التّسارع الزاويّ الوسطيّ والتّسارع الزاويّ الآنيّ:

نشاط (3):



تستخدم المروحة السقفيّة في غرفة الصف أو في المنزل لتسريع جريان الهواء.
أعلّق كرة صغيرة خفيفة بطرف المروحة، وأضع مفتاح التشغيل على الوضعية (1) لتبدأ المروحة بالدوران:

1. ما شكل المسار الذي ترسمه الكرة؟
2. ما جهة جريان الهواء تحت المروحة.
3. أضع مفتاح التشغيل على الوضعية (2)، هل يزداد جريان الهواء؟ ولماذا؟
4. أطبّق قاعدة اليد اليمنى على دوران الكرة ماذا تمثّل جهة إبهام اليد اليمنى؟
5. أحسب المقدار $\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ الجدول الآتي:

السّرعة الزاويّة $(rad.s^{-1})$	$\omega_0 = 0$	$\omega_1 = 2\pi$	$\omega_2 = 4\pi$	$\omega_3 = 6\pi$
الزمن (s)	$t_0 = 0$	$t_1 = 1$	$t_2 = 2$	$t_3 = 3$
النسبة $\frac{\Delta\overline{\omega}}{\Delta t}$	$\frac{\omega_1 - \omega_0}{t_1 - t_0} = ?$	$\frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = ?$	$\frac{\omega_3 - \omega_2}{t_3 - t_2} = ?$	

* التّسارع الزاوي الوسطي $\overline{\alpha}_{avg}$:

يعبّر التّسارع الزاوي الوسطي عن تغيّر السّرعة الزاويّة خلال فاصل زمني معيّن Δt، ويعطى بالعلاقة:

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

ما واحدة قياس التّسارع الزاوي؟

* التّسارع الزاوي الآنيّ $\overline{\alpha}$:

يؤول التّسارع الزاوي الوسطي إلى التّسارع الزاوي الآني عندما يصبح الفاصل الزمني صغير جداً dt، ويعطى بالعلاقة:

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

أي أنّ التّسارع الزاوي الآنيّ $\overline{\alpha}$ هو المشتق الأول لتابع السّرعة الزاويّة الآنيّة بالنسبة للزمن، وهو المشتق الثاني لتابع الفاصلة الزاويّة بالنسبة للزمن.

أستنتج

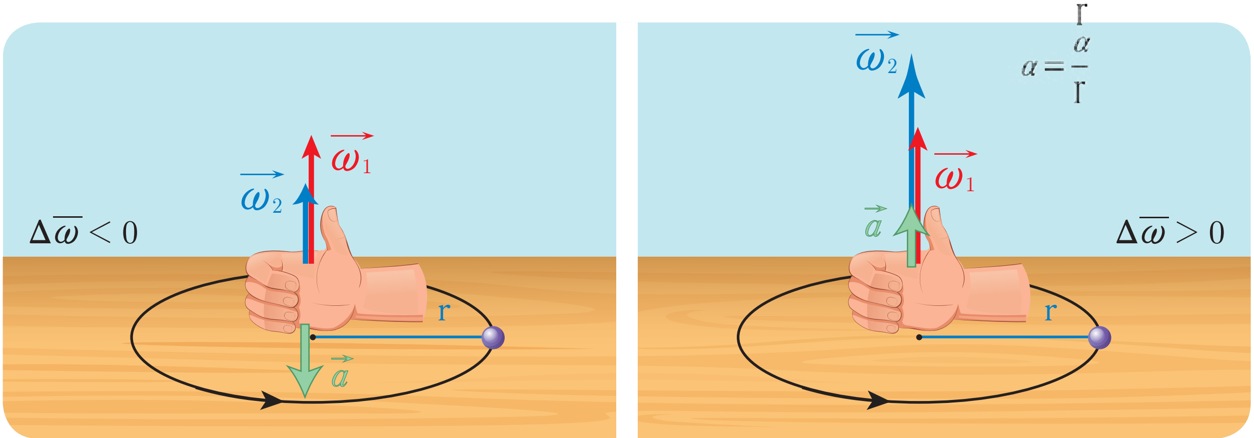
- **التّسارع الزاوي مقدار شعاعي محمول على محور الدوران.**
- **جهة شعاع التّسارع الزاوي $\vec{\alpha}$ بجهة $\vec{\omega}$ إذا كانت الحركة متسارعة $\Delta\overline{\omega} > 0$، وبعكس جهة $\vec{\omega}$ إذا كانت الحركة متباطئة $\Delta\overline{\omega} < 0$.**

$\alpha = (\omega)'_t$

$\alpha = \left(\frac{v}{r}\right)'_t$

$\alpha = \frac{(v)'_t}{r}$

$\alpha = \frac{\alpha}{r}$

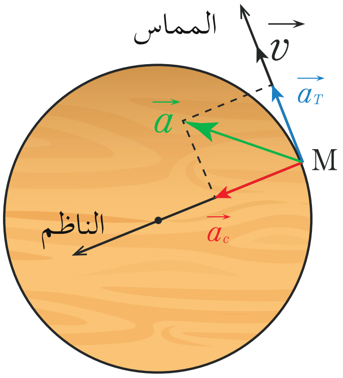


4. مركبتا شعاع التّسارع الخطّي الآني:

يمكن تحليل شعاع التّسارع الخطّي إلى مركبتين:

- **التّسارع المماسّي** $\vec{a}_t$ محمول على المماس للمسار في النقطة M، ويعبّر عن تغيّر القيمة الجبرية لشعاع السّرعة بتغيّر الزمن.

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



- **التّسارع الناظمي** $\vec{a}_c$ محمول على الناظم في النقطة M، ويعبّر عن تغيّر حامل شعاع السّرعة بتغيّر الزمن.

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

حيث r نصف قطر المسار الدائري.
ومن ثَمَّ نكتب عبارة شعاع التّسارع الخطي:

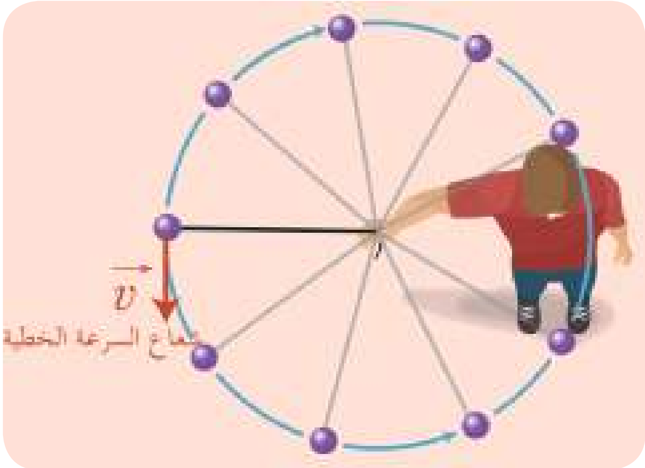
$$\vec{a} = \vec{a}_c + \vec{a}_t$$

من الشكل نستنتج أنّ:

$$a = \sqrt{a_c^2 + a_t^2}$$

الحركة الدائريّة المنتظمة

حركة مسارها دائريّ، يحافظ شعاع سرعتها $\vec{v}$ على شدّة ثابتة (طويلة ثابتة)، أو يقطع فيها المتحرك أقواساً متساوية خلال أزمنة متساوية.



1. توابع الحركة الدائريّة المنتظمة:

- **تابع الفاصلة الزاويّة:** $\overline{\theta} = \overline{\omega} t + \overline{\theta}_0$
- **تابع الفاصلة المنحنية:** $\overline{s} = \overline{v} t + \overline{s}_0$
- **العلاقة بين السّرعة الزاويّة والسّرعة الخطّيّة:**

$$s = \theta r$$
$$\frac{ds}{dt} = r\frac{d\theta}{dt}$$
$$v = \omega r$$

2. الدور والتواتر:

- **الدور** T **:** هو الزمن اللازم لإنجاز دورة واحدة, واحدة قياسه في الجملة الدولية هي الثانية s.
- **التواتر** f **:** هو عدد الدورات التي ينجزها المتحرك في واحدة الزمن، واحدة قياسه في الجملة الدولية Hz.

3. التّسارع:

- **التّسارع الزاوي:** معدوم لأنّ $\omega = const$ أيّ $\alpha = (\omega)'_t = 0$
- **التّسارع الخطّي:**
  - التّسارع المماسي:

$$a_t = 0$$
$$v = const$$
$$a_t = \frac{dv}{dt} = (v)'_t = 0$$

  - **التّسارع الناظمي:** $a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$ ويوصف بأنّه تسارع جاذب مركزي.

تطبيق (1):

يدور جسم بحركة دائرية منتظمة وبسرعة زاوية ثابتة قدرها $\pi\,\text{rad.s}^{-1}$، فإذا كان نصف قطر الدوران $0.5\,\text{m}$

المطلوب حساب:

1. السّرعة الخطّيّة للجسم أثناء الدوران.
2. دور الحركة وتواترها.
3. المسافة المقطوعة خلال 3 دورات.
4. الزاوية التي يمسحها نصف القطر خلال 0.1 ثانية.
5. التّسارع الناظمي.

الحل:

1. حساب السّرعة الخطّيّة: $v = \omega r = \pi \times 0.5 = 3.14 \times 0.5 = 1.57\,\text{m.s}^{-1}$
2. حساب دور الحركة: $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\pi} = 2\,\text{sec}$ تواتر الحركة: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2} = 0.5\,\text{Hz}$
3. حساب المسافة التي يقطعها الجسم خلال 3 دورات:

إنّ زمن دورة واحدة هو $2\,\text{sec}$ فزمن ثلاث دورات هو $t = 3T = 3 \times 2 = 6\,\text{sec}$ و بالتالي المسافة المقطوعة خلال ذلك هي:

$$\Delta s = vt = 1.57 \times 6 = 9.42\,\text{m}$$

4. حساب الزاويّة الممسوحة: $\theta = \omega t = \pi \times 0.1 = 3.14 \times 0.1 = 0.314\,\text{rad}$
5. حساب التّسارع الناظمي: $a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(1.57)^2}{0.5} \simeq 5\,\text{m.s}^{-2}$ أو $a_c = \omega^2 r = \pi^2 \times 0.5 = 5\,\text{m.s}^{-2}$

4. إمالة الطرق عند المنعطفات:

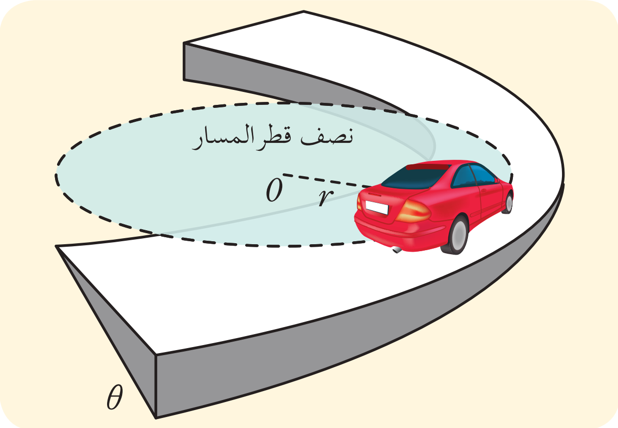
يضع مهندسو الطرق السلامة المرورية ضمن أولوياتهم حيث يتم تصميم الشبكات الطرقيّة للمدن من خلال دراسة طول وعرض وميل وانعطاف الطريق بما يتناسب مع الغرض المرجو منه.

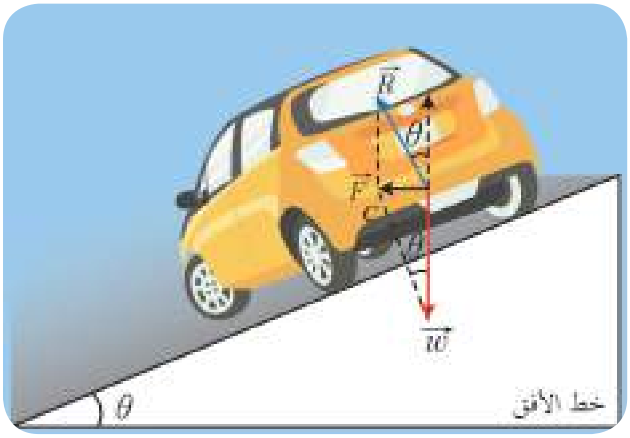
أفكر وأجيب:

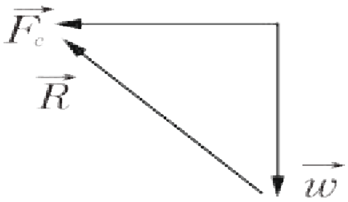
- لماذا يميل راكب الدراجة بزاوية θ عن الأفق عند اجتيازه لمنعطف؟
- إحدى القواعد المرورية لقيادة السيّارة هي تخفيف السّرعة عند اجتياز منعطف، ما هو السبب؟

كي تجتاز العربة أي منعطف دائريّ نصف قطره r بشكل آمن ولا تجنح نحو خارج المسار، نعمد إلى إمالة الطريق بزاوية مناسبة θ ليصبح للقوتين $\vec{w}$ ، $\vec{R}$ محصلة $\vec{F}$ جاذبة مركزيّة تمنع المركبة من الانزلاق الجانبي.
يمكن إيجاد قيمة الزاويّة :
حسب القانون الثاني لنيوتن نكتب $\Sigma\vec{F}=\vec{w}+\vec{R}=m\vec{a}_c$ ومن الشكل نجد: $\tan\theta=\dfrac{F_c}{w}=\dfrac{m\,a_c}{m\,g}=\dfrac{v^2}{r\,g}$

- ناقش العلاقة الأخيرة، وبيّن لماذا توضع شاخصات مرورية تحدّد السّرعة المناسبة لاجتياز المنعطف.







مثلث محصّلة القوة

تعلّمتُ

- الفاصلة الدائريّة $\overline{s}$: هي القياس الجبري لطول القوس M_0M واحدتها المتر m.
- الفاصلة الزاويّة $\overline{\theta}$: هي القياس الجبري للزاوية المركزية $(\widehat{M_0OM})$ التي يمسحها نصف القطر r واحدتها rad
- السّرعة الزاويّة الوسطى: $\overline{\omega}_{avg} = \frac{\Delta\overline{\theta}}{\Delta t} = \frac{\overline{\theta}_2 - \overline{\theta}_1}{t_2 - t_1}$
- السّرعة الزاويّة الآنية: $\overline{\omega} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\overline{\theta}}{\Delta t} = \frac{d\overline{\theta}}{dt} = (\overline{\theta})'_t$
- التّسارع الزاوي الوسطي: $\overline{\alpha}_{avg} = \frac{\overline{\omega}_2 - \overline{\omega}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\overline{\omega}}{\Delta t}$
- التّسارع الزاوي الآني: $\overline{\alpha} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\overline{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\overline{\omega}}{dt} = (\overline{\omega})'_t = (\overline{\theta})''_t$
- مركبتا شعاع التّسارع الخطّي الآني: $\vec{a} = \vec{a}_c + \vec{a}_t$
- التّسارع المماسي: $\overline{a}_t = \frac{d\overline{v}}{dt}$
- التّسارع الناظمي: $a_c = \frac{v^2}{r}$

توابع الحركة الدائريّة المنتظمة

- تابع الفاصلة الزاويّة: $\overline{\theta} = \overline{\omega}t + \overline{\theta}_0$
- تابع الفاصلة المنحنية: $\overline{s} = \overline{v}t + \overline{s}_0$
- الدور T : هو الزمن اللازم لإنجاز دورة واحدة، واحدة قياسه في الجملة الدولية هي الثانية s.
- التواتر f : هو عدد الدورات التي ينجزها المتحرك في واحدة الزمن، واحدة قياسه في الجملة الدولية Hz.
- التّسارع الزاوي: معدوم لأنّ $\omega = const$ أيّ $\alpha = (\omega)'_t = 0$
- التّسارع المماسي: $a_t = 0$
- التّسارع الناظمي: $a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$ ويوصف بأنّه تسارع جاذب مركزي.

أختبر نفسي

أولاً: اختار الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. يدور جسم بحركة دائريّة منتظمة نصف قطر مسارها $0.5\,m$ وتواتر حركته $\frac{4}{\pi}\,Hz$ فإن سرعته الخطّية في الجملة الدوليّة تساوي:

a. $8\,m.s^{-1}$ **b.** $16\,m.s^{-1}$ **c.** $4\,m.s^{-1}$ **d.** $\frac{2}{\pi}\,m.s^{-1}$

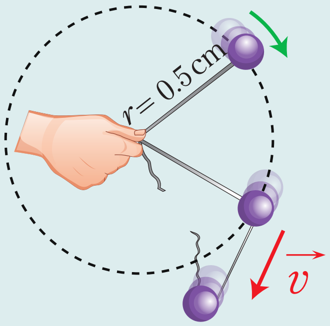
2. تدور عنفة بسرعة زاوية $16\,\pi\,rad.s^{-1}$ فيكون تواترها بالهرتز:

a. 8 **b.** 16 **c.** 32 **d.** 4

3. إنّ قوة الجذب المركزيّة في الحركة الدائريّة المنتظمة:

a. متغيّرة بكلّ عناصرها. **b.** ثابتة بكل عناصرها. **c.** ثابتة الجهة فقط. **d.** ثابتة الشدة فقط

4. نقوم بتدوير كرة مربوطة بخيط مهمل الكتلة عديم الامتطاط بتواتر $\frac{8}{\pi}\,Hz$ فتكون سرعتها الخطّية لحظة انقطاع الخيط مقدرة $m.s^{-1}$:



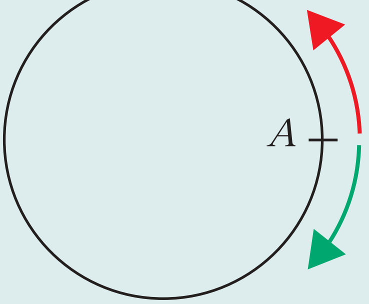
a. 8

b. $\frac{8}{\pi}$

c. 16

d. $\frac{16}{\pi}$

5. في اختبار للدرّاجات على مسار دائريّ طوله $60\,m$ مرّ متسابقان من النقطة (A) في اللحظة نفسها وباتجاهين متعاكسين في اللحظة $t = 0$، فكانت سرعة الأوّل $(6\,m/\,min)$ وسرعة الثاني $(24\,m/\,min)$.
فبعد دقيقتين يكون البعد بينهما مساوياً:



a. $(18\,m)$

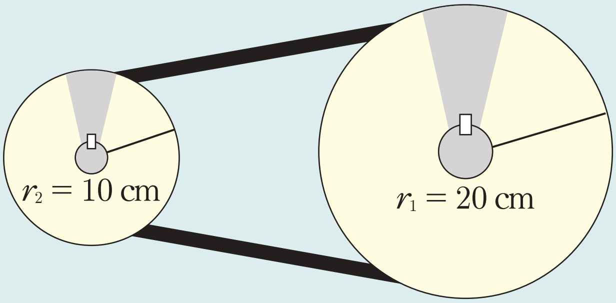
b. $(30\,m)$

c. $(0\,m)$

d. $(48\,m)$

ثانياً: أحلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى:



تدور بكرتان معاً بواسطة حبل كما هو موضح بالشكل المجاور، تدور البكرة الأولى $10\ \text{rpm}$ (دورة بالدقيقة) كم عدد دورات البكرة الثانية بالدقيقة؟

المسألة الثانية:

تدور سيّارة كتلتها $1000\ \text{kg}$ على منعطف دائري نصف قطره $1\ \text{km}$ بسرعة $72\ \text{km.h}^{-1}$

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 $6\ \text{m}$ لتدور المركبة بسلام

المسألة الثالثة:

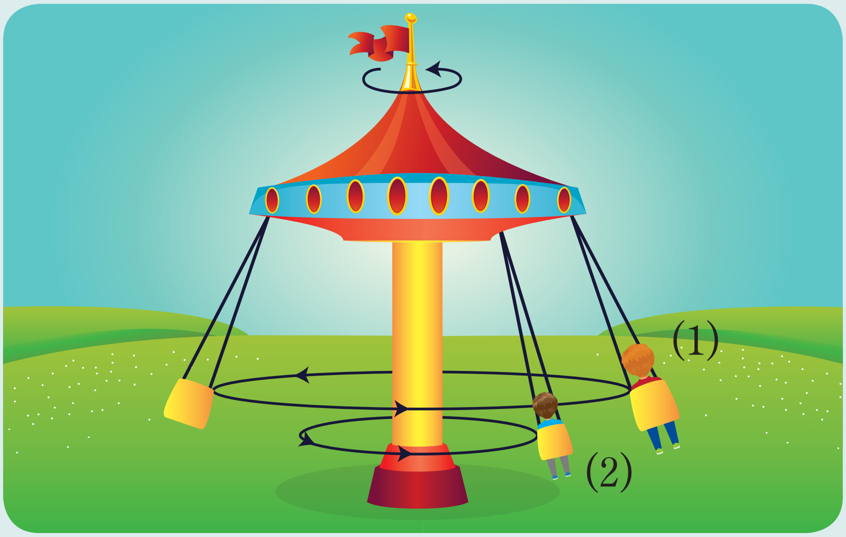
تتحرّك نقطة ماديّة وفق مسار دائريّ نصف قطره $r = 3\ \text{m}$، تابع فاصلتها الزمني: $\overline{s} = 2t^2 - t + 3$ حيث $\overline{s}$ طول القوس مقدراً بالأمتار. المطلوب حساب شدّة شعاع تسارعها في اللحظة $t = 1\ \text{s}$.

المسألة الرابعة:

يجلس طفلان على كرسيين في لعبة الكراسي الدوّارة في مدينة الألعاب حيث تنجز دورة واحدة كل $30\ \text{s}$ فإذا كان الطفل الأول يبعد عن محور الدوران $r_1 = 6\ \text{m}$ و الطفل الثاني $r_2 = 3\ \text{m}$

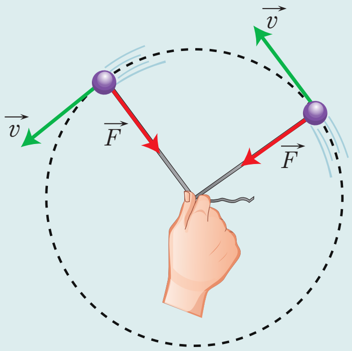
والمطلوب:

1. احسب السّرعة الزاويّة والسّرعة الخطّية والتّسارع الناظميّ لكل منهما.
2. إذا كانت كتلة الطفل الأول $m_1 = 35\ \text{kg}$ وكتلة الثاني $m_2 = 40\ \text{kg}$ فما قيمة القوّة الجاذبة المركزية لكلّ منهما ؟



المسألة الخامسة:

نربط كرة صغيرة كتلتها 100 g بطرف خيط مهمل الكتلة عديم الامتطاط طوله 40 cm ونقوم بتدويرها بسرعة زاوية ثابتة تقابل دورتين في الثانية



والمطلوب حساب:

1. السّرعة الزاويّة والسّرعة الخطّية للكرة
2. شدّة القوة الجاذبة المركزيّة.

(نعتبر $4\pi = 12.5$)

المسألة السادسة:

بعض الآباء يقومون باللّعب مع أطفالهم ضمن الحديقة بتدوير الطفل بحركة دائريّة منتظمة كنوع من النشاط والرياضة.

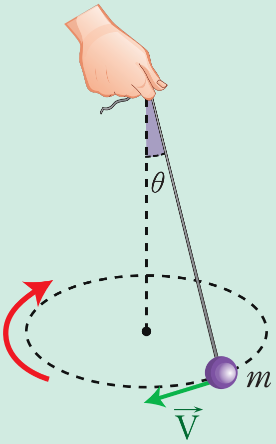
فإذا كانت كتلة الطفل 25 kg، ونصف قطر الدائرة التي ترسمها الحركة هو 60 cm، والزمن اللازم لإتمام دورة كاملة هو 2 s

المطلوب حساب:

1. السّرعة الخطّية للطفل على المسار الدائري
2. شدة القوة التي يجذب بها الأب طفله حتى لا يفلت من يديه ويتأذى.

تفكير ناقد

نعلّق كرة صغيرة بخيط طويل نسبياً مهمل الكتلة عديم الامتطاط. ونقوم بتدويرها بحركة دائرية منتظمة سرعتها الزاوية ω_1 لترسم مخروطاً منتظماً حيث يبتعد الخيط عن الشاقول زاوية θ كما هو موضّح بالشكل. المطلوب:



1. إذا زدنا السرعة الزاوية إلى $\omega_2 > \omega_1$ هل تزداد الزاوية θ أم تنقص؟
2. إذا أعدنا التجربة السابقة باستخدام خيط أطول مع بقاء السرعة الزاوية نفسها ω_1 هل سيبتعد الخيط عن الشاقول

أبحث أكثر

تستخدم أجهزة الطرد المركزي في فصل نظيري اليورانيوم ${}^{238}_{92}U$, ${}^{235}_{92}U$ حيث يقوم الجهاز بالدوران بسرعة كبيرة جداً مما يسبب انفصال النظيرين عن بعضهما، ابحث في مكتبتك المدرسية أو عن طريق الشابكة في ذلك.

4

التحريك الدورانيّ

الأهداف:

* يتعرّف عزم القوة.
* يستنتج قانون عزم المزدوجة.
* يستنتج علاقة العمل في الحركة الدورانيّة.
* يتعرّف عزم مزدوجة الفتل.
* يستنتج علاقة عمل مزدوجة الفتل.
* يوضّح بيانياً العلاقة بين عزم الفتل وزاوية الفتل.
* يتعرّف عزم العطالة.
* يطبّق نظرية هايغنز.
* يتعرّف العزم الحركيّ وتغيره.
* يشرح نظرية التسارع الزاوي.

الكلمات المفتاحية:

* مزدوجة الفتل
* عزم العطالة
* نظرية هايغنز
* العزم الحركي
* نظرية التسارع الزاوي

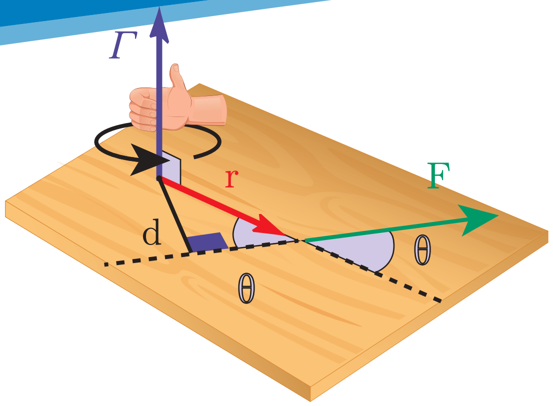
تشتهر مدينة حماة في الجمهورية العربية السورية بنواعيرها التي تستخدم في الريّ.

– ما نوع حركة الناعورة؟

– ما سبب حركة الناعورة؟

كثيراً ما نرى في حياتنا اليومية أجساماً تتحرّك بحركة دورانية، لنبحث معاً عن سبب دوران هذه الأجسام ونتعرّف المفاهيم الفيزيائية المرتبطة بها.

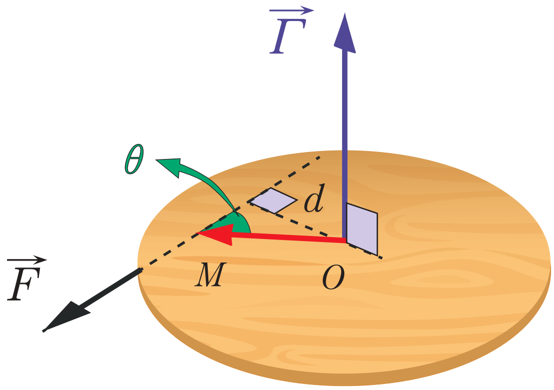
عزم القوة :



ينتج عن جريان الماء قوة تؤثّر في الجزء المغمور بالماء من الناعورة مما يؤدي إلى تدويرها، هل تدور الناعورة فيما لو طبّقت القوة السابقة في مركزها؟

يتبيّن من هذا المثال أنّه لتدوير جسم يجب ألّا تقع نقطة تأثير القوة على محور دورانه، وألّا يتقاطع حامل القوة مع ذلك المحور، ونلاحظ ازدياد تأثير القوة في تدوير الجسم (في حال حافظت القوة على جهتها وشدتها) كلما ابتعد حامل القوة عن محور الدوران، انظر إلى الشكل المجاور.

إنّ شدة عزم القوة تساوي: $\Gamma = d\,F$ ، وعزم القوة يعامد مستوي الشكل، ولدينا:



$$d = |\overrightarrow{OM}|\sin\theta$$

$$\Gamma = (|\overrightarrow{OM}|\sin\theta)\,F$$

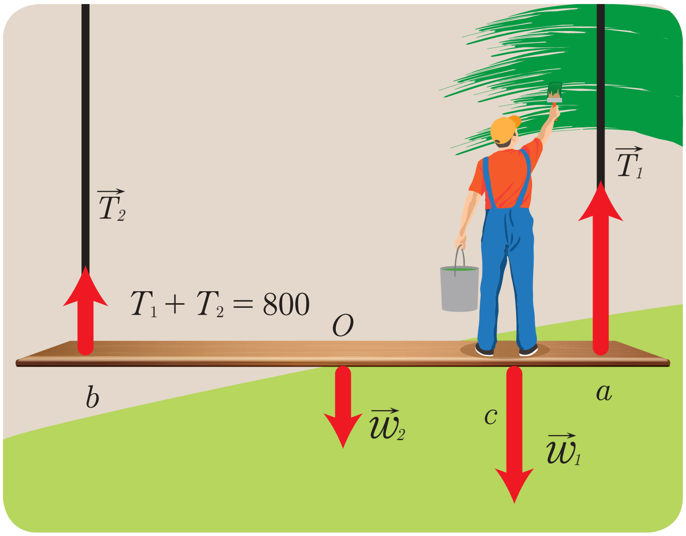
نلاحظ أنّ العلاقة السابقة تعبّر عن طويلة الجداء الشعاعي للشعاعين $\overrightarrow{OM}$ و $\vec{F}$ وعليه يمكننا كتابة علاقة عزم القوة شعاعياً بالشّكل:

$$\vec{\Gamma} = \overrightarrow{OM} \wedge \vec{F}$$

تطبيق (1):

يقف رسّام شدّة ثقله $w_1 = 600\ \mathrm{N}$ على لوح خشبي أفقي طوله $2\ \mathrm{m}$ ، وشدّة ثقله $w_2 = 200\ \mathrm{N}$ مربوط بحبلين من طرفيه كما في الشكل فإذا كان الرّسام يقف على بُعد $0.5\ \mathrm{m}$ من إحدى نهايتيه، احسب قوة الشدّ في كلّ من الحبلين معتبراً محور الدوران يمرّ من منتصف اللوح

الحل:



شرط التوازن الإنسحابيّ

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

$$\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{w}_1 + \vec{w}_2 = \vec{0}$$

بالإسقاط على محور شاقوليّ موجّه نحو الأعلى نجد:

$$T_1 + T_2 - \omega_1 - \omega_2 = 0$$

شرط التوازن الدورانيّ:

$$\overline{\Sigma\Gamma} = 0$$

$$\overline{\Gamma}_{\vec{T}_1} + \overline{\Gamma}_{\vec{w}_1} + \overline{\Gamma}_{\vec{w}_2} + \Gamma_{\vec{T}_2} = 0$$

$$(oa)\,T_1 - (oc)\,w_1 - (ob)\,T_2 = 0$$

$$(1)\,T_1 - (0.5)\times 600 - (1)\,T_2 = 0 \quad ....(1)$$

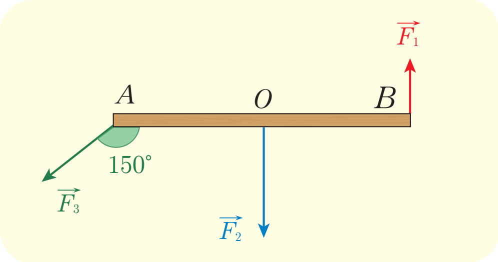
$$T_1 - T_2 = 300 \quad ....(2)$$

بالحل المشترك للمعادلتين (1) و(2) نجد:

$$T_1 = 550\ \mathrm{N}$$
$$T_2 = 250\ \mathrm{N}$$

تمرين (1):

ساق متجانسة طولها $1\ \mathrm{m}$ يمكنها الدوران حول محور يمرّ من منتصفها، تؤثّر فيها ثلاثة قوى وفق الشكل المجاور، شدتها: $F_1 = 6\ \mathrm{N}$ ، $F_2 = 10\ \mathrm{N}$ ، $F_3 = 8\ \mathrm{N}$

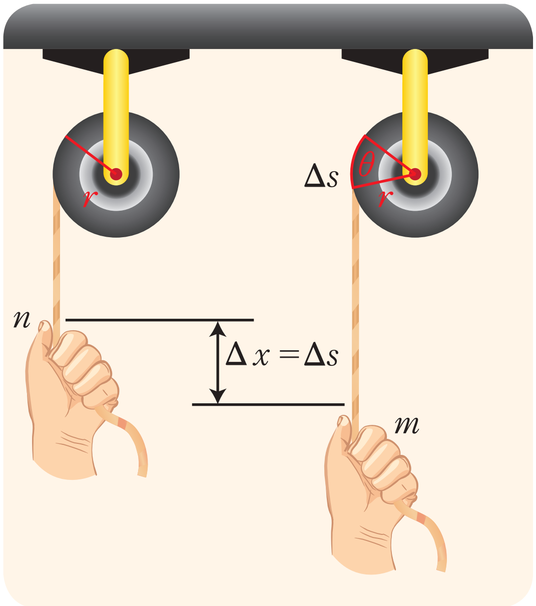


المطلوب:

حدّد ذراع كل قوة، ثمّ احسب عزم كلٍّ من القوى الثلاث.

عمل قوة في الحركة الدورانيّة:

نشاط (1):



1. ألفّ خيطاً على محزّ بكرة نصف قطرها r معلوم يمكنها الدوران بحريّة حول محور يمرّ من مركزها.
2. أشدّ طرف الخيط بقوة $\vec{F}$ بحيث تنتقل نقطة تأثيرها شاقولياً نحو الأسفل مسافة Δs بحيث تدور البكرة زاوية θ معلومة.
3. أقيس طول الجزء من الخيط الذي انفك عن البكرة في أثناء دورانها من النقطة n إلى النقطة m.
4. أحسب الجداء θ . r، ماذا أستنتج؟

أستنتج

أنّ طول الخيط الذي ينفك عن البكرة أثناء دورانها زاوية θ يساوي مقدار انتقال نقطة تأثير القوة Δs وهذا الطول يساوي $\Delta s = r\,\theta$

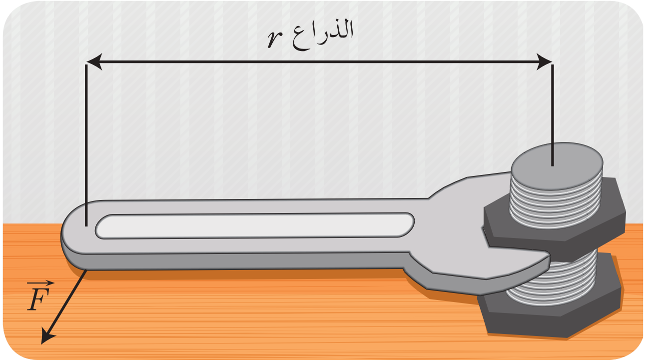
$$W = F\,\Delta s = F\,r\,\theta$$
$$\Gamma = r\,F$$
$$W = \Gamma\,\theta$$

حيث: W العمل المبذول لتدوير البكرة.

Γ : عزم القوة.

θ : زاوية الدوران.

تمرين (2):



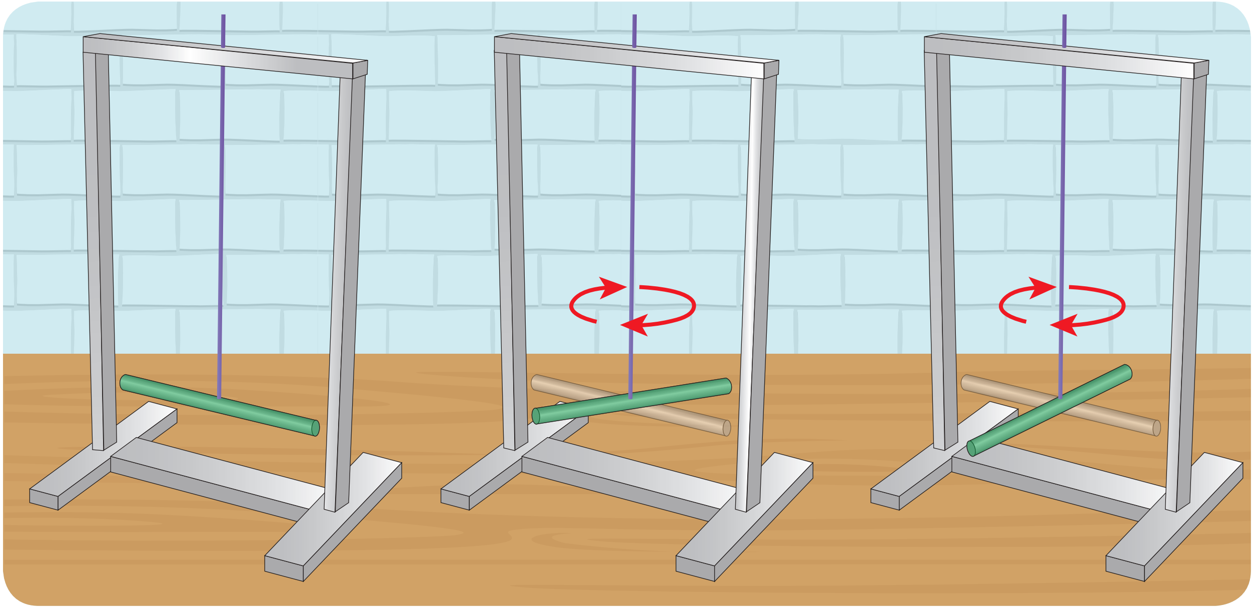
مفتاح صامولة (عزقة) طوله $\frac{6}{\pi}\text{m}$ ، يطبّق على نهايته قوة عمودية شدتها $F = 10\,\text{N}$ ، وفق الشكل المجاور. احسب العمل المبذول من أجل تدويرها بزاوية $45°$.

عزم مزدوجة الفتل:

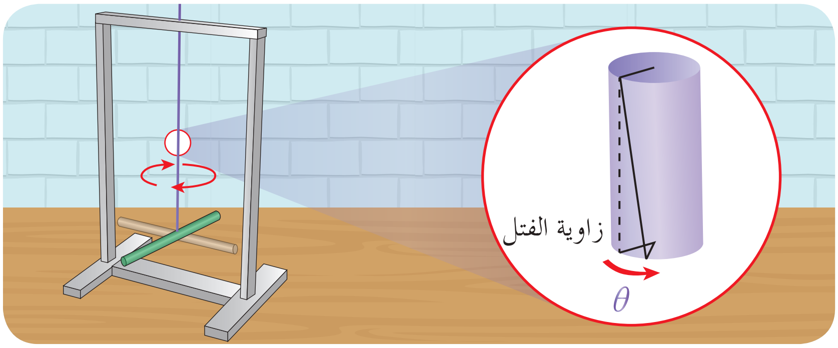
أجرّب وأستنتج:

المواد اللازمة: ساق متجانسة، سلك فتل ثابت فتله k ، قاعدة تثبيت (حامل معدنيّ)، كتل مختلفة قابلة للتثبيت.

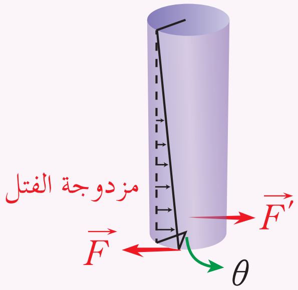
خطوات التجربة:



1. أعلّق الساق من منتصفها بسلك الفتل.
2. أحدّد القوى الخارجية المؤثرة في مركز عطالة الساق، ما عزم كلّ منها؟ ولماذا؟
3. أدير الساق في مستوٍ أفقي حول سلك الفتل بزوايا مختلفة (بعكس جهة دوران عقارب الساعة)، وأتركها من دون سرعة ابتدائيّة، ماذا ألاحظ؟
4. أفسّر سبب دوران الساق بالاتجاه المعاكس، (أي بجهة دوران عقارب الساعة).



أستنتج



- **تنشأ في سلك الفتل مزدوجة فتل $\vec{\eta}$ تعمل على إعادة الساق إلى وضع توازنها.**
- **يتناسب عزم مزدوجة الفتل $\Gamma_{\vec{\eta}}$ طرداً مع زاوية الفتل θ، ويعاكسها بالإشارة.**
- **علاقة عزم مزدوجة الفتل: $\Gamma_{\vec{\eta}} = -k\theta$.**

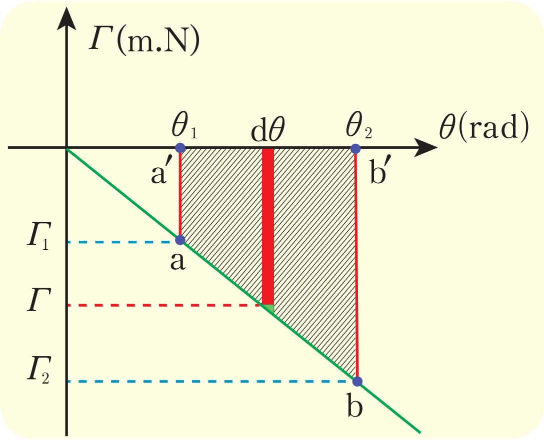
تقويم: أرسم الخطّ البيانيّ لتغيّر $\Gamma_{\vec{\eta}}$ بدلالة زاوية الفتل θ. ماذا ألاحظ؟

عمل مزدوجة الفتل:

عندما ندير الساق في مستوٍ أفقي حول سلك الفتل بزاوية $d\theta$ ينشأ في السلك مزدوجة فتل يمكن اعتبار عزمها $\Gamma_{\vec{\eta}}$ ثابتً فيكون عملها: $dW = \Gamma d\theta$ وهذا العمل يساوي مساحة المستطيل العنصريّ بإهمال مساحة المثلّث الصغير.

وعندما تدور الساق من الزاوية θ_1 إلى الزاوية θ_2 فإنّ عمل مزدوجة الفتل يكون:

$$W = \Sigma dW = \Sigma(\Gamma\, d\theta)$$



أي أنّ عمل مزدوجة الفتل يساوي مساحة شبه المنحرف $(aa'b'b)$ (انظر الشكل المجاور):

$$W = \frac{(\text{القاعدة الصغرى} + \text{القاعدة الكبرى})}{2} \times \text{الارتفاع}$$

$$W = \frac{\Gamma_1 + \Gamma_2}{2} \times (\theta_2 - \theta_1)$$

$$W = \frac{(-k\theta_1 - k\theta_2)}{2} \times (\theta_2 - \theta_1)$$

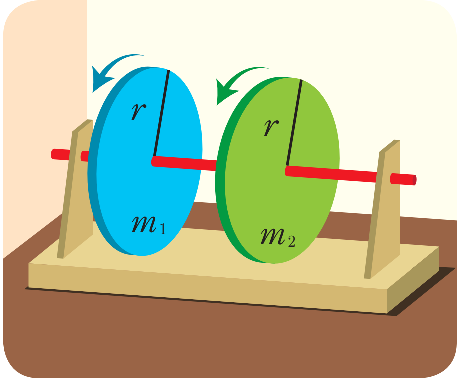
$$W = -\frac{1}{2}k(\theta_2 + \theta_1) \times (\theta_2 - \theta_1)$$

$$W = -\frac{1}{2}k(\theta_2^2 - \theta_1^2)$$

مفهوم عزم العطالة:

تجربة:

أدوات التجربة:



ساق أسطوانية، أقراص مختلفة بالكتلة، متماثلة بالقطر، ومثقوبة من مركزها.

- أدخل الساق في مركز قرصين لتكوّن محور دوران، وفق ما في الشكل.
- أدير كلّ منهما حول الساق بالقوة نفسها.
  - أيّ القرصين تدويره أسهل؟
  - أيّ القرصين يقف عن الدوران أولاً؟

أستنتج

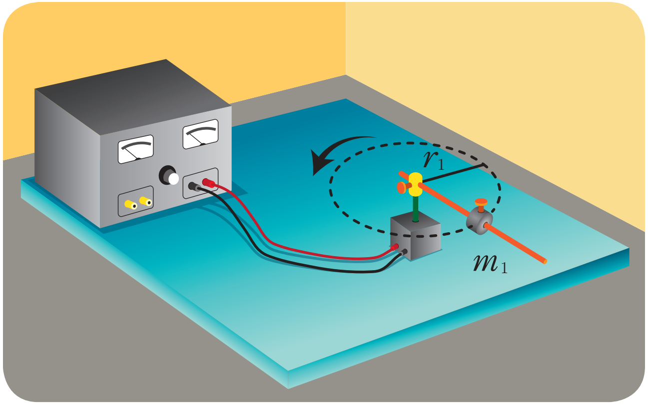
تزداد ممانعة القرص لتغيير سرعته الزاوية بزيادة كتلته، ونعبّر عن ممانعة الجسم لتغيير سرعته الزاوية بمقدار نسميه عزم عطالته I_Δ.

1. عزم عطالة نقطة مادّية:

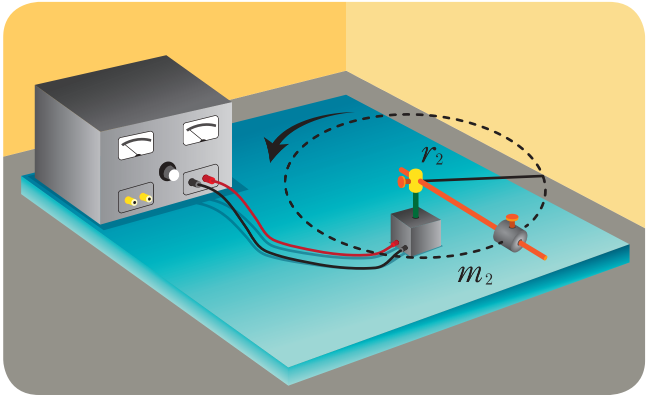
أدوات التجربة:

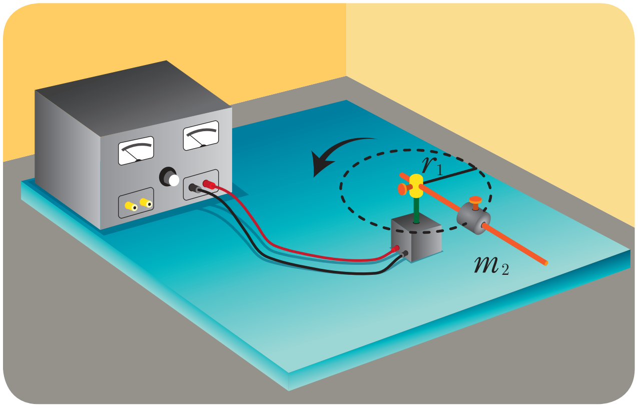
محرّك استطاعته ثابتة، حامل تثبيت، كتل معدنية قابلة للتثبيت.

- أثبّت كتلة m_1 على بُعد r_1 من محور دوران المحرّك، وأجعل المحرّك يدور.

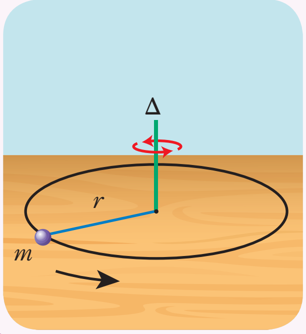


- أستبدل بالكتلة m_1 كتلة جديدة m_2 حيث $m_2 > m_1$ وأثبّتها على بُعد r_1 من محور دوران المحرّك، وأجعل المحرّك يدور.
- أقارن سرعة دوران المحرّك في الحالتين السابقتين.
- أثبّت الكتلة السابقة m_2 على بُعد r_2 من محور دوران المحرّك حيث $r_2 > r_1$.
- أقارن سرعة دوران المحرّك في الحالتين السابقتين.





أستنتج



أنّ عـزم عطالـة نقطـة مادّيـة حـول محـور دوران ثابـت يتناسـب طـرداً مـع كتلـة النقطـة m ومـع مربـع بُعدهـا عـن محـور الـدوران r.

ومـن هنـا نعـرّف عـزم عطالـة نقطـة بالنسـبة لمحـور ثابـت Δ بالعلاقـة:

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

2. عزم عطالة جسم صلب يدور حول محور ثابت Δ:

يتكـوّن الجسـم الصلـب مـن مجموعـة مـن النقـاط المادّيـة $m = m_1 + m_2 + m_3 + ... + m_n$، والتي تبعد عـن محـور الـدوران مسـافات علـى الترتيـب $r_1, r_2, r_3, ..., r_n$، لذلـك فـإنّ عـزم عطالـة الجسـم حـول محـور دوران ثابـت ومـارّ مـن مركـز عطالتـه يسـاوي مجمـوع عـزوم عطالـة جميـع النقـاط المادّيـة المكوّنـة لـه.

$$I_{\Delta/c} = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + ... + m_n r_n^2$$

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

نظرية هايغنز:

كيف يتغيّر عزم عطالة الجسم إذا كان محور دورانه لا يمرّ من مركز عطالته؟

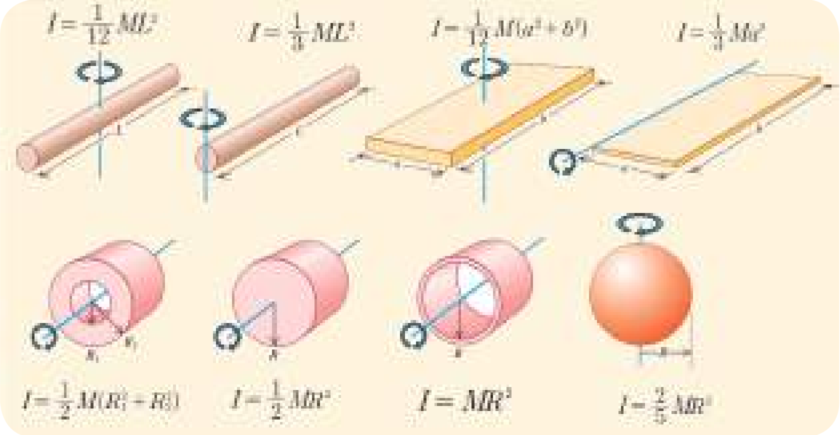
أجاب هايغنز على هذا التساؤل بنظريته التي تنصّ على أنّ:

عـزم العطالـة $I_{\Delta'}$ لجسـم صلـب بالنسـبة الى محـور دوران Δ' لا يمـرّ مـن مركـز عطالتـه يسـاوي عـزم عطالتـه I_Δ حـول محـور دوران Δ يـوازي المحـور Δ'، ويمـرّ مـن مركـز عطالتـه، مضافا إليـه جـداء كتلـة الجسـم m فـي مربـع البُعـد بيـن المحوريـن d ، ويعبّـر عنهـا رياضيـا بالعلاقـة:

$$I_{\Delta'} = I_\Delta + md^2$$

أمثلة:

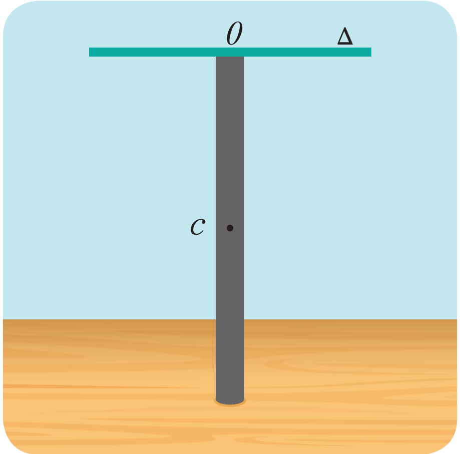
عزوم العطالة لبعض الأجسام المتناظرة والمتجانسة حول محور ثابت Δ مارّ من مركز عطالتها:



تطبيق (3):

استنتج بالرموز العلاقة المحدّدة لعزم عطالة ساق متجانسة طولها $1\,m$، كتلتها $1.2\,kg$ حول محور يمرّ من نهايتها العلوية، وعمودي عليها، إذا علمت أنّ عزم عطالة الساق حول محور مار من منتصفها $I_{\Delta/c}=\frac{1}{12}ml^2$، ثمّ احسب قيمته.

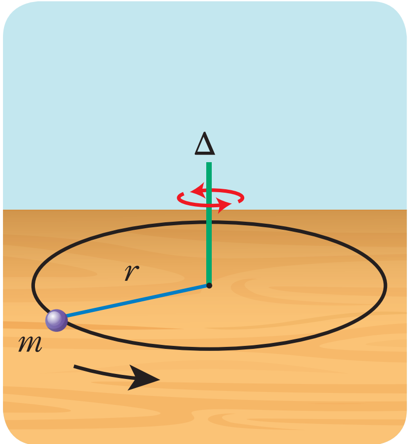
الحل:



$$I_{\Delta/o}=I_{\Delta/c}+md^2$$
$$I_{\Delta/c}=\frac{1}{12}ml^2 \quad , \quad d=\frac{\ell}{2}$$
$$I_{\Delta/o}=\frac{1}{12}ml^2+m\left(\frac{\ell}{2}\right)^2$$
$$I_{\Delta/o}=\frac{1}{12}ml^2+\frac{1}{4}ml^2$$
$$I_{\Delta/o}=\frac{1}{3}ml^2$$
$$I_{\Delta/o}=\frac{1}{3}\times 1.2\times(1)^2$$
$$I_{\Delta/o}=0.4\,kg.m^2$$

العزم الحركيّ لنقطة ماديّة تدور حول محور دوران ثابت:

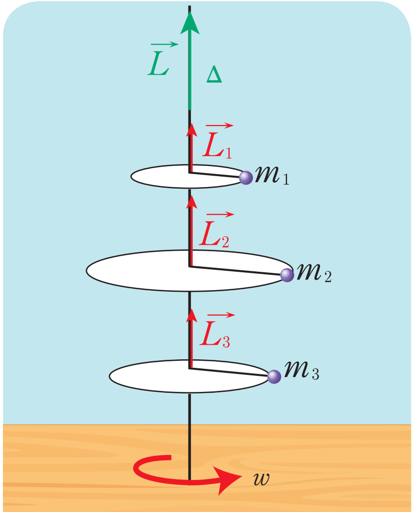
إنّ شعاع العزم الحركيّ $\vec{L}$ لنقطة ماديّة كتلتها m تدور على بُعد ثابت r من محور دوران Δ ثابت عمودي على مستويها هو عزم شعاع كمّية حركتها $\vec{P}$، أيّ:



$$\vec{L}=\vec{r}\wedge\vec{P}$$
$$L=r\,p\sin\frac{\pi}{2}$$
$$L=r\,p$$
$$L=r\,m\,V=r\,m\,\omega\,r$$
$$L=m\,r^2\omega$$
$$L=I_\Delta\,\omega$$

- استنتج واحدة قياس العزم الحركيّ في الجملة الدولية.

1. العزم الحركيّ لجسم صلب:



العزم الحركي لجسم صلب

يمكن إيجاد شعاع العزم الحركيّ لجسم صلب كتلته m يدور حول محور ثابت Δ بأن نجزئ الجسم الصلب إلى نقاط مادية يمكن اعتبار كتلة كلّ منها $m_1, m_2, m_3, ...$ تبعد عن محور الدوران مسافات $r_1, r_2, r_3, ...$ على الترتيب، فيكون شعاع العزم الحركيّ لهذا الجسم يساوي المجموع الشعاعي للعزوم الحركيّة لأجزائه، وبما أنّ الأشعة على حامل واحد وبجهة واحدة يمكننا جمع العزوم الحركيّة سلمياً، أيّ:

$$L=L_1+L_2+..............$$
$$L=m_1r_1^2\omega+m_2r_2^2\omega+..............$$
$$L=(m_1r_1^2+m_2r_2^2+..............)\,\omega$$
$$L=\left(\sum_{i=1}^{n}m_ir_i^2\right)\omega$$
$$L=I_\Delta\,\omega$$

نتيجة:

إنّ العزم الحركيّ لجسم صلب يدور حول محور Δ ثابت يساوي جداء عزم عطالته حول ذلك المحور في سرعته الزاوية حول المحور نفسه.

2. شعاع عزم الدفع وتغيّر العزم الحركيّ:

وجدنا أنّ:

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

نشتق هذه العلاقة بالنسبة للزمن:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt} \wedge \vec{P} + \vec{r} \wedge \frac{d\vec{P}}{dt}$$

لكن:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} \wedge \vec{P} = \vec{v} \wedge m\vec{v} = \vec{0}$$

$$\vec{r} \wedge \frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{r} \wedge m\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{r} \wedge m\vec{a} = \vec{r} \wedge \vec{F} = \vec{\Gamma}$$

و بالتعويض نجد أنّ:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\Gamma}$$

ومن أجل فاصل زمني Δt يكون:

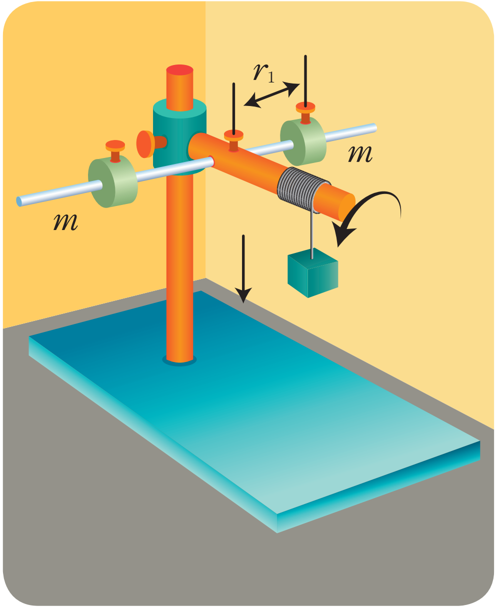
$$\Sigma\vec{\Gamma}_{\Delta} = \frac{\Delta\vec{L}}{\Delta t}$$

$\Sigma\vec{\Gamma}_{\Delta}\,\Delta t = \Delta\vec{L}$ وهذا ما يسمى شعاع عزم الدفع.

نظرية التسارع الزاوي:

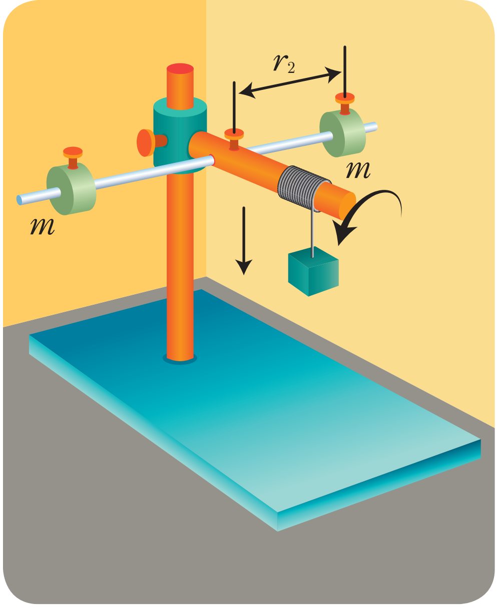
الحالة الأولى:

نثبّت على ساق أفقية جسمين كتلة كل منهما m على البعد نفسه r_1 من محور الدوران وفق ما في الشكل المجاور، ويمكن للساق أن تدور بدوران ملفاف بتأثير العزم الثابت لقوة توتر الخيط نتيجة هبوط الجسم المعلّق بالخيط مسافة محدّدة $10\,cm$ مثلاً بدءاً من السكون.



ألاحظ تغيّر السّرعة الزاوية للجسمين (التسارع الزاوي)

الحالة الثانية:



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

ألاحظ تغيّر السّرعة الزاويّة للجسمين في هذه الحالة.

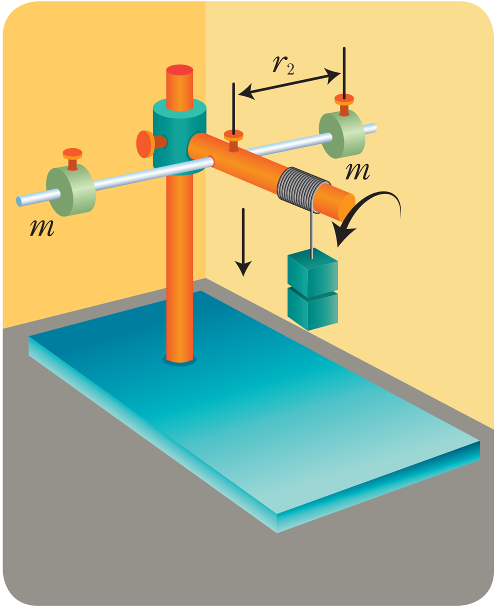
ماذا تستنتج؟

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

نتيجة:

عند تطبيق عزم ثابت على جملة مادية يمكنها الدوران فإنّ التسارع الزاوي يتناسب عكساً مع عزم عطالة الجملة

الحالة الثالثة



أكرّر التّجربة السابقة بعد إضافة جسم 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.

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، كما يمكننا التحقّق من ذلك بالاستنتاج الرياضي، وتنصّ هذه النظريّة على أنّه:

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، يعبّر عن نظريّة التسارع الزّاوي بالعلاقة:

$$\overline{\Sigma\Gamma} = I_{\Delta}\overline{\alpha}$$

استنتاج القانون المعبّر عن نظريّة التسارع الزاوي:

وجدنا أنّ:

$$\overrightarrow{\Gamma_\Delta} = \frac{\Delta\overrightarrow{L}}{\Delta t}$$

$$\overrightarrow{L} = I_\Delta \overrightarrow{\omega}$$

$$\overrightarrow{\Gamma_\Delta} = I_\Delta \frac{d\overrightarrow{\omega}}{dt}$$

$$\overrightarrow{\Gamma_\Delta} = I_\Delta \overrightarrow{\alpha}$$

التي تكتب جبرياً:

$$\Sigma\overline{\Gamma} = I_\Delta \overline{\alpha}$$

تطبيق (4):

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

1. احسب نصف قطر القرص إذا كان عزم عطالته حول محور الدوران يعطى بالعلاقة: $I_\Delta = \frac{1}{2}\text{mr}^2$
2. احسب العزم المحصّل للقوى الخارجيّة.
3. احسب تغيّر العزم الحركيّ للقرص خلال الفترة الزمنية السابقة.

الحل:

1. حساب نصف قطر القرص:

$$I_\Delta = \frac{1}{2}\text{mr}^2$$

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

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

2. حساب العزم المحصل:

$$\Sigma\overline{\Gamma} = I_\Delta \overline{\alpha}$$

$$\Sigma\overline{\Gamma} = 2\times10^{-3}\times2 = 4\times10^{-3}\text{m.N}$$

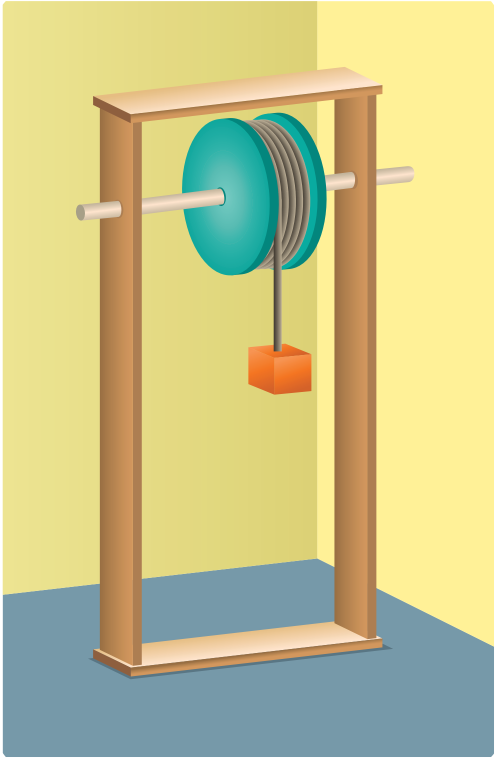
3. حساب تغير العزم الحركيّ:

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

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

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

تطبيق (5):



أعلّق جسم كتلته $2\,\text{kg}$ بحبل ملفوف على بكرة كتلتها $10\,\text{kg}$ ونصف قطرها $30\,\text{cm}$ والمطلوب حساب:

1. التسارع الزاوي للبكرة

2. المسافة التي يقطعها الجسم خلال $4\,\text{s}$ من بدء الحركة.

أطبّق العلاقة الأساسية في التحريك الانسحابي:

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$$
$$\vec{w} + \vec{T} = m\vec{a}$$

بالإسقاط: وفق محور شاقولي يتجه للأسفل (له حامل وجهته $\vec{\omega}$)

$$w - T = ma$$
$$20 - T = 2a$$
$$T = 20 - 2a = 20 - 2r\alpha$$

أطبّق العلاقة الأساسية في التحريك الدوراني:

$$\Sigma\overline{\Gamma_{\Delta}} = I_{\Delta}\overline{\alpha}$$
$$\overline{\Gamma_{\vec{T}_2}} + \overline{\Gamma_{\vec{w}_2}} = T_{\Delta}\overline{\alpha}$$

$\overline{\Gamma_{m_2}} = 0$ لأن حامل $\vec{w}_2$ يمرمن محور الدوران

$$\overline{\Gamma_{T}} = I_{\Delta}\overline{\alpha}$$
$$Tr = mr^2\alpha$$
$$20 - 2r\alpha \quad mr\alpha$$
$$20 - 2 \times 0.3\alpha = 10 \times 0.3\alpha$$
$$20 = (0.6 + 3)\alpha$$
$$\alpha = \frac{20}{0.6 + 3} = 5.5\,\text{rad.s}^{-1}$$
$$a = \alpha . r = 5.5 \times 0.3^{-1} = 1.65\,\text{m.s}^{-2}$$

$a = \text{Cons}^{t}$ الحركة مستقيمة متغيرة بانتظام

المسافة التي يقطعها الجسم خلال $4\,\text{s}$

$$x = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times 1.65 \times 16 = 4.4\text{m}$$

تعلَّمتُ

- عزم القوة: هو الفعل التدويري للقوة في الجسم الصلب ويعطى بالعلاقة $\Gamma = dF$
- ذراع القوة: هو المسافة العمودية بين حامل القوة و محور الدوران.
- العمل في الحركة الدورانيّة يعطى بالعلاقة: $W = \Gamma\theta$
- عزم مزدوجة الفتل يعطى بالعلاقة: $\overline{\Gamma} = -\mathrm{k}\overline{\theta}$.
- عمل مزدوجة الفتل يعطى بالعلاقة: $W = -\frac{1}{2}\mathrm{k}(\theta^2 - \theta_0^2)$
- عزم عطالة جسم يعبّر عن ممانعة الجسم لتغيير سرعته الزاوية، ويرمز له بالرمز I_Δ.
- يتعلق عزم العطالة بعوامل هي:
  1. كتلة الجسم.
  2. مربع بُعد الجسم عن محور الدوران.
  3. شكل الجسم
- عزم عطالة نقطة مادية هو جداء كتلة النقطة المادية في مربع بُعدها عن محور الدوران. يعطى بالقانون: $I_\Delta = mr^2$.
- نظرية هايغنز: انّ عزم العطالة $I_{\Delta'}$ لجسم صلب بالنسبة إلى محور Δ' لا يمر من مركز عطالته يساوي عزم عطالة الجسم I_Δ بالنسبة إلى محور Δ يوازي المحور Δ' ويمر من مركز عطالته مضافا إليه جداء كتلة الجسم m في مربع البعد بين المحورين d ويعبر عنها رياضيّا بالعلاقة: $I_{\Delta'} = I_\Delta + md^2$.
- العزم الحركيّ لجسم صلب يدور حول محور Δ ثابت يساوي جداء عزم عطالته حول ذلك المحور في سرعته الزاوية حول المحور نفسه $L = I_\Delta\omega$.
- نسمّي المقدار الشعاعي $\Sigma\overrightarrow{\Gamma}_\Delta.\Delta t$ بشعاع عزم الدفع.
- إن معدل تغيّر شعاع العزم الحركيّ خلال فاصل زمني Δt يساوي شعاع العزم المحصّل للقوى الخارجية المؤثرة في الجسم الصلب.
- في الحركة الدورانيّة حول محور دوران ثابت ترتبط محصلة عزوم القوى المؤثرة في الجسم الصلب بالتسارع الزاوي لهذا الجسم من خلال العلاقة التي تكتب جبرياً: $\Sigma\overline{\Gamma}_\Delta = I_\Delta\overline{\alpha}$

أختبر نفسي

أولا: املأ الفراغات التالية بالمصطلح العلمي المناسب:

1. الفعل التدويري للقوة في الجسم الصلب هو ---------------
2. المسافة العمودية بين حامل القوة و محور الدوران هو ---------------
3. القوتان المتعاكستان جهةً ومتوازيتان حاملاً ومتساويتان شدةً هما ---------------
4. ممانعة الجسم الصلب لتغيير سرعة دورانه هو ---------------

ثانياً: اختر الإجابة الصحيحة:

1. عزم عطالة ساق متجانسة كتلتها m ، طولها L حول محور دوران يمر من طرفها العلوي يعطى بالعلاقة:

a. $\frac{mL^2}{12}$ b. $\frac{mL^2}{4}$ c. $\frac{mL^2}{3}$ d. $\frac{mL^2}{2}$

2. عزم عطالة قرص متجانس حول محور دوران يمر من نقطة من محيطه يعطى بالعلاقة:

a. $\frac{mr^2}{12}$ b. $\frac{mr^2}{4}$ c. $\frac{mr^2}{3}$ d. $\frac{3}{2}mr^2$

3. عمل مزدوجة الفتل يعطى بالعلاقة التالية:

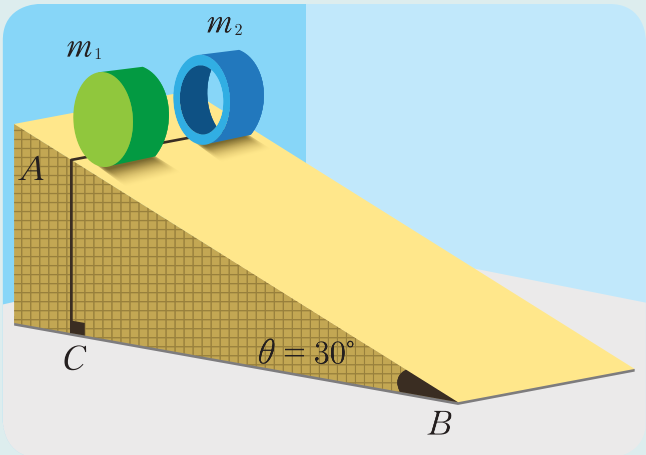
a. $W=-\frac{1}{2}k\theta$ b. $W=-k\theta^2$ c. $W=\frac{1}{2}k\theta^2$ d. $W=-\frac{1}{2}k\theta^2$

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

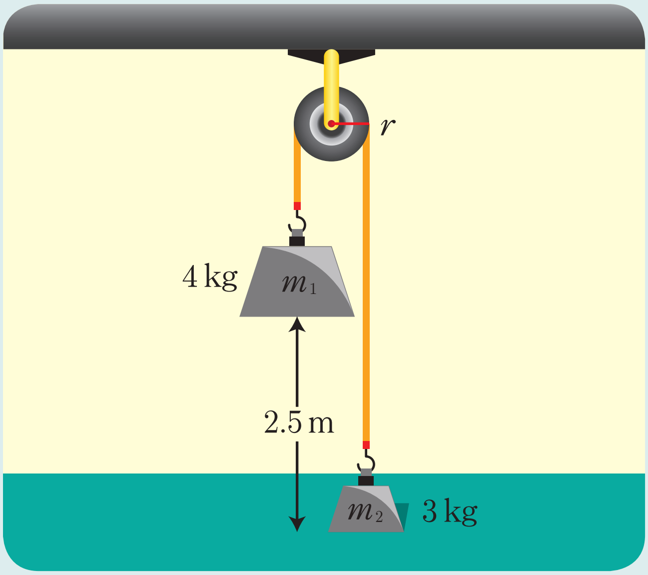
مستو مائل بزاوية $\theta = 30^\circ$ تتوضّع عليه إسطوانتان لهما نصف القطر نفسه r إحداهما مصمتة وكتلتها m_1 وعزم عطالتها حول محورها $I_1 = \frac{1}{2}m_1r^2$ والثانية فارغة على هيئة حلقة كتلتها m_2 وعزم عطالتها حول محورها $I_2 = m_2r^2$ حيث $m_1 > m_2$ بيّن أيّ الإسطوانتين ستصل أولاً لنهاية المستوي عندما نتركهما لتتدحرجا دون أنزلاق في اللحظة نفسها ومن الارتفاع نفسه.

(توجيه: قارن بين v_1 و v_2)



المسألة الثانية:

تتألّف ماكنة أتود من بكرة نصف قطرها $r = 10\,cm$ كتلتها $1\,kg$ يمرّ على محزّ البكرة خيط مهمل الكتلة لا يمتط، ولا ينزلق على محيطها، عُلِّقَ في كلّ من نهايتيه على الترتيب الكتلتان $m_1 = 4\,kg$، $m_2 = 3\,kg$ تبدأ الجملة حركتها من السكون.



المطلوب:

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

2- احسب التسارع الزّاوي للبكرة.

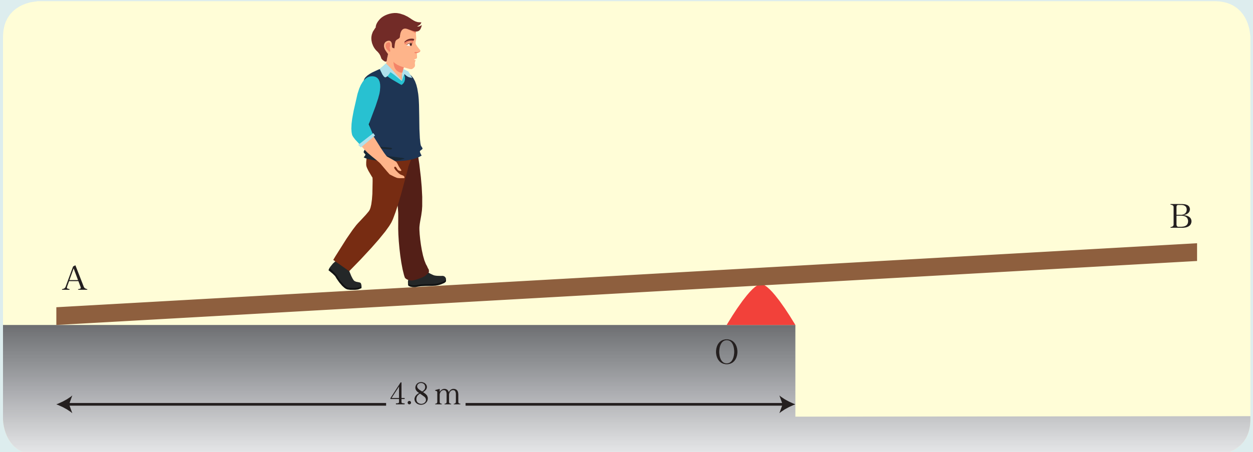
3- احسب قوة توتر الخيط (شدّ الخيط).

4- احسب سرعة الكتلة m_1 لحظة وصولها الأرض.

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

المسألة الثالثة:

يبدأ شخص كتلته $m_1 = 60\,kg$ بالسير على لوح خشبي طوله $L = 7.2\,m$ وكتلته $m_2 = 24\,kg$ منطلقاً من النقطة A وصولا للنقطة O كما هو موضّح بالشكل:

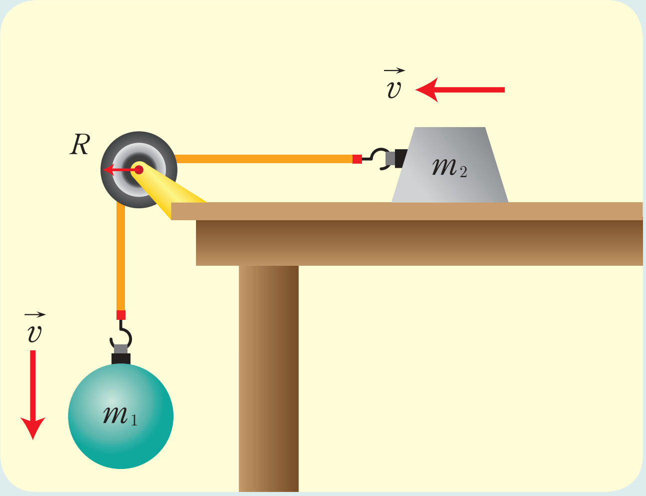


المطلوب:

احسب أبعد مسافة عن النقطة O يستطيع الوصول إليها بحيث يبقى اللوح الخشبيّ متوازناً؟

المسألة الرابعة:

تتحرّك الكتلة m_2 بدءاً من السكون على سطح طاولة دون احتكاك بتأثير هبوط الكرة m_1 نحو الأسفل، حيث ترتبط الكتلتان بخيط مهمل الكتلة لا يمتط يمر على محزّ بكرة كتلتها M ونصف قطرها R.



والمطلوب:

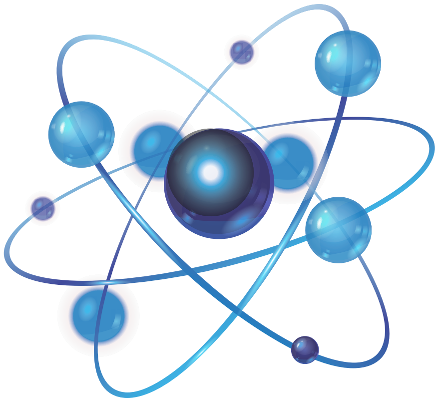
استنتاج التسارع الخطي للجملة علماً أن عزم عطالة البكرة حول محور مار من مركزها يساوي $I_{\Delta/c} = M R^2$

تفكير ناقد

عند قطع التيار الكهربائي عن مروحة فإنها لا تقف مباشرةً بل تتباطأ حتى تقف، فسّر ذلك.

أبحث أكثر

اعتماداً على الحركة الدورانية تقوم الغسالات الحديثة بتنظيف و تجفيف الملابس، ابحث في الشابكة أو في مكتبتك المدرسية عن كيفية زيادة سرعة تجفيف الملابس.



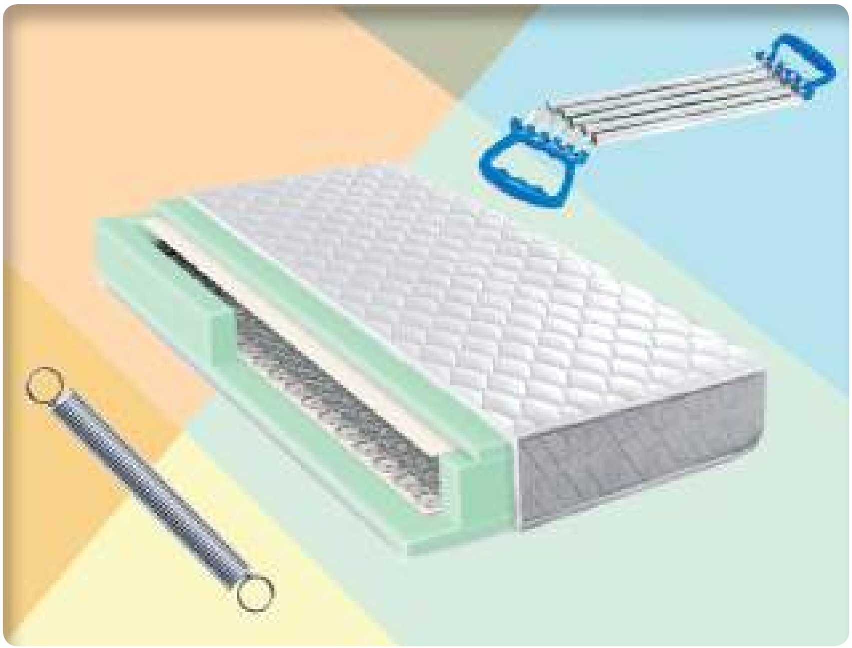
5 قوّة توتّر النابض

الأهداف:

* يعَرّف الجسم المرن.
* يكتب قانون هوك.
* يوضّح بيانياً العلاقة بين التوتر والاستطالة.
* يستنتج علاقة عمل قوّة توتر النابض.
* يستنتج علاقة الطّاقة الكامنة المرونية للنابض.

الكلمات المفتاحية:

* نابض مرن
* المرونة
* ثابت صلابة نابض
* قوة توتّر نابض
* عمل قوة التوتّر
* الطاقة الكامنة المرونية



يزوّد الفراش الطبي بنوابض لتحقّق الغاية منها وتؤمن نوماً صحيّاً للإنسان، وكذلك بعض الأجهزة الرياضية تعتمد على النوابض في عملها، كما تُزوّد السيّارات والدراجات بأنوّاعها بمخمّدات تصادم /نوابض/ كعامل أمانّ عند اجتياز المطبات والحفر، وكذلك تستخدم النوابض بين عربات القطار.

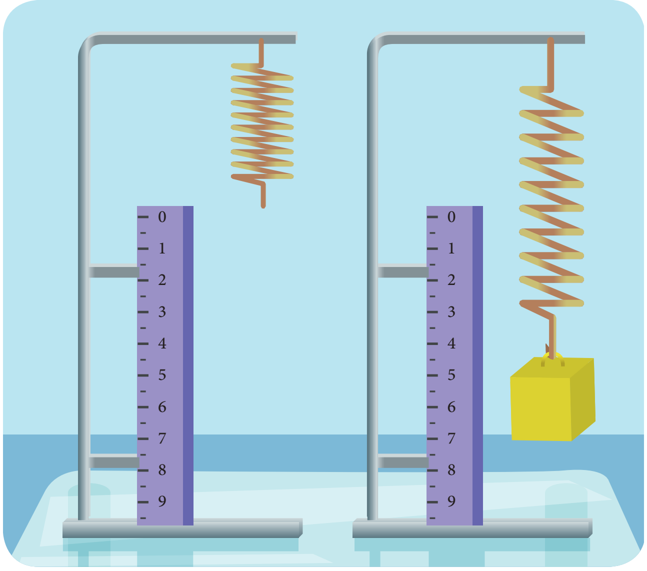
فما هو عمل النابض؟

الجسم المرن:

أجرب وأستنتج:

لإجراء التّجربة احتاج إلى: نابض مرن مهمل الكتلة حلقاته متباعدة – صنجات مختلفة – مسطرة فولاذيّة – حاملين معدنيّين.

خطوات التجربة:



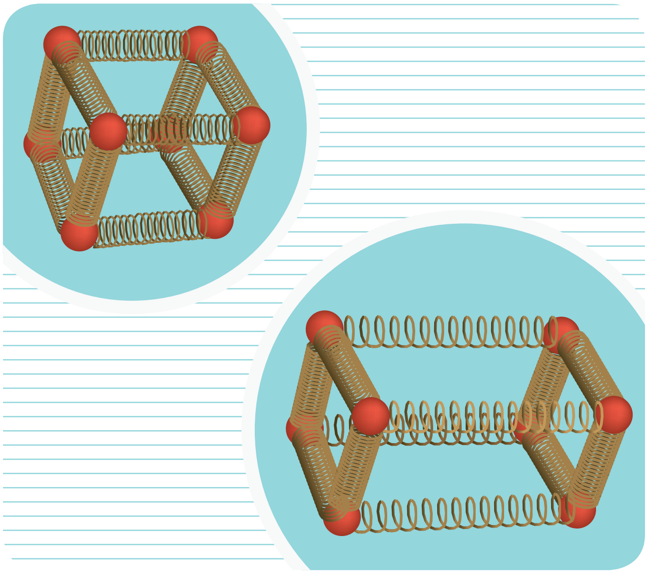
- أثبّتُ النابض من نهايته العُلْويّة إلى الحامل المعدني واتركه يتدلى شاقولياً، هل يستطيل النابض؟ ما القوى الخارجيّة المؤثرة عليه؟
- أعلّقُ في الطرف السفلي للنابض كتلة مناسبة، ماذا ألاحظ؟ وما القوى الخارجيّة المؤثرة في الجسم.
- إنزِعُ الكتلة ماذا ألاحظ؟ هل هناك قوى خارجية مؤثرة عليه؟
- أتساءل هل يعود النابض إلى شكله الأصليّ إذا علقت فيه كتلة كبيرة نسبياً؟

أستنتج

الجسم المرن: هو كلّ جسم يتغيّر شكله تغيّراً موقتاً بتأثير قوّة خارجية في هدوء مرونة الجسم ويزول هذا التغيّر بزوال القوّة الخارجيّة المؤثرة فيعود الجسم إلى شكله الأصليّ.

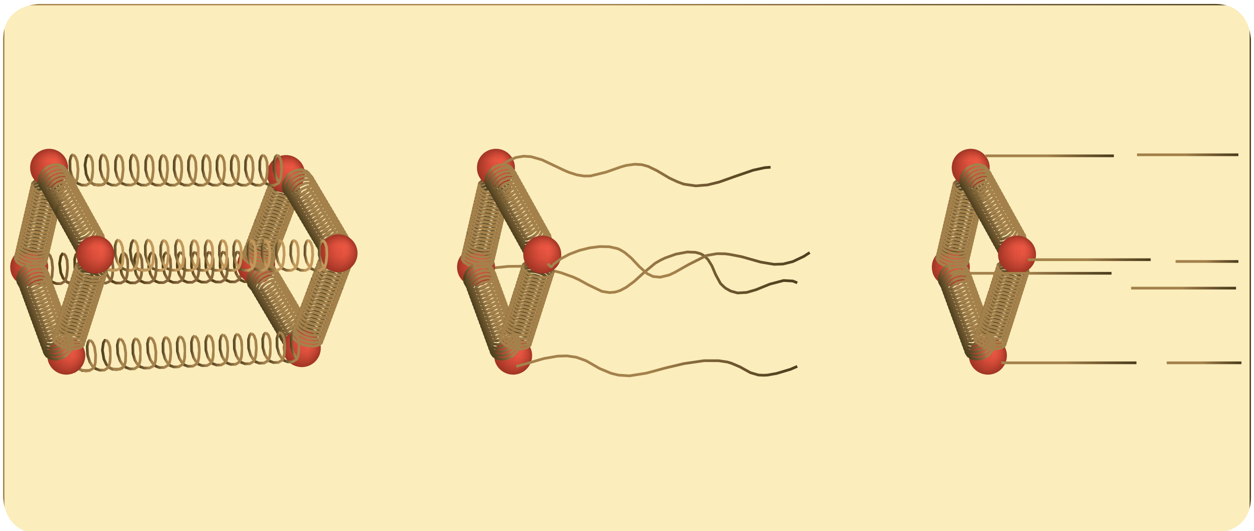
كيف نفسرّ ظاهرة المرونة؟

تذكّر: إنّ المادّة مكوّنة من أجزاء متناهية في الصغر تسمّى **الذرات**.



- إنّ ذرّات المادّة الصلبة مترابطة ومستقرّة على أبعاد معينة بسبب قوى الجذب فيما بينها.
- عندما تؤثّر على الجسم المرن قوى شدّ خارجية فإنّها تؤثّر على الذرات، وتعمل قوى الشدّ عكس قوى الجذب مما يجعل الذرّات تبتعد بعضها عن بعض قليلاً وهذا يسبب زيادة طول الجسم المرن.
- عند إزالة القوى الخارجيّة المؤثّرة فإنّ الذرات تعود إلى حالة استقرارها بسبب قوى الجذب بينها.

- إذا كانّت قوى الشد الخارجيّة كبيرة بحيث تتغلّب على قوى الجذب بين الذرات فإنّ الذرات تأخذ مواضع استقرار جديدة ولا تعود إلى مواضعها الابتدائية، ويكون الجسم بذلك قد تعدى **حدّ المرونة**.
- إذا ازدادت هذه القوى إلى حدٍّ معيّنٍ تتحطم الروابط بين الذرات ممّا يسبّب تشوّه الجسم، وبالتالي يفقد الجسم مرونته.



ثابت صلابة نابض :

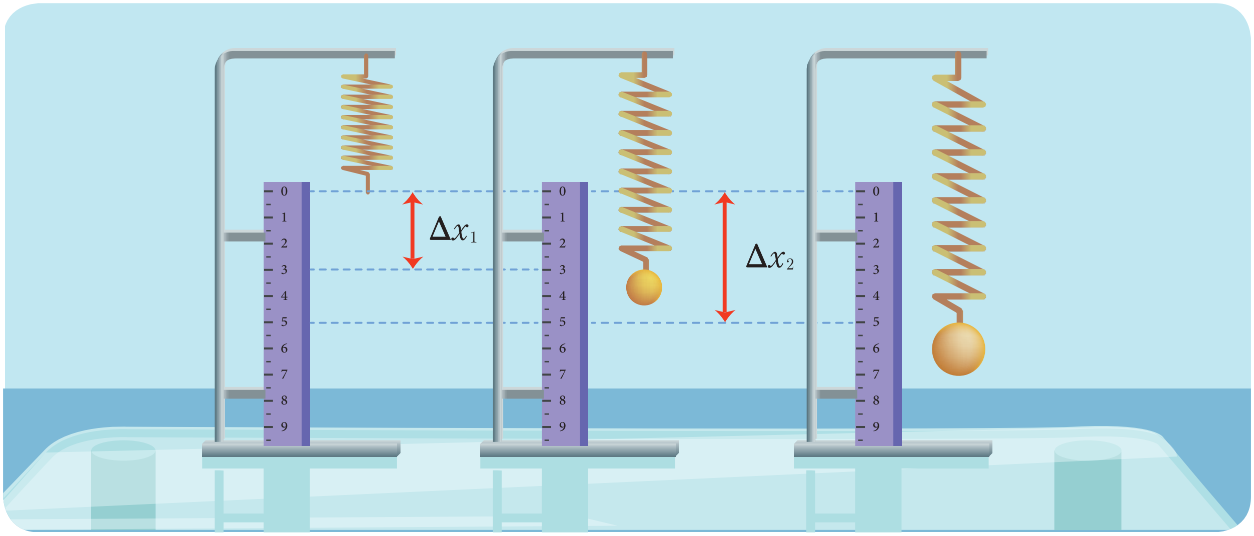
أجرب واستنتج:

لأجراء التجربة احتاج إلى:

نابض مرن مهمل الكتلة – حامل معدني – مسطرة مدرجة – صنجات مختلفة بكتلها.

خطوات التجربة:

1. أعلّق نابض طوله الأصلي l_0 من أحد طرفيه بالحامل المعدني، وأتركه يتدلى شاقولياً.
2. أعلّق كتلة m_1 في نهاية النابض، وأسجّل مقدار استطالة النابض x_1 بعد توازن الجسم.
3. أحسب النسبة $\frac{m_1 g}{x_1}$.



4. أكرّر التجربة من أجل كتل مختلفة، وأسجّل النتائج في جدول كالآتي:

$m\,(\mathrm{kg})$				
$F = w = mg\,(\mathrm{N})$				
$x\,(\mathrm{m})$				
$\frac{F}{x}\,(\mathrm{N.m^{-1}})$				

هل النسبة $\frac{F}{x}$ ثابتة؟ أقارن النتائج السّابقة ماذا ألاحظ؟
ارسم الخط البيانّي المعبّر عن تغيّر F بدلالة x، واحسب ميله.
ماذا تستنتج ممّا سبق.

5. أكرّر التجربة من أجل نابض آخر، وأسجل النتائج، ماذا ألاحظ؟

أستنتج

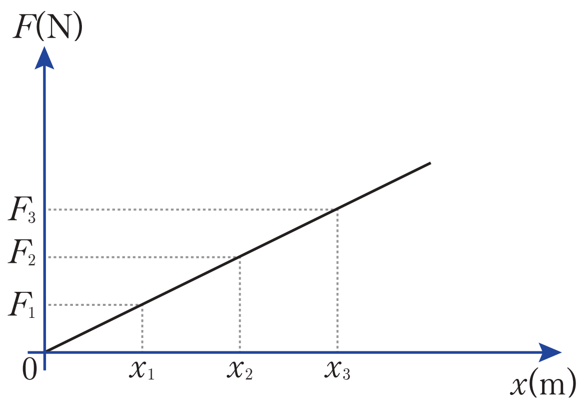
- إنّ نسبة شدّة القوّة المسببة لاستطالة النابض إلى مقدار الاستطالة هي نسبة ثابتة، ندعوها ثابت صلابة النابض k.

$$\frac{F}{x} = k$$

- لكل نابض ثابت صلابة يميّزه عن النوابض الأخرى، أي تتغيّر قيمته من نابض إلى آخر مختلف عنه.

قانون هوك:

إنّ تغيّر طول الجسم المرن (النابض) ضمن حدود مرونته، يتناسب طرداً مع شدّة القوّة المسببة لهذا التغيّر.
نعبر عن قانون هوك بالعلاقة: $\overline{F} = k\overline{x}$
حيث k: ثابت صلابة النابض ويقاس في جملة الوحدات الدولية $\mathrm{N.m^{-1}}$
F: شدّة القوّة المؤثرة في النابض وتقاس بالنيوتن N.
x: التغيّر في طول النابض ويقاس بالمتر m
وتكون:
$x > 0$: إذا استطال النابض.
$x < 0$: إذا إنضغط النابض.
عند رسم الخط البيانّي لتغيّرات الاستطالة بتغيّر شدّة القوّة المؤثرة نحصل على مستقيم يمر من المبدأ ميله يمثل النسبة $\frac{F}{x}$ وهي ثابت صلابة النابض.



إثراء:

تتعلق قيمة ثابت صلابة النابض k بعض العوامل فيها :

1. نوع المادّة التي صنع منها.
2. طوله.
3. عدد حلقاته.
4. نصف قطر الحلقة.

تطبيق (1):

يبلغ طول نابض 20 cm عندما تؤثّر عليه قوّة شدّتها 5 N وعندما تؤثر عليه قوّة شدتها 8 N يصبح طوله 26 cm.

المطلوب حساب:

1. الطول الأصليّ للنابض.

$$l_1 = 20\,\text{cm} = 0.2\,\text{m} \qquad F_1 = 5\,\text{N}$$
$$l_2 = 26\,\text{cm} = 0.26\,\text{m} \qquad F_2 = 8\,\text{N}$$
$$l_0 = ?$$
$$\text{k} = \frac{F_1}{x_1} = \frac{F_2}{x_2}$$
$$\frac{F_1}{l_1 - l_0} = \frac{F_2}{l_2 - l_0}$$
$$\frac{5}{0.2 - l_0} = \frac{8}{0.26 - l_0}$$
$$1.3 - 5l_0 = 1.6 - 8l_0$$
$$3l_0 = 0.3$$
$$l_0 = \frac{0.3}{3} = 0.1\,\text{m}$$

2. قيمة ثابت صلابة النابض.

$$k = \frac{F_1}{x_1} = \frac{F_1}{L_1 - L_0} = \frac{5}{0.1} = 50\,\text{N.m}^{-1}$$

3. شدّة القوّة التي تسبب استطالة 0.2 m.

$$F = kx = 50 \times 0.2 = 10\,\text{N}$$

تطبيق (2):

تستخدم النوابض في السيارات لامتصاص الصدمات فإذا كانّت كتلة السيارة 2000 kg وثابت صلابة كل نابض $4000\,\text{N.m}^{-1}$.

المطلوب:

1. حساب ثقل السيارة.
2. حساب مقدار انضغاط كلّ نابض إذا تأثر بربع ثقل السيارة.

الحل:

1. حساب ثقل السيارة باعتبار $g = 10\,\text{m.s}^{-2}$

$$w = mg$$
$$w = 2000 \times 10$$
$$w = 20000\,\text{N}$$

2. حساب مقدار انضغاط كلّ نابض:

$$w' = \frac{w}{4} = \frac{20000}{4} = 5000\,\text{N}$$

$$w' = F = kx$$
$$x = \frac{w'}{k} = \frac{5000}{40000}$$
$$x = \frac{1}{8} = 0.125\,\text{m}$$

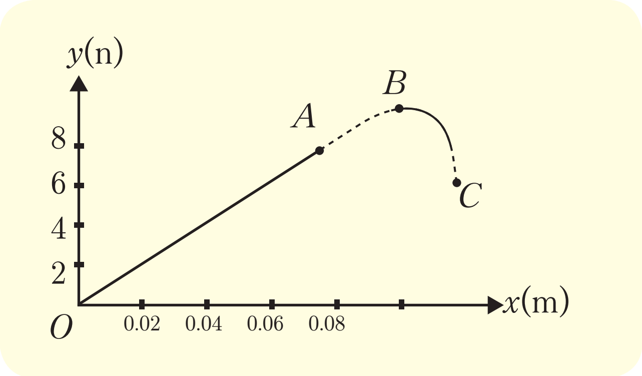
بما أنّ النابض ينضغط فإنّ تغيّر طول النابض: $\Delta x = -0.125\,\text{m}$

تطبيق (3):

تؤثّر قوّة F متغيّرة على نابض مرن حيث يعبّر الرسم البيانّي الآتي عن تغيّرات F بدلالة x.

المطلوب:

1. احسب قيمة ثابت صلابة النابض.
2. احسب شدّة القوّة المسببة لاستطالة قيمتها $0.04\,\text{m}$.
3. حدّد المجال الذي يتحقق ضمنه قانون هوك.
4. ماذا نسمّي النقطة A.
5. هل يعود النابض إلى شكله وحجمه الأصليّين عند النقطة B.
6. ماذا نسمّي النقطة C.



الحل:

1. إنّ ميل المستقيم OA يمثّل قيمة ثابت صلابة النابض.

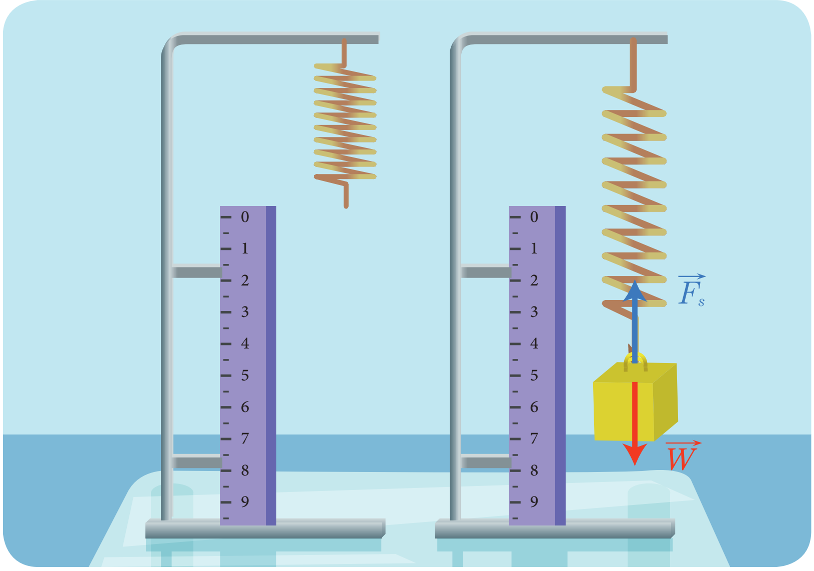
$$k = \frac{F}{x} = \frac{2}{0.02} = 100\,\text{N.m}^{-1}$$

2. $F = kx = 100 \times 0.04 = 400\,\text{N}$
3. إنّ قانون هوك محقق فقط على المستقيم OA لإنّ: $F = kx$ فهي معادلة مستقيم يمر من المبدأ.
4. نسمي النقطة A نقطة حدّ المرونة.
5. لا يعود النابض عن النقطة B إلى شكله الأصلي لأنّه فقد مرونته.
6. نقطة الكسر حيث ينقطع النابض.

قوّة توتّر النابض:

ألاحظ ثمّ أجيب في الشكل جانباً:

- ما سبّب استطالة النابض؟
- ما سبّب توازن الجسم؟



نتيجة:

تتولّد قوّة توتّر النابض عندما يتغيّر طول النابض عن طوله الأصليّ, وهي قوّة مرونة تعيد النابض إلى طوله الأصليّ عندما تزول القوّة الخارجيّة المسبّبة للتغيّر في طول النابض.

أستنتج

عندما نعلّق جسماً ثقله w في الطرف الحرّ لنابض فإنّه يسبّب استطالة x:

$$F = w = kx$$

حسب مبدأ الفعل ورد الفعل (القانون الثالث لنيوتن) فإنّ النابض يؤثّر على الجسم بقوّة $\vec{F}_s$ ندعوها قوّة توتّر النابض.

عند توازن الجسم:

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

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

$$\vec{F}_s = -\vec{F} = -k\vec{x}$$

تدلّ الإشارة السالبة على أنّه للقوّتين حامل واحدّ وبجهتين متعاكستين، ولهما الشدّة ذاتها.

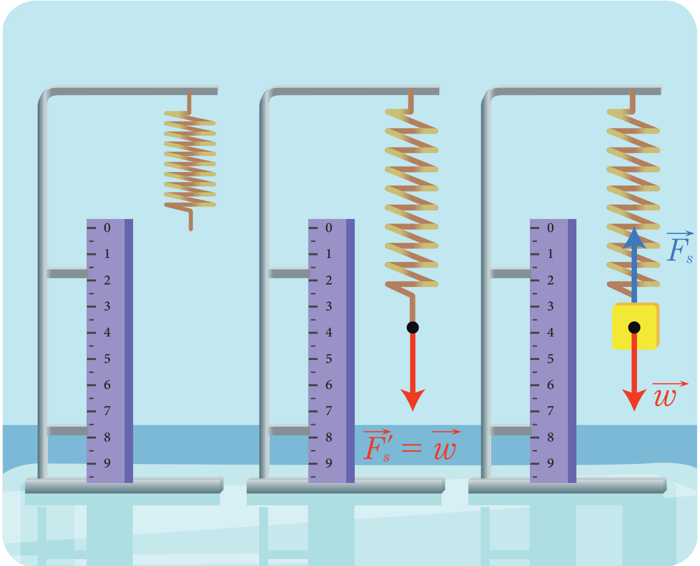
فتصبح العلاقة بالشّكل الجبريّ: $\overline{F_s} = -\overline{F} = -k\overline{x}$

تطبيق (4):

يعلّق جسمٌ كتلته $100\,g$ في الطرف الحر لنابض مرن شاقولي مهمل الكتلة حلقاته متباعدة ثابت صلابته $k = 100\,N.m^{-1}$ فيستطيل النابض ويتوازن الجسم.

المطلوب:

1. استنتج بالرمز العلاقة المحدّدة لاستطالة النابض عند توازن الجسم المعلّق واحسب قيمتها.
2. احسب شدّة القوّة المسببّة لاستطالة النابض.



الحل:

$m = 0.1\,k.g$ ، $k = 100\,N.m^{-1}$

1. استنتاج استطالة النابض:

القوى الخارجيّة المؤثرة.

$\vec{w}$: ثقل الجسم.

$\vec{F_s}$: قوّة توتّر النابض.

بسبب توازن الجسم

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

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

بالإسقاط على محور شاقوليّ موجّه نحو الأسفل $\overrightarrow{xx'}$:

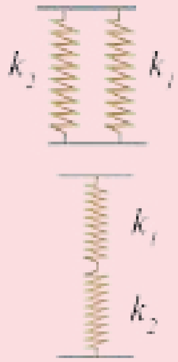
$$\vec{w} - F_s = 0$$

$$\vec{w} = F_s$$

$$mg = kx$$

$$x = \frac{mg}{k} = \frac{0.1 \times 10}{100} = \frac{1}{100} = 0.01\,m$$

إضاءة



- إنّ ثابت صلابة النابض المكافئ لنابضين متصلين محوراهما متوازيان

$$k = k_1 + k_2$$

- إنّ ثابت صلابة النابض المكافئ لنابضين متصلين لهما المحور ذاته.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

سؤال: أبحث عن طريقة استنتاج كلّ من العلاقتين السابقتين.

أتفكر

ثُبت n نابض متماثل ثابت صلابة كلّ منها k_1 ما العلاقة المحدّدة لثابت صلابة النابض المكافئ في كلّ من الحالتين:

1. النوابض محاورها متوازية.
2. النوابض لها المحور ذاته.

تطبيق(5):

نابضان متساويان طولاً مهملا الكتلة نثبّت أحدّهما في الطرف الحّر بحيث يكون لهما المحور ذاته فتكون قيمة ثابت صلابة النابض المكافئ لهما $15\ N.m^{-1}$، وعندما يثبّتُ كل منهما بحيث يكون محوراهما متوازيان فإنّ قيمة ثابت صلابة النابض المكافئ لهما $80\ N$.

احسب قيمة ثابت الصلابة لكلٍّ منهما.

الحل:

النابضان لهما المحور ذاته:

$$\frac{1}{k}=\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}$$

$$\frac{1}{15}=\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}\quad ....(1)$$

$$\frac{1}{15}=\frac{k_1+k_2}{k_1k_2}$$

النابضان محورهما متوازيان:

$$k=k_1+k_2$$

$$80=k_1+k_2\quad ....(2)$$

$$k_1=80-k_2$$

نعوض (2) في (1):

$$\frac{1}{15}=\frac{80-k_2+k_2}{(80-k_2)k_2}$$

$$1200=80k_2-k_2^2$$

$$k_2^2-80k_2+1200=0$$

$$(k_2-50)(k_2-30)=0$$

أما:

$$k_2-50=0$$

$$k_2=50\ N.m^{-1}$$

نعوّض في (2):

$$k_1=80-50=30\ N.m^{-1}$$

أو:

$$k_2-30=0$$

$$k_2=30\ N.m^{-1}$$

$$k_1=50\ N.m^{-1}$$

عمل قوّة توتّر النابض :

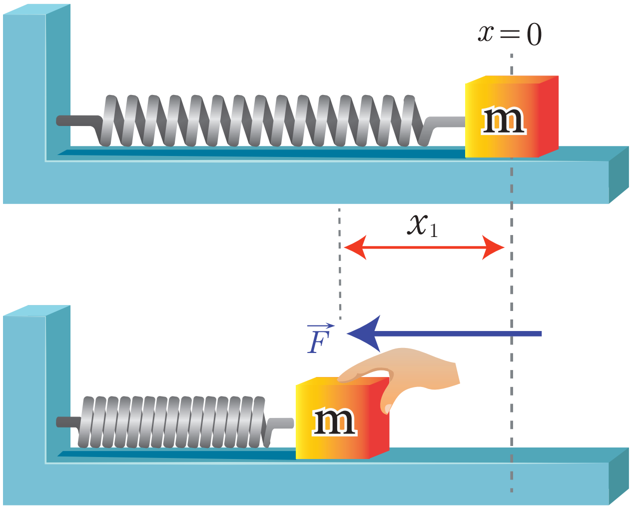
أجرّب وأستنتج:

أدوات التجربة:

نابض مرن – جسم كتلته m – سطح مستوي أفقي أملس.

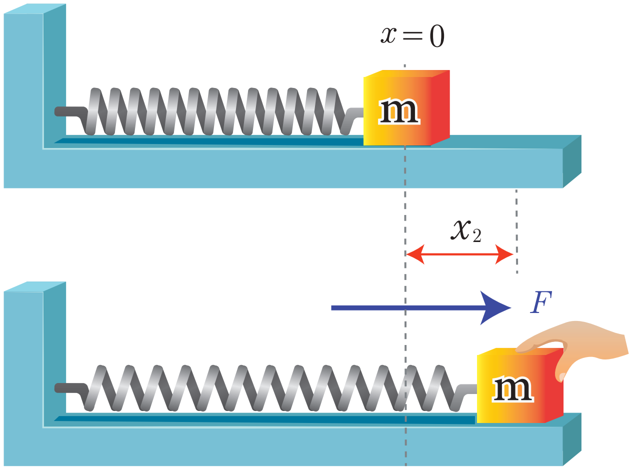
خطوات التجربة:

1. أثبّتُ النابض على المستوي الأفقيّ الأملس إلى نقطة ثابتة.
2. أضعُ جسماً كتلته m أمام حلقات النابض كما في الشّكل المجاور.
3. أدفع الجسم بقوة $\vec{F}$ وفق محور النابض لتسبّب انضغاط في النابض بمقدار x_1 ثمّ أتركه، ماذا ألاحظ؟



- هل أنجزت القوّة F عملاً؟

4. أكرّر التجربة من أجل $x_2 > x_1$.



- هل العمل المنجز في الحالة الأولى مساوٍ للعمل المنجز في الحالة الثانية من أجل القوّة نفسها.
- هل سرعة انطلاق الجسم لحظة تركه في الحالة الأولى مساوية لسرعة انطلاقه لحظة تركه في الحالة الثانية، ماذا تستنتج؟
- عندما أثبّتُ الجسم في الطّرف الحر للنابض ثمّ نشد الجسم بقوّة F فيستطيل بمقدار Δx هل تنجز القوّة F عملاً.

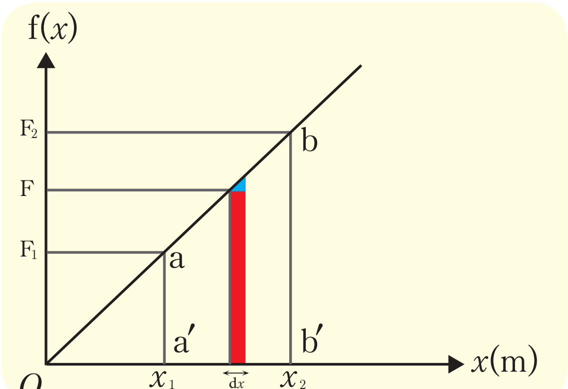
لنحسب العمل العنصري dW الذي تقوم به القوّة F التي نعدّها ثابتة من أجل انتقال عنصريّ صغير dx.

يعطى العمل بالعلاقة: $dW = Fdx$

نلاحظ من الخط البيانيّ لتغيير الاستطالة بتغيير القوّة المؤثّرة إنّ الجداء $dW = Fdx$ يساوي مساحة المستطيل الملون (بإهمال مساحة المثلث الصغير).

لكي نحسب العمل الذي تقوم به القوّة F متغيّرة الشدّة نقسّم شبه المنحرف $aa'bb'$ إلى مستطيلات صغيرة جداً حيث تمثّل مساحة كل مستطيل العمل العنصري dW من أجل انتقال عنصري dx.

تكون قيمة العمل الكلي مساوية لمجموع قيم الأعمال العنصرية المساوي لمساحة شبه المنحرف $aa'bb'$.



$$W = s = \frac{aa' + bb'}{2} \times a'b'$$
$$W = \frac{F_1 + F_2}{2}(x_2 - x_1)$$

حيث:
$$F_1 = kx_1$$
$$F_2 = kx_2$$

وبالتالي:
$$F_1 + F_2 = k(x_1 + x_2)$$
$$W = \frac{1}{2}k(x_1 + x_2)(x_2 - x_1)$$

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

وهي عبارة عمل قوّة متغيّرة الشدّة تؤثر في النابض.

وبما أنّ: $\vec{F_s} = -\vec{F}$

$$W_{\vec{F_s}} = -W_{\vec{F}}$$

فتكون عبارة عمل قوّة توتّر النابض.

$$W_{\vec{F_s}} = -\frac{1}{2}k(x_2^2 - x_1^2)$$

عندما تتغيّر الاستطالة من: $x_1 = 0$ إلى: $x_2 = x$

تصبح علاقة عمل قوّة توتّر النابض:

$$W_{\vec{F_s}} = -\frac{1}{2}kx^2$$

أتفكر

إذا زال تأثير القوّة ونقصت الاستطالة من $x_1 = x$ إلى $x_2 = 0$ كيف تصبح علاقة عمل قوّة توتّر النابض؟ وما نوع هذا العمل؟

الطّاقة الكامنة المرونيّة:

تذكّر: أنّ العمل يساوي تناقص الطّاقة الكامنة.

في التجربة السابقة:

كانت سرعة انطلاق الجسم من أجل الانضغاط x_2 أكبر من سرعة انطلاقه من أجل الانضغاط x_1

وبالتالي: الطّاقة المختزنة في النابض من أجل الانضغاط x_2 أكبر من الطاقة المختزنة من أجل انضغاط x_1 وكذلك الحالة عند الاستطالة.

عندما يتغيّر طول النابض من: $x_1 = 0$ إلى: $x_2 = x$

فإنّ الطّاقة الكامنة تتغيّر من 0 إلى E_P

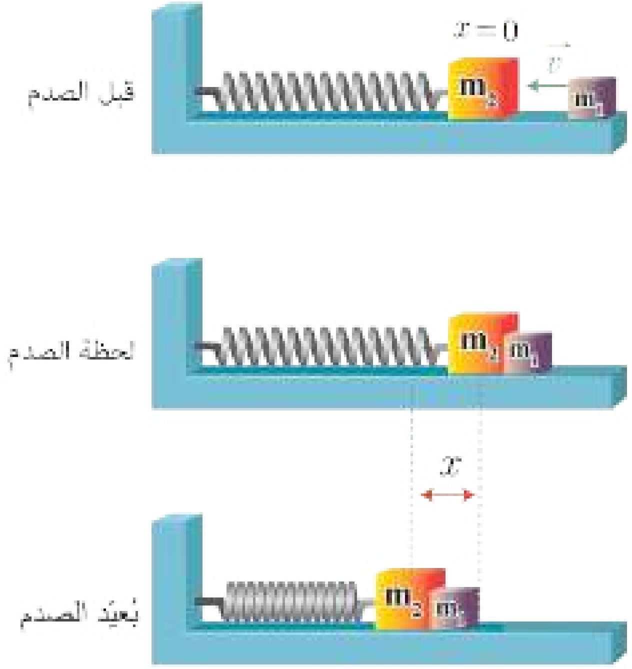
وبالتالي: $E_P = -W_{\vec{F_s}} = \frac{1}{2}kx^2$

k: ثابت صلابة النابض $\mathrm{N.m^{-1}}$

x: مقدار التغيّر في طول النابض m

تطبيق (6):

يتحرّك جسم كتلته $m_1 = 0.4\,\mathrm{kg}$ على مستو افقيّ أملس بسرعة ثابتة v_1 باتجاه جسمٍ ثانٍ ساكن كتلته $m_2 = 0.6\,\mathrm{kg}$ مثبّت في طرف نابض مرن أفقيّ مهمل الكتلة دون انضغاط طوله الأصليّ $l_0 = 0.25\,\mathrm{m}$ وثابت صلابته $k = 100\,\mathrm{N.m^{-1}}$ فيصطدم الجسمان ويرتبطان آنيّاً كما في الشكل:



1. ما نوع الصدم الحاصل؟ ولماذا؟
2. احسب قيمة v_1 إذا علمت إنّ سرعة جملة الجسمين المتصادمين بُعيدّ الصدم $v' = 0.4\,\mathrm{m.s^{-1}}$.
3. وازن بين الطّاقة الحركيّة للجملة قبل الصدم وبُعيدّ الصدم. وماذا تستنتج؟
4. احسب الطّاقة الكامنة المرونيّة العظمى التي يختزنها النابض نتيجة اصطدام جملة الكتلتين فيه، واحسب مقدار انضغاط النابض الأعظمي.
5. احسب طول النابض لحظة الوقوف الآنيّ للنابض بعد انضغاطه.
6. احسب العمل الذي تبذله جملة الكتلتين على النابض خلال انضغاطه السابق ماذا تستنتج؟

الحل:

المعطيات: $l_0 = 0.25\,\mathrm{m}$، $k = 100\,\mathrm{N.m^{-1}}$، $m_2 = 0.6\,\mathrm{kg}$، $m_1 = 0.4\,\mathrm{kg}$

1. الصدم لين (غير مرن)، لأنّ الكتلتين التحمتا وشكّلتا جسماً واحدّاً بعيد الصدم له سرعة واحدّة.
2. حساب v_1:

بما أنّ الصدم غير مرن فإنّ:

شعاع كميّة الحركة مصون:

$$\vec{P} = \vec{P'}$$
$$\vec{P_1} + \vec{P_2} = \vec{P'}$$
$$m_1\vec{v}_1 + \vec{0} = (m_1 + m_2)\vec{v'}$$

بالإسقاط على محور منطبق على محور النابض موجه بجهة الحركة:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2)\, v'$$
$$v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} v'$$
$$= \frac{(0.4 + 0.6)}{0.4} \times 0.4$$
$$v_1 = 1\,\mathrm{m.s^{-1}}$$

3. حساب الطّاقة الحركيّة للجملة قبل الصدم وبعيده:
قبل الصدم:

$$E_K = E_{K_1} + E_{K_2}$$
$$E_K = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + 0$$
$$E_K = \frac{1}{2} \times 0.4 \times 1 = 0.2\ \text{J}$$

بُعيد الصدم:

$$E'_K = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\, v'^2$$
$$= \frac{1}{2}(0.4 + 0.6) \times (0.4)^2$$
$$E'_K = \frac{1}{2} \times 1 \times 0.16 = 0.08\ \text{J}$$

نلاحظ أنّ: $E_K > E'_K$ بسبب انتشار جزء من الطّاقة حرارياً. الطاقة الحركية غير مصونة في هذا الصدم. أي الصدم تام الليونة.

4. لحظة اصطدام الجسمين تكون:

$$x = 0$$
$$E_P = 0$$

وتكون الطّاقة الحركيّة لجملة الجسمين المتصادمين عظمى.
بعد الاصطدام: تتناقص v فتتناقض E_K بينما تزداد x فتزداد E_P حتى لحظة الانضغاط الأعظمي تصبح $v = 0$ وبالتالي: $E_P = 0.08\ \text{J}$
حساب x:

$$E_P = \frac{1}{2} k x^2$$
$$0.08 = \frac{1}{2} \times 100 x^2 \quad \Rightarrow 0.16 = 100 \times ^2$$
$$x = \pm 0.04\ \text{m}$$

بما إنّ النابض ينضغط: $x = -0.04\ \text{m}$

5. حساب طول النابض لحظة الانضغاط الأعظم:

$$x = l - l_0$$
$$l = x + l_0$$
$$l = -0.04 + 0.25 = 0.21\ \text{m}$$

6. حساب العمل الذي تبذله جملة الكتلتين:

$$W = \frac{1}{2} k \left(x_2^2 - x_1^2\right) = \frac{1}{2} \times 100\left((-0.04)^2 - 0\right)$$
$$W = 8 \times 10^{-2}\ \text{J}$$

نلاحظ أنّ: $W = E_P$ أي الطّاقة الكامنة المرونيّة المختزنة في النابض تساوي العمل الذي تبذله جملة الكتلتين.

تعلَّمتُ

- القوى الخارجيّة تغيّر من شكل الجسم المرن وحجمه وعند زوال تأثير هذه القوّة يعود الجسم إلى حالته الأصليّة ما لم يتجاوز التّغيير حدّ المرونة.
- ثابت صلابة نابض k هو النسبة الثابتة التي تقيس تأثير قوّة الشدّ على الاستطالة التي تسبّبها هذه القوّة وقيمة ثابت صلابة تميّز النابض عن غيره من النوابض الأخرى.
- عند تثبيت نابضين محوراهما متوازيان، فإنّ قيمة ثابت صلابة النابض المكافئ لهما تحسب بالعلاقة:

$$k = k_1 + k_2$$

- عند تثبيت نابضين أحدّهما في الطرف الحّر للآخر، فإنّ قيمة ثابت صلابة النابض المكافئ لهما: تحسب بالعلاقة:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

- تتناسب استطالة النابض x طرداً مع شدّة القوّة F المؤثرة في طرف النابض أي:

$$F = kx$$

- قانون هوك $\overline{F} = k\overline{x}$
- إنّ القوّة التي يؤثّر بها النابض على الجسم تسمّى قوّة توتّر النابض وتعطى بالعلاقة

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

- عمل قوّة متغيّرة الشدّة تؤثّر في النابض:

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

- عمل قوّة توتّر النابض:

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

- إنّ الطّاقة الكامنة المرونيّة المختزنة في نابض:

$$E_P = \frac{1}{2}kx^2$$

أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة في كلّ ممّا يأتي:

1. يستطيل نابض مسافة $4\,\text{cm}$ بتأثير قوّة شدّ فيختزن طاقة كامنة مرونيّة مقدارها $2\,\text{J}$ ، فتكون قيمة ثابت صلابة النابض مساوية:

a. $250\,\text{N.m}$ b. $500\,\text{N.m}$ c. $5000\,\text{N.m}$ d. $2500\,\text{N.m}$

2. نابض مرن معلق شاقولياً يحمل كتلة m_1 يضاف إليها كتلة m_2 فتصبح استطالة ثلاثة أمثال ما كانت عليها عندما:

a. $m_1 = 3m_2$ b. $m_1 = \frac{m_2}{3}$ c. $m_1 = 2m_2$ d. $m_1 = \frac{m_2}{2}$

3. يسحبُ نابض باباً لكي يغلقه فتتغيّر استطالته من $44\,\text{cm}$ إلى $4\,\text{cm}$ ، فإذا علمت إنّ ثابت صلابة النابض $50\,\text{N.m}^{-1}$ ، فيكون عمل قوّة توتّر النابض مساوياً:

a. $1\,\text{J}$ b. $4\,\text{J}$ c. $8\,\text{J}$ d. $2\,\text{J}$

4. نابض مرن مهمل الكتلة ثابت صلابته k تؤثّر عليه قوّة شدّتها F فيستطيل بمقدار x وعندما تتضاعف شدّة القوّة، يصبح ثابت صلابة النابض k' مساوياً:

a. $2k$ b. $\frac{k}{2}$ c. k d. $4k$

ثانياً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

يسقط لاعب سيرك كتلته $64\,\text{kg}$ دون سرعة ابتدائية من ارتفاع $4\,\text{m}$ على فرشة تتألف من 40 نابض متماثل ثابت صلابة كلّ منها $200\,\text{N.m}^{-1}$ بإهمال مقاومة الهواء واعتبار أنّ: $g = 10\,\text{m.s}^{-2}$

المطلوب حساب:

1. سرعة اللاعب لحظة ملامسته المنصة، واحسب طاقته الحركيّة عندئذٍ.
2. الانضغاط الأعظمي لكلّ نابض، بافتراض أنّ جميع النوابض تنضغط بالمقدار نفسه.
3. الطّاقة الكامنة المرونيّة التي يختزنها كلّ نابض.

المسألة الثانية:

نابض محوره شاقوليّ ثُبت من الأعلى وترك يتدلى شاقولياً.
نعلّق في الطرف الحرّ للنابض عدة كتل ونقيس مقدار الاستطالة في كلّ مرّة وسُجّلت النتائج في جدول كالآتي:

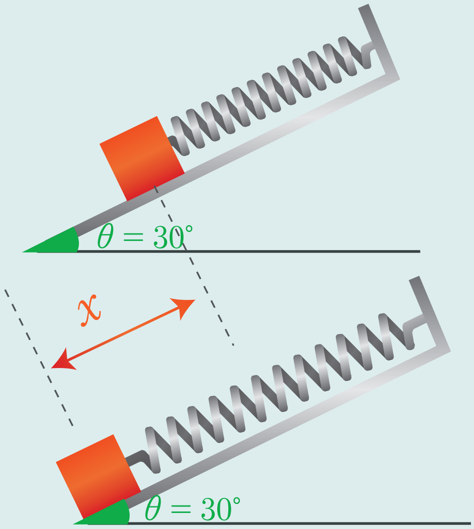
$\omega = m\,g$	2	4	6	8	10
$x(\text{m})$	0.04	0.08	0.12	0.16	0.2

المطلوب:

1. ارسم الخط البياني للقوّة المؤثرة على النابض بدلالة الاستطالة.
2. احسب ثابت صلابة النابض من الرسم البياني بين نقطتين وليس نقطة واحدة غير موجود في حل الأسئلة.
3. احسب الطّاقة الكامنة المرونيّة المختزنة في النابض عندما يستطيل بمقدار $0.04\,m$ واحسب قوّة توتّر النابض عندئذٍ.

المسألة الثالثة:

يوضّح الشكل المجاور جسماً A كتلته $m = 100\,g$ مرتبطاً بنابض مرن ثابت صلابته $k = 10\,N.m$ مثبت في أعلى المستوي المائل الأملس بافتراض $g = 10\,m.s^{-2}$.



المطلوب حساب:

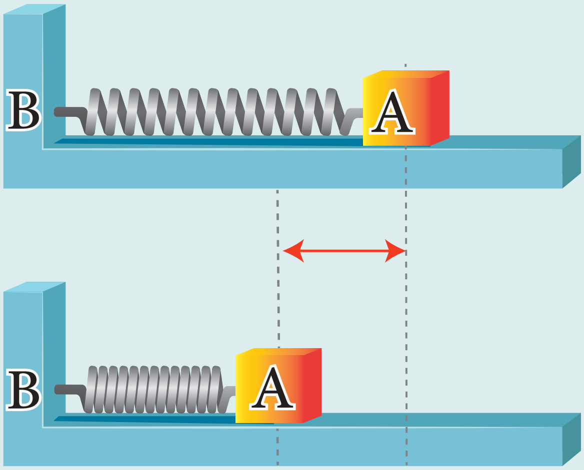
1. استطالة النابض.
2. الطّاقة الكامنة المرونيّة المختزنة في النابض.
3. مقدار التغيّر في الطّاقة الكامنة الثقالية للجسم.
4. وازن بين الطّاقة الكامنة الثقالية للجسم والطّاقة الكامنة المرونيّة للنابض بعد الاستطالة وماذا تستنتج.

المسألة الرابعة:

يوضّح الشكل المجاور جسماً A كتلته $m = 200\,g$ موضوع أمام حلقات نابض مرن مهمل الكتلة ثابت صلابته $k = 50\,N.m$ مثبت في النقطة B نضغط على الجسم A وفق محور النّابض بحيث يسبب انضغاطاً في النابض مقداره $x = 2\,cm$ وتترك الجملة دون سرعة ابتدائية (باعتبار سطح المستوي الأفقي أملس).

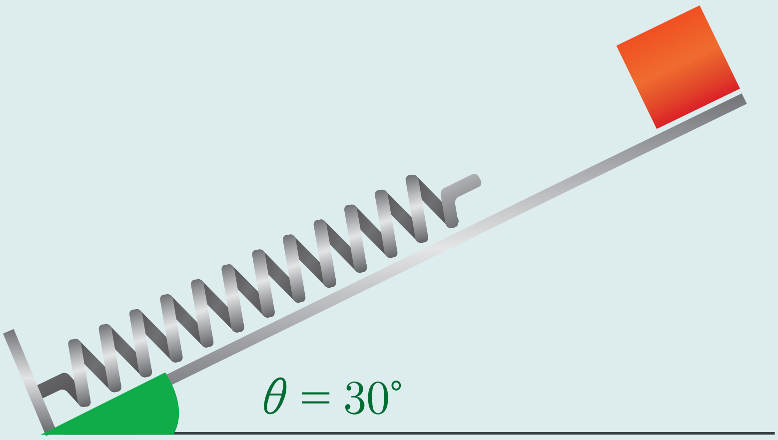
المطلوب:

1. حساب الطّاقة الكامنة المرونية التي اختزنها النابض.
2. حساب السرعة الابتدائية التي ينطلق بها الجسم لحظة عودة النابض لطوله الأصلي.
3. ما طبيعة حركة الجسم A على المستوي بعد انفصاله عن النابض؟ ما المبدأ الذي اعتمدته في الإجابة؟



المسألة الخامسة:

يتوضع نابض على مستوي مائل عن الأفق بزاوية $30°$ بحيث يكون طرفه السفلي ثابت، ومحور النابض يقع في مستوي شاقولي و يبلغ طول النابض في وضع الاسترخاء $40\,cm$ ، وثابت صلابته $k = 200\,N.m^{-1}$.
نترك جسم كتلته $m = 1\,kg$ ينزلق دون احتكاك على السطح المائل من مسافة $x_0 = 100\,cm$ عن طرف النابض الأعلى، الذي يبلغه النابض بعد صدم الجسم لطرفه الأعلى؟



ما مقدار الانضغاط الأعظمي للنابض بعد صدمه من قبل الجسم

تفكير ناقد

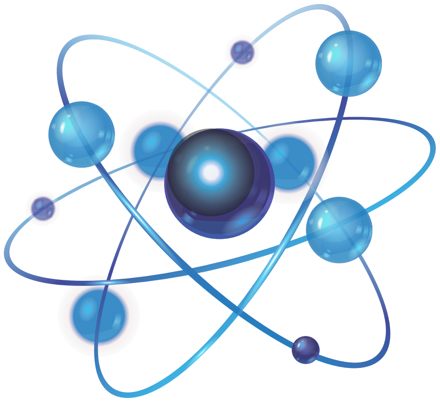
تزوّد السيارات بنوابض أو صفائح فولاذية مختلفة الأطوال تثبت على المحاور الأمامية والخلفية للسيارات حيث تعمل على امتصاص الصدمات والاهتزازات الميكانيكية للسيارة نتيجة السير على الطرقات كما هو موضح بالصورة جانباً.
ما الفرق بين النوعين من حيث الاستخدام؟

أبحث أكثر

لديناً نابضان كما هو موضح بالشكل حيث عدد حلقات كل منهما 10
أي النابضين يتحمل قوة ضاغطة أكثر؟ ابحث عبر الشابكة عن ذلك واستخدام كل منهما.

6

الأفعال المتبادلة في حقل الجاذبيّة



الأهداف:

* يتعرّف قانون الجذب الكوني.
* يستنتج حقل الجاذبيّة المتولّد عن نقطة مادية.
* يستنتج قانون حقل الجاذبيّة الأرضيّة.
* يستنتج العلاقة بين حقل الجاذبيّة الأرضيّة والبُعد عن مركز الأرض.
* يبيّن أهمية قانون الجاذبيّة الكوني في التطبيقات العملية.

الكلمات المفتاحية:

* قانون الجذب الكوني
* حقل الجاذبية
* ثابت الجاذبية

يدور القمر و مكوك الفضاء حول الأرض. ما الذي يبقيهما متحركان بعيداً عن الأرض؟
إنها قوة الجاذبية وفقاً لقانون نيوتن الكوني في الجاذبية.

ألاحظ وأجيب:

تتحرّك الأجسام في السقوط الحرّ بإهمال مقاومة الهواء بتسارع ثابت.

- ماذا أدعو هذا التسارع؟
- ما قيمته عند مستوى سطح البحر؟
- ما القوة المسبّبة لهذا التسارع؟
- أكتب العلاقة بين هذا التسارع والقوة المسبّبة له (من خلال قوانين نيوتن).

أتساءل:

- **هل هذه القوة وحيدة أم متبادلة؟**
- **هل تؤثر الأجسام في الأرض كما تؤثر الأرض في الأجسام؟**

النتيجة:

"كل جسمين في الكون يتبادلان التجاذب".

قانون نيوتن الكوني في الجاذبيّة:

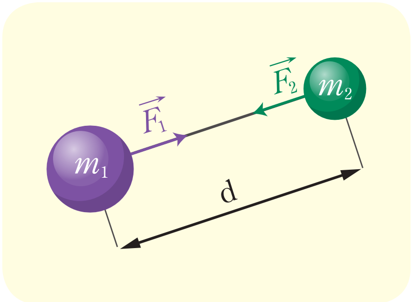
لم يكن نيوتن مكتشفاً للجاذبية، وكذلك لم يكن عمله الوحيد هو قوانينه الثلاثة في الحركة وحسب، بل وضع تصوّر لقانون عظيم وصف فيه واحدة من القوى الأساسية في الطبيعة، إنّها الجاذبية وطبّقها على تصوره لحركة الكواكب وكذلك فسّر حركة سقوط الأجسام، وحركة القمر حول الأرض وحركة الكواكب السيّارة حول الشمس معتمداً على قانون الفعل وردّ الفعل، ووسّع أفكاره لتشمل أيّ جسمين، وتمكّن من صياغة قانون الجاذبيّة الكوني وتوصّل عام 1680م إلى أنّ شدّة القوة الجاذبة بين كتلتين نقطيتيّن تتناسب طرداً مع كتلة كلّ منهما m_2, m_1 أي مع جداء الكتلتين، وعكساً مع مربع البُعد بينهما d.

إسحاق نيوتن 1727-1642
عالم إنجليزي يعدّ من أبرز العلماء مساهمة في الفيزياء والرياضيات عبر العصور وأحد رموز الثورة العلمية، شغل نيوتن منصب رئيس الجمعية الملكية، أسس كتابه الأصول الرياضية للفلسفة الطبيعية الذي نشر لأول مرة عام 1687، لمعظم مبادئ الميكانيكا الكلاسيكية. كما قدّم مساهمات هامة في مجال البصريات، صاغ قوانين الحركة وقانون الجذب العام.
صنع نيوتن أول مقراب عاكس عملي، ووضع نظرية عن الألوان مستنداً إلى ملاحظاته التي توصل إليها باستخدام تحليل موشور مشتت للضوء الأبيض إلى ألوان الطيف المرئي، كما صاغ قانوناً عملياً للتبريد ودرس سرعة الصوت.

وعليه يمكننا صياغة قانون الجاذبيّة الكوني بالشكل:

"إنّ كل كتلتين نقطيتين m_2, m_1 تفصل بينهما مسافة d تؤثر إحداهما بالأخرى بقوتين متبادلتين $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ تتناسب شدّتهما المشتركة طرداً مع حاصل جداء الكتلتين النقطيتين، وعكساً مع مربع البُعد بينهما".

كيف نعبّر رياضيّاً عن هذا القانون؟



ألاحظ أنّ:

$$F \sim m_1 m_2$$

$$F \sim \frac{1}{d^2}$$

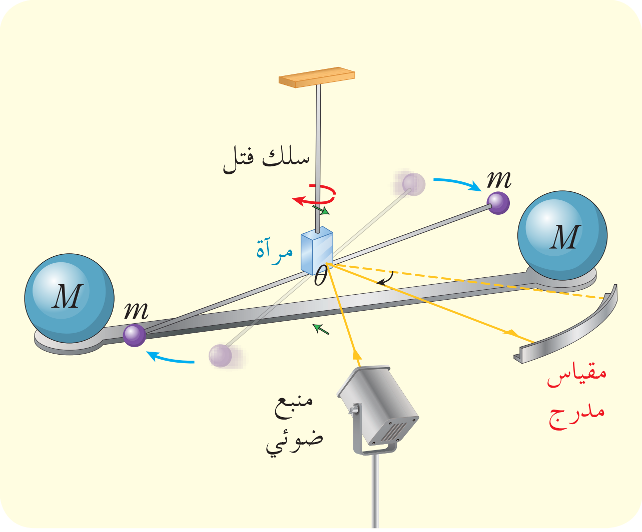
$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2} \quad ......(1)$$

حيث G وهو ثابت التناسب ويمثّل ثابت الجاذبيّة الكونيّ وقيمته $G = 6.673 \times 10^{-11}\,\mathrm{N.m^2.kg^{-2}}$

كيف تمكّن العلماء من تقدير قيمة الثابت G؟

قام العالم الإنكليزي هنري كافنديش بتجربة بسيطة (تجربة تعيين كتلة الأرض) الغرض منها تعيين القيمة التقريبيّة لكتلة الأرض M وذلك لأنّ معرفة قيمة G تُمكّن من حساب M.

حيث أخذ ساق خفيفة طولها 30 cm تقريباً وثبّت في كلّ من طرفيها كرة صغيرة من الرصاص كتلتها معلومة m_1 وفي منتصف المسافة بينهما ثبّت مرآة مستوية صغيرة، وعلّق الساق الأفقية من منتصفها بسلك فتل شاقولي ثابت فتله k وبعد أن توازنت الجملة وضع أمام كلّ كرة صغيرة على طرفي الساق كرة أخرى من الرصاص أيضاً كتلتها كبيرة m_2 فتبدأ الساق بالدوران (فسّر ذلك) ومن خلال دوران الشعاع الضوئيّ يمكن معرفة زاوية دوران الساق.



ومن شرط التوازن الدوراني تُحسب شدّة قوة التجاذب بين الكتلتين F ، وبتطبيق العلاقة (1) نجد:

$$G = \frac{Fd^2}{m_1 m_2}$$
$$G = 6.673 \times 10^{-11}\,\mathrm{N.m^2.kg^{-2}}$$

- **ابحث عن طرائق أخرى لتعيين قيمة ثابت الجاذبيّة G ؟**

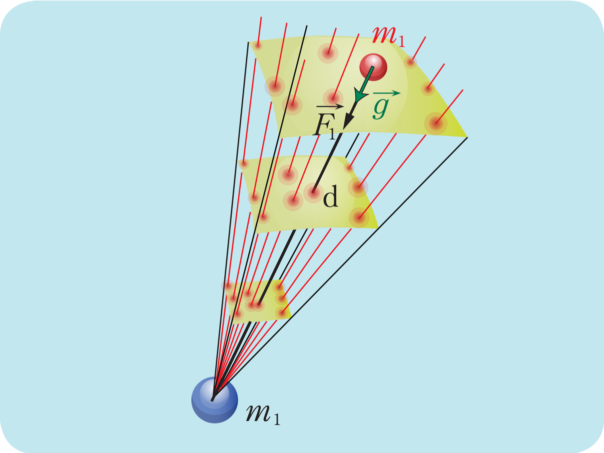
تمرين (1)

نضع جسماً كتلته $m = 1\,\mathrm{kg}$ على سطح الأرض التي كتلتها M وباعتبارها كرة متجانسة مؤلّفة من طبقات متمركزة نصف قطرها $R_0 = 6400\,\mathrm{km}$ وإذا علمت أنّ الأرض تجذب الجسم إليها بقوة شدّتها $F = 9.8\,\mathrm{N}$ ، احسب كتلة الأرض M.

تمرين (2)

احسب شدّة قوة الجذب المتبادلة بين جسمين كتلة الأول $m_1 = 5000\,\mathrm{kg}$ ، وكتلة الثاني $m_2 = 2 \times 10^5\,\mathrm{kg}$ إذا كان البُعد بين مركزيهما $d = 1\,\mathrm{km}$. ماذا تستنتج؟

حقل الجاذبيّة المتولّد عن كتلة نقطيّة:



لتكن m_1 كتلة جسم متوضّع في الفضاء و m_2 كتلة جسم ثاني بجوار الجسم الأول.

كيف ينتقل تأثير كلّ من هاتين الكتلتين إلى الأخرى على الرغم من البُعد بينهما؟ لا يمكن تفسير ذلك إلاّ بوجود الحقول و من يقوم بنقل التأثير هنا هو حقل الجاذبية.

تولّد الكتلة m_1 (الكتلة المولّدة للحقل) حقلاً للجاذبيّة $\vec{g}$ يؤثّر في الكتلة المتأثّرة m_2 بقوة جاذبة $\vec{F_2}$ شدتها:

$$F_2 = m_2 g \quad ......(2)$$

وبحسب قانون الجاذبيّة الكوني:

$$F_2 = G\frac{m_1 m_2}{d^2} \quad ......(3)$$

بالمساواة بين (2) و(3) نجد:

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

$$g = G\frac{m_1}{d^2} \quad ......(4)$$

وهي علاقة شدّة حقل الجاذبيّة المتولّد عن كتلة نقطية. ماذا تستنتج؟

حقل الجاذبيّة المتولّد عن الأرض :

نشاط:

تبلغ كتلة الأرض $M = 5.98 \times 10^{24}\,\text{kg}$ ، ونصف قطرها $R_0 = 6.37 \times 10^{6}\,\text{m}$. المطلوب:

1. استنتج العلاقة المحدّدة لشدّة حقل الجاذبيّة المتولّد عن الأرض عند نقطة تقع على بُعد d من مركزها.
2. احسب قيمة شدّة حقل الجاذبيّة الأرضيّة g_0 المتولّد عند نقطة تقع بجوار سطح الأرض، أيّ من أجل $d = R_0$.
3. طبّق العلاقة: $w = mg_0$ من أجل قيم مختلفة للكتلة m ، وأسجّل النتائج في الجدول الآتي:

الكتلة m				
شدة القوة w				

4. ارسم الخط البيانيّ لتغيّرات قيم w بتغيّر m ، ماذا أستنتج؟
5. احسب ميل المستقيم الناتج، ماذا يمثّل؟
6. احسب قيمة شدّة حقل الجاذبيّة الأرضيّة g المتولّد على ارتفاعات مختلفة عن مركز الأرض .... $d_1, d_2, d_3,$
ثمّ أطبّق العلاقة $w = mg$ من أجل القيم السابقة، وأسجّل النتائج في الجدول الآتي:

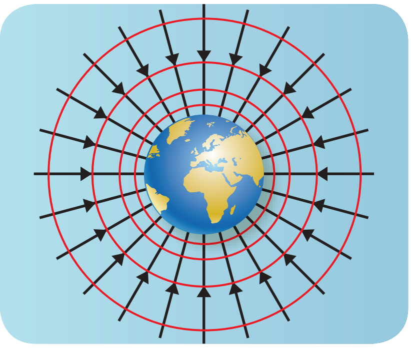
المقدار $\frac{1}{d^2}$				
شدة القوة w				

7. ارسم الخط البيانيّ لتغيّرات قيم w بتغيّر المقدار $\frac{1}{d^2}$ ، ماذا أستنتج؟

النتائج:

- **إنّ شدّة حقل الجاذبيّة المتولّد عن الأرض في نقطة تقع على بُعد d من مركزها يعطى بالعلاقة:**

$$g = G\frac{M}{d^2} \quad ....(5)$$

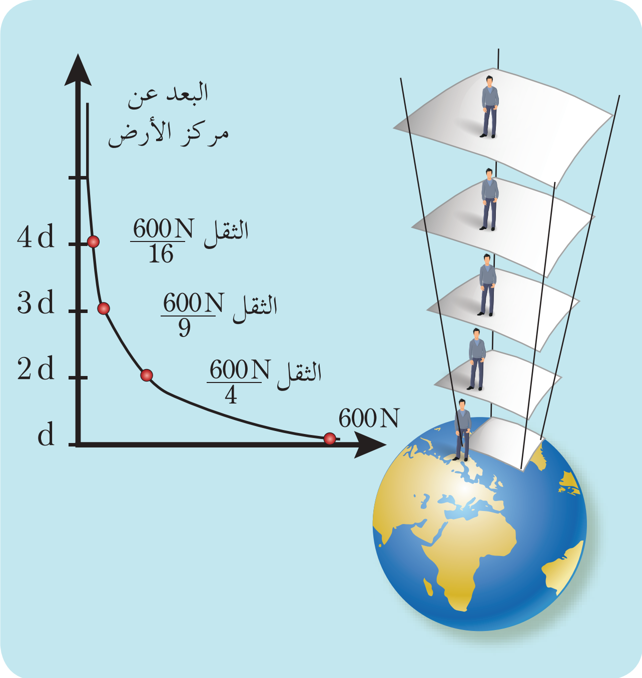


- **الخط البيانيّ لتغيّرات قيم w بتغيّر m هو مستقيم ميله ثابت يمثّل g_0 , أيّ أنّ قوة جذب الأرض لأجسام مختلفة بكتلها عند ثبات بُعدها عن مركز الأرض تتناسب طرداً مع كتلة الجسم.**
- **إنّ قوة جذب الأرض للجسم تتناسب عكساً مع مربع بُعده عن مركز الأرض.**
- **يمكن تمثيل حقل الجاذبيّة المتولّد عن الأرض على شكل أشعة تتجه نحو مركز الأرض.**

العلاقة بين الجاذبيّة الأرضيّة والارتفاع عن مركز الأرض :

أتأمّل العلاقة: $g = G\frac{M}{d^2}$ ، المطلوب:

- أحسب قيمة g_0 لجسم بجوار سطح الأرض، أي من أجل: $d = R_0$.
- أحسب قيمة g_h لجسم يقع على ارتفاع h من سطح الأرض، أي من أجل: $d = R_0 + h$.
- أوجد العلاقة بين g_0 و g_h ، ماذا أستنتج؟



النتيجة:

$$g_0 = G\frac{M}{R_0^2}$$

$$g_h = G\frac{M}{(R_0 + h)^2}$$

$$g_h = g_0\frac{R_0^2}{(R_0 + h)^2}$$

"تنقص شدّة حقل الجاذبيّة الأرضيّة بازدياد الارتفاع عن سطح الأرض"

أتفكر

إذا كانت شدّة ثقلي على سطح الأرض 800 N ، فما قيمتها على ارتفاع $h = R_0$ ؟ ماذا أستنتج؟

إثراء:

- **مظاهر الكتلة: ننظر في دراستنا إلى كتلة الجسم بمظهرين مختلفين:**
- **مظهر عطالي: يتجلّى في تحديد الكتلة لتسارع الجسم عندما تؤثّر عليه قوة معينة ، وتعرف هذه الكتلة بالكتلة العطالية m_i : $F = m_i a$**

  مثال: زيادة ونقصان الوزن.
- **مظهر تجاذبيّ: يتجلّى في قوة التجاذب بين كتلتين m_1, m_2 ، وتعرف بالكتلة التجاذبية m :**

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

مثال: السقوط الحرّ.

تعلَّمتُ

- قانون الجاذبيّة الكوني (قانون نيوتن الكوني) يعطى بالعلاقة: $F_1 = F_2 = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$.
- شدّة حقل الجاذبيّة المتولّد عن كتلة نقطية m تتناسب طرداً مع قيمة الكتلة m وعكساً مع مربع بُعدها عن الكتلة المولّدة للحقل، ويعطى بالعلاقة:

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

- شدّة حقل الجاذبيّة الأرضيّة المتولّد عند نقطة بجوار سطحها يعطى بالعلاقة: $g_0 = G\frac{M}{R_0^2}$.
- تختلف شدّة حقل الجاذبيّة الأرضيّة باختلاف الارتفاع عن سطحها، وتعطى بالعلاقة:

$$h = g_0 \frac{R_0^2}{(R_0 + h)^2}$$

أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. واحدة قياس ثابت الجاذبيّة في النظام الدولي هي:

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

2. كرتان متساويتان حجماً، وكتلة كلّ منهما $0.5\,kg$، والمسافة بين مركزيهما $0.5\,m$، فإذا كانت قيمة ثابت الجاذبيّة $G = 6.67 \times 10^{-11} N.m^2.kg^{-2}$ تكون شدّة قوة التجاذب بينهما مساوية:

a. $1.67 \times 10^{-11} N$ b. $13.34 \times 10^{-11} N$ c. $6.67 \times 10^{-11} N$ d. $3.335 \times 10^{-11} N$

3. كرتان لهما الكتلة ذاتها m، والمسافة بين مركزيهما d وشدّة قوة التجاذب بينهما F، فإنّ قيمة الكتلة m مقدرة بالكيلوغرام تساوي:

a. $\frac{Fd^2}{G}$ b. $\sqrt{\frac{F}{G}}\,d$ c. $\sqrt{\frac{G}{F}}$ d. $\sqrt{FGd}$

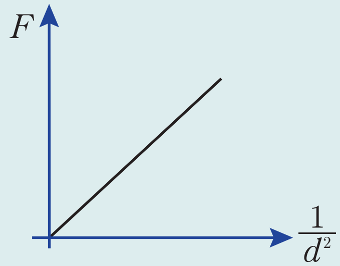
4. عندما نرتفع عن سطح الأرض ثلاثة أمثال نصف قطر الأرض R_0 فإنّ قيمة شدّة حقل الجاذبيّة على هذا الارتفاع بدلالة g_0 تساوي:

a. $\frac{g_0}{16}$ b. $\frac{g_0}{3}$ c. $3\,g_0$ d. $9\,g_0$

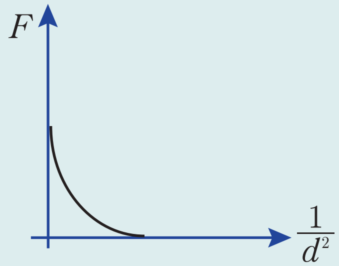
5. تنقص شدّة ثقل الجسم بالارتفاع عن سطح الأرض وذلك بسبب:

a. نقصان كتلة الجسم b. نقصان كثافة الجسم c. نقصان g d. زيادة مقاومة الهواء

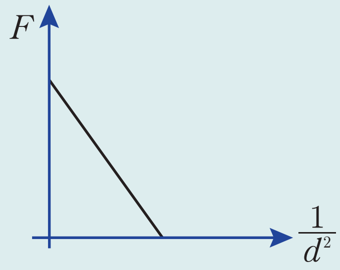
6. الخط البيانيّ الممثّل للعلاقة $F=f(\frac{1}{d^2})$ هو:



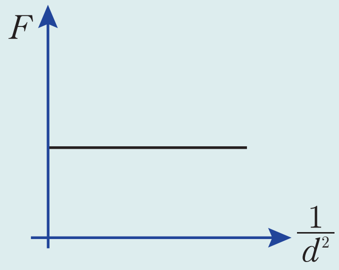
.a



.b



.c



.d

ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1. إذا كانت هناك قوى تجاذب بين جميع الأجسام، لماذا لا نشعر بجذب الأجسام الضخمة لأجسامنا؟
2. مسارات الكواكب في حركتها حول الشمس تكون منحنية، فسّر ذلك.
3. ما شدّة قوة جذب الأرض لشخص كتلته $75\ kg$ يقف في مستوي سطح الأرض، حدّد بالكتابة عناصر هذه القوة؟
4. هل قوة الفعل المتبادل بين كرتين من الرصاص كتلة كلّ منهما $1\ kg$ تختلف عن قوة الفعل المتبادل بين كرتين من البلاستيك لهما الكتلة ذاتها، والبُعد بين مركزيهما ذاته، ولماذا؟

ثالثاً: حلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

استنتج بالرّمز العلامة المحدّدة لارتفاع نقطة عن سطح الأرض إذا علمت أنّ شدّة ثقل شخص عند سطح الأرض تساوي مثلي قيمتها عند هذه النقطة. بفرض $R_o = 6400\ Km$

المسألة الثانية:

حدّد بالكتابة عناصر قوة جذب القمر للأرض علماً أنّ كتلة القمر $M_m = 7.36 \times 10^{22} kg$ ، وكتلة الأرض $M_E = 5.97 \times 10^{24} kg$ ، والمسافة بين مركزيهما $d = 3.84 \times 10^{8} m$.

المسألة الثالثة:

تبلغ المسافة الفاصلة بين بروتونين في نواة ذرة ما $d = 4 \times 10^{-15} m$ وكتلة كلّ منهما $m_P = 1.67 \times 10^{-27} kg$

المطلوب:

1. احسب شدّة قوة التنافر الكهربائي المتبادل بين البروتونين إذا علمت أنّ شحنة البروتون تساوي $q_P = 1.6 \times 10^{-19} C$. وثابت كولوم $K = 9 \times 10^2\ Nm^2\ C^{-2}$
2. احسب شدّة قوة التجاذب الكتلي بين البروتونين.
3. فسّر سبب تماسك النواة بالرغم من وجود هذا التنافر بين بروتوناتها. إذا علمت أن $G = 6 - 67 \times 10\ Nm^2$

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 شدّة قوة التجاذب الكتليّ بين مركزي ثقلي المحفظتين.
2. احسب شدّة قوة التجاذب الكتليّ بين مركز ثقل إحدى المحفظتين والأرض.
3. قارن النتائج. ماذا تستنتج؟

المسألة الخامسة:

عند دراسة السقوط الحُرّ وجدنا أنّ القوة التي تؤثر في الجسم الساقط تعطى بالعلاقة $F = mg$ وعليه تكون الطاقة الكامنة الثقالية $E_p = mgh$ حيث h الارتفاع عن سطح الأرض المطلوب:

1. انطلاقاً من قانون الجذب الكوني برهن أنّ الطاقة الثقالية للجسم على ارتفاع h من سطح الأرض تعطى بالعلاقة: $E_p = -G\dfrac{mM}{R+h}$
حيث نصف قطر الأرض، M كتلة الأرض.
2. كيف تعلل الفرق بين علاقتي الطاقة الكامنة الثقالية؟ بملاحظة أنّ $R >> h$ بيّن كيف يمكن التوفيق بين العلاقتين.

تفكير ناقد

1. تبلغ كتلة المشتري 300 ضعف من كتلة الأرض تقريباً في حين تبلغ شدّة ثقل جسم ما على سطحه 2.5 ضعفاً من شدّة ثقله على الأرض، فسّر ذلك.
2. بفرض أنّ قوة جذب الشمس للأرض انعدمت فجأة، ما شكل مسار الأرض عندئذٍ؟

أبحث أكثر

من المعلوم أن الصواريخ التي تحمل المركبات الفضائية تنطلق بفعل محركات دفع نفاثة لتصل إلى سرعة تقدر بنحو $v_0 = 11\,km.s^{-1}$ حتى تستطيع الإفلات من الجاذبية الأرضية . ابحث عبر الشابكة حول هذا الموضوع وبيّن كيف أمكن الحصول على تلك القيمة لسرعة الإفلات من الجاذبية الأرضية.

7 قوانين كبلر

الأهداف:

* يستنتج تجريبياً قانون الأول كبلر.
* يتعرّف قانون الثاني كبلر.
* يستنتج قانون الدور.
* يبيّن أهمية قوانين كبلر في حياتنا اليومية.

الكلمات المفتاحية:

* مدار الكوكب
* شعاع موضع الكواكب
* دور دوران الكواكب
* نصف القطر الكبير
* نصف القطر الصغير

دأب الإنسان منذ مئات السنين على مراقبة ودراسة حركة الأجرام السماويّة لما لها من علاقة بالتقويم وتقدير الوقت، والتنبؤ بظهورها كالقمر والشمس ...

وحاول إيجاد المعادلات التي تصف حركتها وشكل المدارات الخاصّة بها.

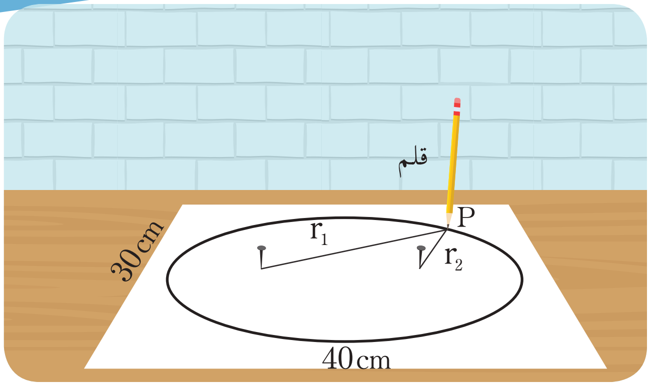
فكان العالم الألمانيّ يوهانز كبلر (1473 – 1543) أول من وضع قوانين تصف حركة الكواكب.

قانون كبلر الأول (قانون المدارات):

نشاط:

الأدوات المطلوبة:

- ورقة أبعادها $(30\,cm \times 40\,cm)$
- مسماران
- خيط بطول مناسب L
- قلم رصاص



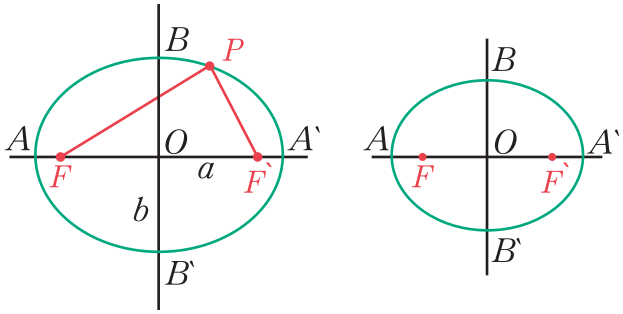
الخطوات:

1. أثبّت المسمارين على الورقة بحيث يكون البُعد بينهما أقل من طول الخيط L
2. أشدّ الخيط بواسطة القلم بحيث يبقى رأس القلم ملامساً للورقة وأمرّره على الورقة وفق ما في الشكل.
3. أحدّد الشكل الهندسي الناتج.
4. أرسم محور التناظر المارّ من المسمارين.
5. أقارن طول الخيط مع $r_1 + r_2$.

النتيجة:

يسمّى الشكل الهندسيّ (الإهليلجي) الناتج قطعاً ناقصاً نصف قطره الكبير a، ونصف قطره الصغير b، وندعو موضعي المسمارين بمحرقي القطع.

قانون الأول كبلر: يرسم مركز الكوكب مساراً إهليلجياً بالنسبة للشمس الواقعة في أحد محرقي القطع الناقص.

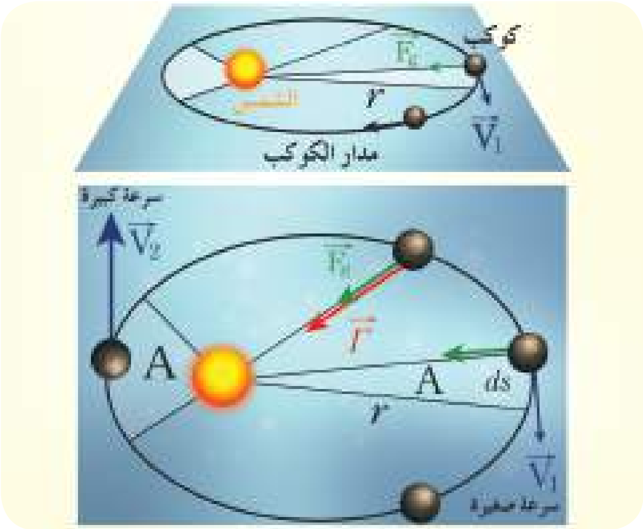


قانون كبلر الثاني (قانون المساحات):

وجد العالم كبلر عند مراقبته لحركة كوكب على مداره الإهليلجي حول الشمس ما يلي:

- تأخذ سرعة الكوكب قيمتها العظمى عندما يكون في النقطة الأقرب إلى الشمس (نقطة الحضيض)
- تأخذ سرعة الكوكب قيمتها الصغرى عندما يكون في النقطة الأبعد عن الشمس (نقطة الأوج)

تجذب الشمس الكوكب بقوة $\vec{F_g}$.



عزم هذه القوة حول الشمس يعطى بالعلاقة:

$$\vec{\Gamma} = \vec{r} \times \vec{F}_g$$

$$\Gamma = r\, F_g \sin\theta = 0$$

وهو معدوم لأن: $\theta = 0 \Longrightarrow (\text{Sin}\,0 = 0)$

وحسب العلاقة الأساسية بالتحريك الدوراني:

$$\vec{\Gamma} = \frac{d\vec{L}}{d\,t} = \vec{0}$$

أي: $\vec{L} = \overrightarrow{const}$

لكن: $\vec{L} = \vec{r} \wedge \vec{P} = \vec{r} \wedge (M_P\, \vec{v})$

$$\vec{L} = M_P (\vec{r} \wedge \vec{v})$$

$$(1)\ \ldots\ldots\ldots\ \frac{\vec{L}}{M_P} = (\vec{r} \wedge \vec{v})$$

ولدينا أيضاً: $(2)\ \ldots\ldots\ldots\ \vec{ds} = \vec{v}\; d\,t$

إنّ مساحة المثلث المظلل A_1 :

$$dA = \frac{1}{2}\,|\,\vec{r} \wedge \vec{ds}\,|$$

نعوض من (2) فنجد:

$$dA = \frac{1}{2}\,|\,\vec{r} \wedge \vec{v}\, d\,t\,| \Longrightarrow \frac{dA}{dt} = \frac{1}{2}\,|\,\vec{r} \wedge \vec{v}\,|$$

نعوض من (1)

$$\frac{dA_1}{dt} = \frac{1}{2}\,\frac{L}{M_P}$$

$$\frac{dA_1}{dt} = const$$

حيث كلٌّ من $(L\,, M_P)$ ثابتان.

أيّ أنّه:

"يمسح شعاع موضع الكوكب (الخط الوهمي المرسوم من الشمس إلى الكوكب) مساحات متساوية خلال أزمنة متساوية".

قانون الثالث كبلر (قانون الدوار):

يبيّن الجدول الآتي دور دوران كلّ كوكب من كواكب المجموعة الشمسية، ونصف القطر الكبير (كوكب – شمس).

الكوكب	نصف القطر الكبير a (U.A)	دور الدوران T (سنة)
عطارد	0.387	0.240
الزهرة	0.723	0.615
الأرض	1.00	1.00
المريخ	1.52	1.88
المشتري	5.20	11.9
زحل	9.51	29.4

- أدقّقُ جيداً في الجدول، ما العلاقة بين نصف القطر الكبير، ودور الدوران؟
- أحسب النسبة $\frac{a^3}{T^2}$ لكلّ كوكب في الجدول. ماذا أستنتج؟

سوف نبرهن هذا القانون في حالة مسار دائري لكوكب كتلته m يدور حول الشمس التي كتلتها M.
يخضع الكوكب في أثناء حركته على مداره الدائريّ لقوة جذب مركزية:

$$F_g = m\,a_c = m\,\omega^2 r \quad ....(1)$$

وحسب قانون نيوتن الكوني:

$$F_g = G\frac{Mm}{r^2} \quad ....(2)$$

بالمساواة بين العلاقتين نجد:

$$m\,\omega^2 r = G\frac{Mm}{r^2}$$

بالاختصار والإصلاح:

$$\omega^2 = G\frac{M}{r^3}$$

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = G\frac{M}{r^3}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{G\,M}r^3$$

$$T^2 = const\, r^3$$

نعمّم العلاقة السابقة على أن نستبدل بنصف قطر المسار الدائريّ نصف القطر الكبير للمسار الإهليلجيّ a (القطع الناقص):

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM}a^3$$

إنّ مُربّع زمن دور الكوكب حول الشمس يتناسب طرداً مع مكعب نصف القطر الكبير (أو متوسط المسافة بين الكوكب والشمس).

تعلّمتُ

- **قانون الأول كبلر: يرسم مركز الكوكب مساراً إهليليجي بالنسبة للشمس الواقعة في أحد محرقي القطع الناقص.**
- **قانون الثاني كبلر (قانون المساحات): يمسح شعاع موضع الكوكب (الخط الوهمي المرسوم من الشمس إلى الكوكب) مساحات متساوية خلال أزمنة متساوية.**
- **قانون الثالث كبلر (قانون الدور): إنّ مُربّع زمن دور الكوكب حول الشمس يتناسب طرداً مع مكعب نصف القطر الكبير (أو متوسط**
- **المسافة بين الكوكب والشمس).**

أختبر نفسي

حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

نُدرج في الجدول الآتي بعض ميزات الحركة بعض كواكب المجموعة الشمسية:

الكوكب	الزهرة	الأرض	المشتري
نصف القطر الكبير a $(10^6 km)$	108.21	149.60	778.41
دور الدوران T بالسنة الأرضية T(a)	0.615	1.000	11.862

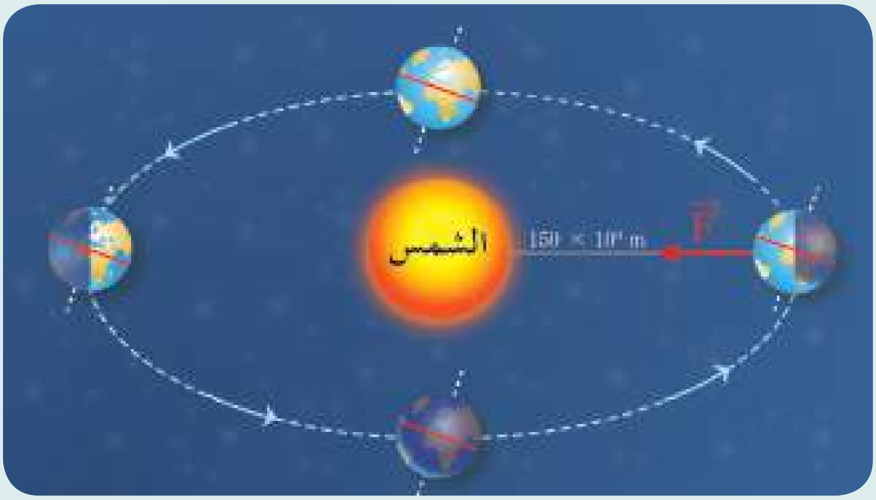
1. بيّن بالحساب تحقّق حركة هذه الكواكب قانون الثالث كبلر؟ علل إجابتك.
2. احسب كتلة الشمس.

المسألة الثانية:

1. يدور القمر حول الأرض دورة كاملة خلال شهر قمري، و يبعد القمر عن الأرض حوالي $380000\ km$.
المطلوب: استنتج كتلة الأرض.
2. بالاعتماد على قانون الثالث كبلر احسب نصف قطر مسار قمر صنعي يدور حول الأرض بدور قدره 6 ساعات.

المسألة الثالثة:

1. تدور الأرض حول الشمس وفق مدار نفرضه دائري نصف قطره $r = 150 \times 10^9\ m$ وأنّ كتلة الشمس $M = 1.989 \times 10^{30}\ kg$ وقيمة ثابت التجاذب الكوني $G = 6.67 \times 10^{-11}\ N.m^2.kg^{-2}$ استنتج دور الأرض حول الشمس.
2. واحسب سرعتها الخطية على مدارها. ((استثمر الآلة الحاسبة العلمية لإنجاز العمليات الحسابية اللازمة))



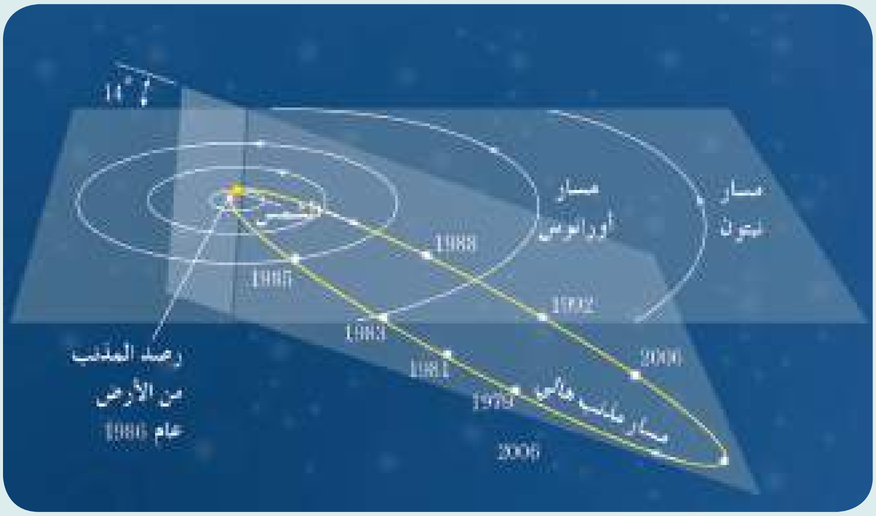
المسألة الرابعة:

يدور مذنب هالي حول الشمس وفق مدار بيضوي، وقد تم رصد ظهوره من قبل الفلكيين في الأعوام المرفقة بالجدول:

التسلسل	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
سنة الظهور	1378	1456	1531	1607	1682	1759	1835	1910	1986	؟

والمطلوب:

1. احسب دور حركته تقريبياً؟ (المتوسط الحسابي للدور)
2. ما هو العام الذي يظهر به هذا المذنب في الرصد 10؟
3. إذا ولد طفل في عام 2018 فكم سيكون عمره عندما يظهر هذا المذنب في الرصد 10؟



تفكير ناقد

لو أنّ شخصاً يعيش على سطح المريخ، وتم سؤاله عن عمره فقال: عمري يبلغ 17 عاماً بتوقيت كوكب المريخ بالنسبة له فهل سيكون عمره مساوياً لطالب في الصف الثاني الثانوي من سكان الأرض؟ علل.

أبحث أكثر

نشر العالم الفلكي الألماني جوهان بود في السبعينات من القرن الثامن عشر قانوناً يعتبر من بين أكثر القوانين العلمية غرابة حيث لاحظ بود:

أن مسافات الكواكب عن الشمس، تخضع لتتابع رياضي عجيب حيث نظم سلسلة من الأعداد ومضاعفاتها واستطاع من خلالها أن يحدّد أبعاد الكواكب عن الشمس.

ابحث في مكتبة مدرستك أو في الشابكة عن تلك السلسلة من الأعداد ومدى تطابق قانون بود والأبعاد الحقيقية للكواكب عن الشمس ونظّمها في جدول.

8 القمر الصنعي

الأهداف:

* يتعرّف حركة القمر الصنعي.
* يستنتج علاقة سرعة القمر الصنعي.
* يستنتج علاقة دور حركة القمر الصنعي.
* يبيّن أهميّة الأقمار الصنعيّة في مجالات العلوم المختلفة.
* يوضّح أهميّة الأقمار الصنعيّة في حياتنا اليومية.

الكلمات المفتاحية:

* القمر الصنعي
* السرعة المدارية
* دور حركة القمر الصنعي

القمر الأوربي لدراسة الطقس

أفكّر وأستنتج:

عندما يسقط جسماً دون سرعة ابتدائيّة من مكان مرتفع عن سطح الأرض فإذا تأثّر بقوة جذب الأرض له فقط، ويسقط نحو مركزها سقوطاً حرّاً.

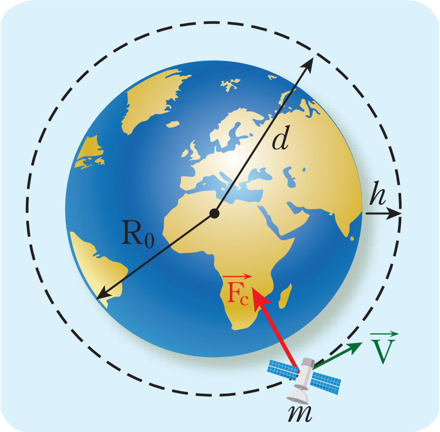
1. كيف يصبح مسار الجسم ذاته إذا قذفناه من المكان ذاته بسرعة ابتدائيّة أفقيّة؟
2. هل تتعلّق المسافة الأفقيّة التي يقطعها الجسم حتى يسقط بسرعته الابتدائيّة؟
3. هل يمكن أن نجعل الجسم يدور حول الأرض دون أن يسقط؟ وإذا كان ذلك ممكناً، فما العوامل المؤثّرة في ذلك؟

النتيجة:

إنّ حركة جسم حول الأرض تتخذ مساراً دائريّاً دون أن يسقط إذا قذف بسرعة ابتدائيّة أفقيّة محدّدة، وتكون القوة الجاذبة المركزيّة هي قوة جذب الأرض للجسم.

السرعة المداريّة للقمر الصنعيّ:

بافتراض أنّ الأرض كروية كتلتها M ، ونصف قطرها R_0 ، وأنّ قمراً صنعيّاً كتلته m يدور حولها على ارتفاع d من مركزها.



يتأثّر القمر الصنعيّ بقوة جذب الأرض له:

$$F_c = m\,a_c$$

$$F_c = m\frac{v^2}{d}$$

ومن قانون نيوتن الكونيّ:

$$F_c = G\frac{m\,M}{d^2}$$

بالمساواة بين العلاقتين نجد:

$$m\frac{v^2}{d} = G\frac{m\,M}{d^2}$$

$$v = \sqrt{G\frac{M}{d}}$$

لكن شدّة حقل الجاذبيّة المتولّد على ارتفاع d من مركز الأرض يعطى بالعلاقة:

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

$$G\frac{M}{d} = g\,d$$

إذن:

$$v = \sqrt{g\,d}$$

لدينا:

$$g = g_0\frac{R_0^2}{d^2}$$

فيكون:

$$v = \sqrt{g_0\frac{R_0^2}{d^2}\times d}$$

$$v = R_0\sqrt{\frac{g_0}{d}}$$

وهي علاقة سرعة القمر الصنعي في مداره.

أتفكر

ما العلاقة بين سرعة القمر الصنعي وارتفاعه عن مركز الأرض؟

زمن دور حركة القمر الصنعي :

1. أكتب العلاقة بين السرعة الخطيّة للقمر، وسرعته الزاويّة؟
2. أكتب العلاقة بين السرعة الزاويّة للقمر، ودور حركته.

النّتيجة:

يعطى دور القمر الصنعي بالعلاقة الآتية:

$$T_s = 2\pi \frac{d}{v}$$

أو بالعلاقة:

$$T_s = \frac{2\pi d}{w.d} = \frac{2n}{w}$$

تطبيق:

يدور قمر صنعيّ في مسار دائريّ حول الأرض على ارتفاع $36000\ km$ من سطح الأرض التي نعدّها كروية نصف قطرها $6400\ km$،

المطلوب:

1. احسب سرعة القمر المداريّة، إذا علمت أنّ دوره يساوي $T_s = 24\ hr$.
2. احسب سرعة القمر المداريّة، إذا أصبح دوره يساوي $T_s = 90\ min$ ؟
3. ماذا يحدث للقمر بالنسبة للأرض، إذا كانت جهة دورانه بجهة دوران الأرض حول نفسها؟
4. إذا علمت أنّ دول العالم تتشارك في نظم الاتصالات الفضائيّة، ومن أجل ذلك وغيره توضع أقمار صنعية في مدارات مخصصة تبقى ثابتة بالنسبة إلى محطة أرضية، فاستنتج شروط بقاء القمر فوق محطة أرضية.

الحل:

.1

$$T_s = 2\pi \frac{d}{v}$$
$$v = 2\pi \frac{d}{T}$$
$$d = R_0 + h$$
$$d = (6400 + 36000) \times 10^3$$
$$d = 424 \times 10^5 m$$
$$v = 2\pi \times \frac{424 \times 10^5}{864 \times 10^2}$$
$$v \simeq 3083.4\ m.s^{-1}$$

.2

$$v = 2\pi \times \frac{424 \times 10^5}{54 \times 10^2}$$
$$v \simeq 49334.6\ m.s^{-1}$$

3. يبقى القمر الصنعي ثابتاً فوق النقطة ذاتها من سطح الأرض.

4. لبقاء القمر الصنعي ثابت فوق محطة أرضية يجب أن:

- يكون دور القمر الصنعي T_s مساوياً دور الأرض T_G.
- يرسم مساراً دائرياً في مستوي خط الاستواء، مركزه مركز الأرض.
- تكون جهة دورانه مع جهة دوران الأرض ذاتها.

أهميّة الأقمار الصنعيّة:

إنّ الحاجة لنقل المعلومات، وتزاحم الأخبار، وسرعة الاستجابة لبثّها، حيث لا يعوق القمر الصنعي المسافة أو الموقع، جعل الاعتماد على البثّ الفضائي لا بدّ منه بالرغم من كلفته الباهظة، لماذا؟

النتيجة:

يعتمد على البثّ الفضائي بوساطة الأقمار الصنعيّة، لأنّ الموجة الكهرطيسية التي تحمل المعلومات توجّه نحو القمر الصنعي الذي يعيد بدوره بثّها نحو اتجاه معيّن في أي منطقة من الكرة الأرضية بسرعة الضوء، ويستخدم القمر الصنعي هوائيات ضخمة تعتمد على تواترات متعدّدة.

أتفكر

من أين يستمدّ القمر الصنعي طاقته الكهربائيّة؟

تعلَّمتُ

- تعطى علاقة سرعة القمر الصنعي في مداره بالعلاقة: $v = R_0\sqrt{\frac{g_0}{d}}$
- يعطى دور القمر الصنعي بالعلاقة: $T_s = 2\pi\frac{d}{v}$
- لبقاء قمر صنعي ثابت فوق محطة أرضية يجب أن:
  - يكون دور القمر الصنعي T_s مساوياً دور الأرض T_G
  - يرسم مساراً دائرياً في مستوى خط الاستواء مركزة مركز الأرض.
  - تكون جهة دورانه مع جهة دوران الأرض ذاتها
- للقمر الصنعي أهمية كبيرة في حياتنا اليومية

أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. إذا كان ارتفاع القمر الصنعي عن سطح الأرض $h = R_0$ 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. إن دور حركة القمر الصنعي هو:

a. $T = \frac{2\pi}{v}(R_0 + h)$ b. $T = \frac{v}{2\pi}(R_0 + h)$

c. $T = \frac{2\pi}{v}(R_0 - h)$ d. $T = 2\pi v(R_0 - h)$

ثانياً: في مركبة الفضاء أثناء دورانها حول الأرض لا يشعر رائد الفضاء بوزنه, فسّر سبب ذلك.

ثالثاً: اكتب موضوعاً حول دور الأقمار الصنعيّة المستخدمة في البث التلفزيوني.

رابعاً: حلّ المسألتين الآتيتين:

المسألة الأولى:

يدور قمر صنعيّ بحركة دائرية منتظمة حول الأرض على ارتفاع $h = 36 \times 10^5 \text{m}$ وباعتبار أنّ الأرض كرة نصف قطرها $R_0 = 64 \times 10^5 \text{m}$ وقيمة حقل الجاذبيّة الأرضيّة على سطحها $g_0 = 10 \text{m.s}^{-2}$ وبإهمال تأثير الهواء.

المطلوب:

1. استنتج بالرموز، علاقة السرعة الخطيّة للقمر على مداره، ثمّ احسب قيمتها.

2. احسب دور حركة هذا القمر.
3. هبط القمر خلال إحدى دوراته ارتفاع $\Delta h = -500\,\mathrm{m}$ وبقيّ مساره دائرياً. أوجد التغيّر في السرعة الخطيّة للقمر بدلالة دوره، وتغيّر ارتفاعه، واحسب قيمته؟

المسألة الثانية:

يدور قمر صنعي كتلته $200\,\mathrm{kg}$ في مسار دائري على ارتفاع $h = R_0$ من سطح الأرض التي نعتبرها كرويّة نصف قطرها $R_0 = 64 \times 10^5\,\mathrm{m}$

المطلوب:

1. استنتج بالرموز علاقة السرعة الخطيّة للقمر على مداره ثمّ احسب قيمتها.
2. احسب قوة الجذب المؤثرة في القمر خلال دورانه بالسرعة السابقة.

تفكير ناقد

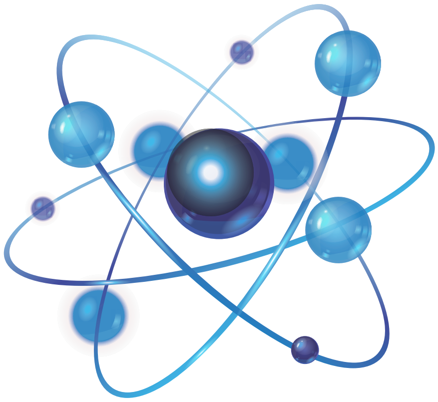
لتغطية الاتصالات بين دول العالم كافة يجب وضع ثلاثة أقمار صنعية موزّعة بانتظام، ابحث في ذلك.

أبحث أكثر

إنّ للأقمار الصنعيّة أهمية في مجال استكشاف خامات الأرض, والمناخ ابحث في ذلك مستعينا بمكتبة مدرستك أو بالشابكة.

9

مقاومة الهواء



الأهداف:

* يتعرّف مقاومة الهواء.
* يوضّح نشوء مقاومة الهواء.
* يحدّد العوامل المؤثّرة في مقاومة الهواء.
* يستنتج علاقة السرعة الحديّة لسقوط جسم في الهواء.
* يتعرّف تطبيقات مقاومة الهواء.

الكلمات المفتاحية:

* لزوجة الهواء.
* مقاومة الهواء.
* قوى الاحتكاك.
* قوى الضغط.
* السطح الظاهري.
* السرعة الحدية.

ألاحظ وأستنتج:

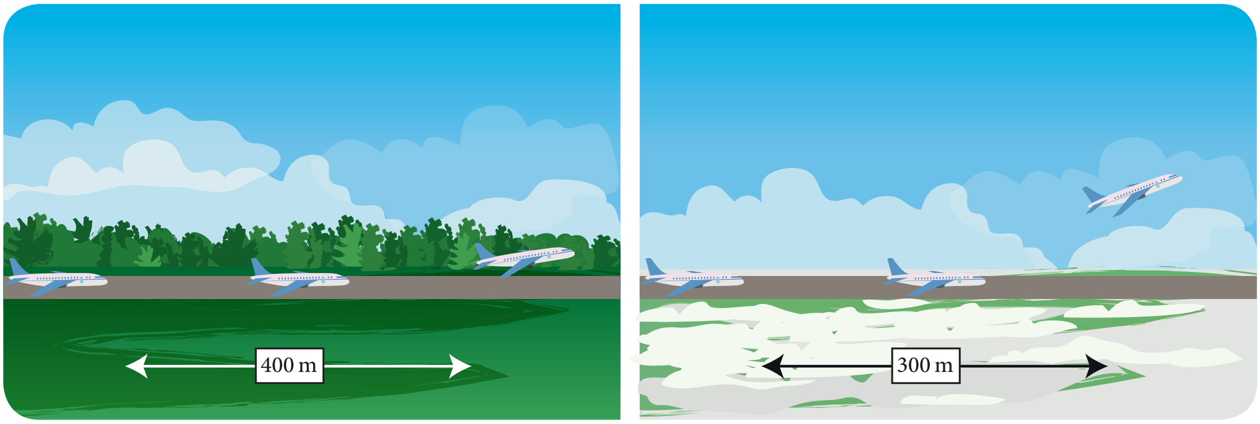
- تهبط قطعة الورق ببطء نحو الأرض.
- تصنّع الطائرات والسيارات بحيث تأخذ شكلاً انسيابياً.
- يصل المظلّي إلى الأرض بسرعة صغيرة نسبياً.

— إنّ سرعة سقوط جسم في الهواء أقل من سرعة سقوطه في الخلاء في الشروط ذاتها.

— تمثّل مقاومة الهواء لحركة جسم له محور تناظر يتحرك بحركة انسحابيّه مستقيمة بقوة F_r لها حامل شعاع سرعته، وجهتها بعكس جهة حركة الجسم.

نشوء مقاومة الهواء :

نشاط (1):



أفكّر وأستنتج:

لتحقيق اقلاع وهبوط آمن تحتاج الطائرات في المناطق الحارّة لمسافة أطول على المدرج من المناطق الباردة.

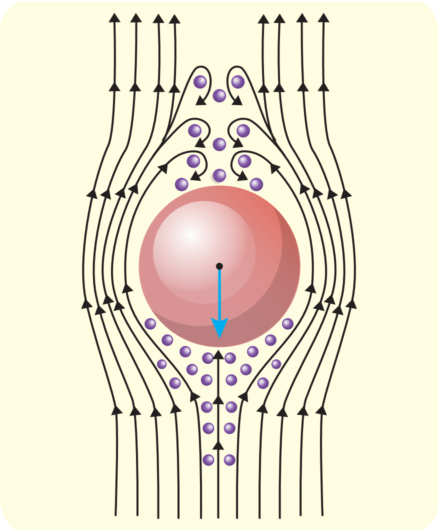
- ما تأثير درجة الحرارة على لزوجة الهواء؟
- هل تختلف قوة الاحتكاك على جسم الطائرة باختلاف لزوجة الهواء؟

– تنتج قوى الاحتكاك عن لزوجة الهواء وتكون هذه القوى مماسّة للسّطح الخارجي المعرّض للهواء

نشاط (2):

ألاحظ وأستنتج:

يسقط جسم في هواء ساكن دون سرعة ابتدائيّة من ارتفاع مناسب فيصدم جزيئات غازات الهواء:



- هل يتغيّر ضغط الهواء بين أسفل الجسم وأعلاه؟
- هل يؤثّر شكل الجسم على تغيّر الضغط؟

– عندما يتحرك جسم في هواء ساكن فإنّ جزيئات الهواء تصطدم فيه وتتجمّع عند مقدّمة الجسم الأمر الذي يسبّب زيادةً في الضغط، ويتخلخل الهواء خلف الجسم وهذا يُسبّب نقصاناً في الضغط.

– تسمّى المقاومة المتولّدة عن اختلاف الضغط بمقاومة الشكل.

– تكون هذه المقاومة صغيرة في الأشكال الانسيابيّة كما في الطائرات.

نتيجة:

تنشأ قوة مقاومة الهواء $\vec{F_r}$ عن نوعين من القوى هما:

قوى الاحتكاك: تنتج عن لزوجة الهواء وهي المسبّب الرئيسي لنشوء مقاومة الهواء في حالة السرعات الصغيرة.

قوى الضغط: تنتج عن تفاوت الضغط بين مقدّمة الجسم وخلفه وهي المسبّب الرئيسيّ لنشوء مقاومة الهواء في حالة السرعات الكبيرة .

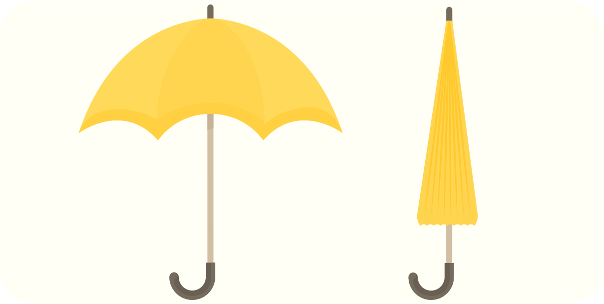
العوامل التي تتوقّف عليها مقاومة الهواء :

تعمل مراكز الأبحاث على دراسة قوة مقاومة الهواء بغية الاستفادة القصوى منها، ولذلك لا بدّ من دراسة العوامل المؤثّرة في مقاومة الهواء لحركة الأجسام فيه.

1. عامل السّطح:

نشاط (1):

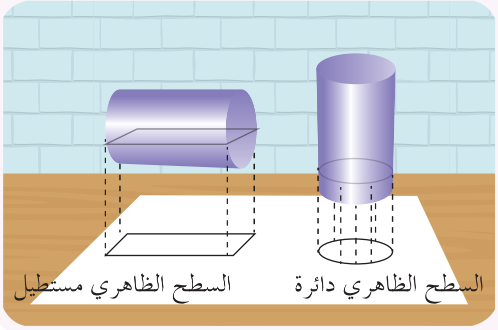
أفكر وأفسّر:



- أترك مظلتين متماثلتين إحداهما مغلقة والأخرى مفتوحة من الارتفاع ذاته وبالشروط الابتدائيّة ذاتها، أيّ المظلتين لها السّطح الظاهريّ الأكبر؟ وأيّهما تصل الأرض أولاً؟

أستنتج

- **السّطح الظاهري لجسم هو مساحة سطح مرتسمه على مستوٍ يعامد شعاع سرعته.**
- **تزداد مقاومة الهواء لحركة جسم بازدياد سطحه الظاهري وتتناسب طرداً معه بالنسبة للأجسام المتناظرة.**

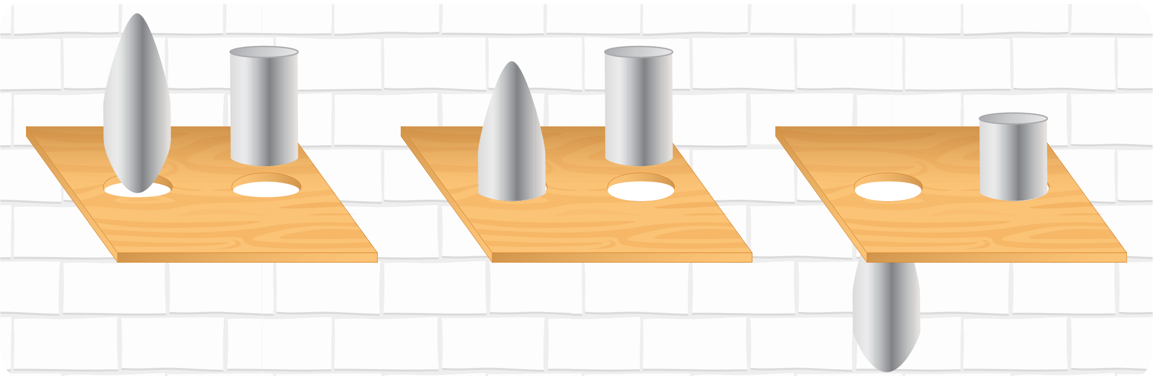


2. عامل الشكل:

ألاحظ وأفسر:

يُبيّن الشكل الآتي سقوط جسم مغزليّ وأسطوانة لهما السّطح الظاهريّ ذاته.

- أيّهما أكبر: مقاومة الهواء لحركة الجسم المغزليّ أم لحركة الأسطوانة؟



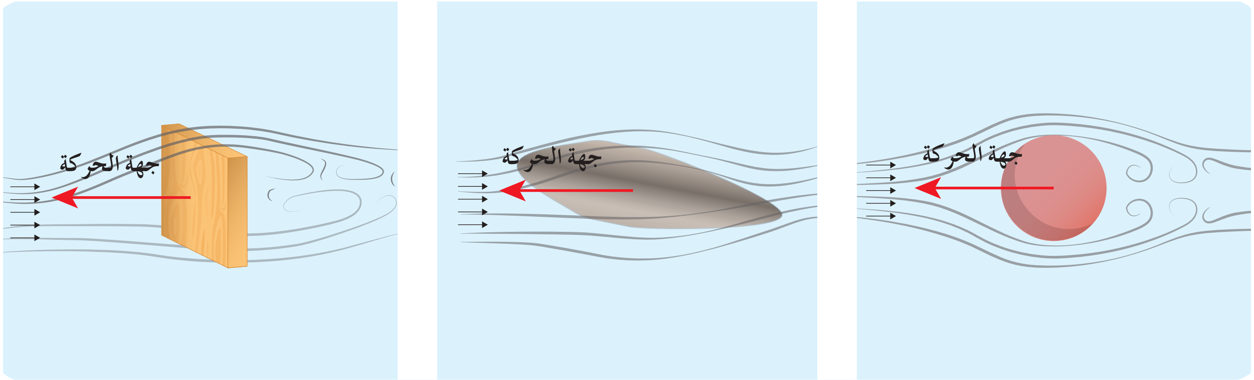
- إنّ مقاومة الهواء لحركة الأسطوانة أكبر من مقاومة الهواء لحركة الجسم المغزليّ لأن نقصاناً مفاجئاً في الضغط يحصل خلف الأسطوانة.

نشاط (2):

ألاحظ وأجيب:

يوضح الشكل المجاور مقاومة الهواء لعدّة أجسام مختلفة في شكلها.

- أقارن بين مقاومة الهواء على الأجسام الثلاثة وماذا أستنتج؟



– تختلف مقاومة الهواء باختلاف شكل الجسم وتنقص بالاقتراب من الشكل المغزلي الانسيابيّ للجسم.

3. عامل السّرعة:

نشاط (3):

ألاحظ وأجيب:

يبين الجدول الآتي النتائج التجريبيّة لسرعة سقوط كرة في هواء ساكن وقيم مقاومة الهواء الموافقة لهذه السرعات:

$v\,(m.s^{-1})$	2	4	6	8	10	16	20
$F_r\,(N)$	0.02	0.08	0.18	0.32	0.5	1.28	2
$\frac{F_r}{v^2}$							

- هل النسبة $\frac{F_r}{v^2}$ ثابتة؟
- ماذا تتوقّع أن تكون قيمة F_r عندما تكون قيمة سرعة الكرة $12\,m.s^{-1}$.

أستنتج

- **تتناسب مقاومة الهواء طرداً مع مربع السّرعة المتوسطة للجسم الساقط حيث أنّه اصطلح على تسمية قيم السّرعة المحصورة بين $1\,m.s^{-1}$ و $280\,m.s^{-1}$ بالسرعات المتوسطة.**

4. عامل الكتلة الحجميّة للهواء:

تتعلّق مقاومة الهواء بالكتلة الحجميّة للهواء الذي يتحرّك فيه الجسم حيث أنّ مقاومة الهواء تتناسب طرداً مع الكتلة الحجمية للهواء.

بناءً على الدّراسة السابقة نتوصّل إلى دستور مقاومة الهواء.

$$F_r = \frac{1}{2} k \rho s v^2$$

F_r : قوة مقاومة الهواء تقاس بالنيوتن N.

k : عدد ثابت لا واحدة له، تتوقف قيمته على شكل الجسم ونعومة سطحه.

ρ: الكتلة الحجمية للهواء، واحدة قياسها في الجملة الدوليّة $kg.m^{-3}$.

s: السّطح الظاهري للجسم، واحدة قياسه في الجملة الدوليّة m^2.

v: سرعة الجسم، واحدة قياسه في الجملة الدوليّة $m.s^{-1}$.

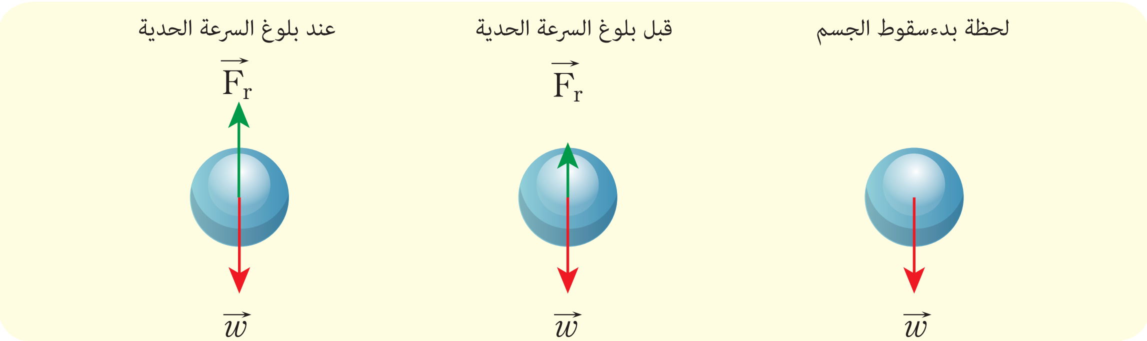
السّرعة الحديّة لسقوط جسم في الهواء:

نشاط (1):

أفكّر وأجيب:

تُركت كرة ثقلها 12.5 N لتسقط من ارتفاعات مختلفة دون سرعة ابتدائيّة في هواء ساكن سُجّلت النتائج التجريبية لسرعة الكرة وقوة مقاومة الهواء في الجدول الآتي.

رقم التجربة	1	2	3	4	5	6	7
$v\,(m.s^{-1})$	0	2	4	8	10	10	10
$F_r\,(N)$	0	0.5	2	8	12.5	12.5	12.5



- ما القوى الخارجيّة المؤثّرة على الكرة في لحظة بدء السقوط.
- ما قيمة F_r عندما تكون v ثابتة وهل تتساوى مع قيمة w.
- ما طبيعة حركة الكرة عندئذ معلّلاً إجاباتك؟

لنستنتج العلاقة المحددة للسرعة الحديّة لسقوط جسم صلب في هواء ساكن بالنسبة لمراقب خارجي.

جملة المقارنة: مراقب خارجي.

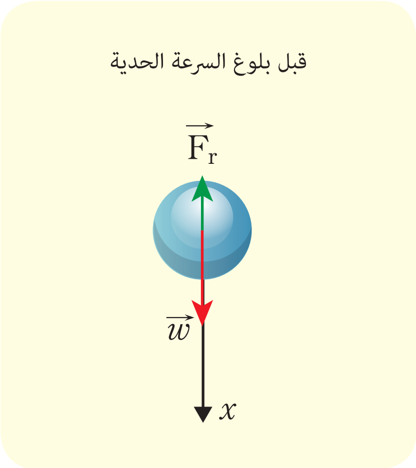
الجملة المدروسة: الجسم الصلب.

القوى الخارجيّة المؤثّرة:

عند بدء السقوط يكون الجسم خاضعاً لتأثير قوة ثقله الثابتة $\vec{w}$ فقط، ثمّ تتولّد قوّة مقاومة الهواء $\vec{F_r}$ التي تزداد بزيادة سرعة سقوط الجسم كما وجدنا في النشاط السابق.

نطبّق العلاقة الأساسيّة في التحريك:

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$$
$$\vec{w} + \vec{F}_r = m\vec{a}$$



بالإسقاط على محور شاقوليّ موجه نحو الأسفل:

$$w - F_r = ma$$
$$a = \frac{w - F_r}{m}$$

- في بداية السقوط تكون:

$$w > F_r$$
$$w - F_r > 0$$
$$a > 0$$

حركة سقوط الجسم مستقيمة متسارعة.

- **تزداد v فتزداد F_r ويستمرّ ذلك حتى يصبح:**

$$w = F_r$$
$$w - F_r = 0$$
$$a = 0$$

أي: يتناقص التسارع حتّى ينعدم، وتصبح حركة سقوط الجسم مستقيمة منتظمة، ويصبح شعاع السرعة ثابتاً حاملاً وجهةً وشدةً تُدعى السّرعة الحديّة v_t وهي أعظم سرعة يبلغها جسم يسقط في هواء ساكن، ويتحقّق ذلك عندما تنعدم محصّلة القوى الخارجيّة المؤثّرة في الجسم.

أيّ:

عند بلوغ السّرعة الحديّة فإنّ:

$$w = F_r$$
$$mg = \frac{1}{2} k \rho s\, v_t^2$$
$$v_t^2 = \frac{2mg}{k \rho s}$$
$$v_t = \sqrt{\frac{2mg}{k \rho s}}$$

لنتساءل: كيف تصبح العلاقة السابقة من أجل سقوط جسم كرويّ نصف قطره r وكتلته الحجمية ρ_s:

أتذكّر: تعطى كتلة الجسم بالعلاقة:

$$m = V\rho_s = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s$$

نعوّض في العلاقة المحدّدة للسّرعة الحديّة:

$$v_t = \sqrt{\frac{2 \times \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s g}{k\,\rho \pi r^2}}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{8 r \rho_s g}{3k\,\rho}}$$

أستنتج:

تتعلّق قيمة السّرعة الحديّة لسقوط جسم كرويّ في هواء ساكن المقدارين:

1. كتلته الحجميّة ρ_s.
2. نصف قطره r.

وهي تتناسب طرداً مع الجذر التربيعيّ لكلّ منهما.

مناقشة: إذا كان لدينا جسمان كرويّان يسقطان في هواء فإنّ:

$$v_t = \sqrt{\frac{8 r_1 \rho_{s1} g}{3k\,\rho}}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{8 r_2 \rho_{s2} g}{3k\,\rho}}$$

وبالتالي:

$$\frac{v_t}{v_t} = \sqrt{\frac{r_1 \rho_{s1}}{r_2 \rho_{s1}}}$$

أميّز حالتين:

a. إذا كانت الكرتان من مادّتين مختلفتين، ولهما القطر ذاته.

$$r_1 = r_2$$

$$\frac{v_{t1}}{v_{t2}} = \sqrt{\frac{\rho_{s1}}{\rho_{s2}}}$$

فإذا كانت: $\rho_{s1} > \rho_{s2}$

$$v_{t_1} > v_{t_2}$$

أي تصل الكرة الأكثف أولاً إلى الأرض.
لذلك تصل كرة الرصاص أولا إلى الأرض قبل كرة القدم بشرط سقوطهما من الارتفاع ذاته وفي اللحظة ذاتها وبشروط متماثلة.

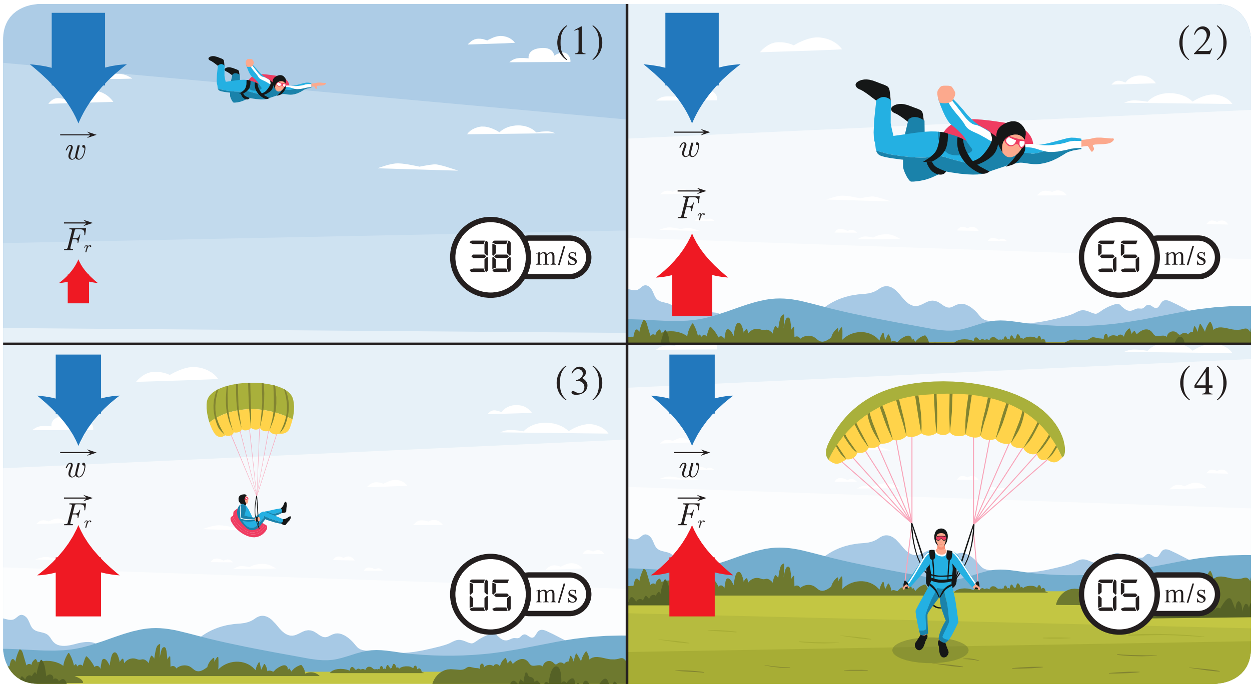
b. إذا كانت الكرتان من مادة واحدة، ومختلفتين قطراً.

$$\rho_{s_1} = \rho_{s_2}$$
$$\frac{v_{t_1}}{v_{t_2}} = \sqrt{\frac{r_1}{r_2}}$$

إذا كانت:
$$r_1 > r_2$$
$$v_{t_1} > v_{t_2}$$

لذلك تصل حبّات البرد الكبيرة الى الأرض قبل حبّات البرد الأصغر قطراً بالرّغم من انّهما تشكلتا في اللحظة ذاتها وسقطت من الارتفاع ذاته وبشروط متماثلة.

تطبيقات السّرعة الحديّة:



إنّ أشهر التطبيقات على السّرعة الحديّة هي حركة جملة (مظليّ–مظلة) حيث يصل المظليّ إلى الأرض بسرعة حديّة صغيرة لا تتجاوز عدة أمتار في الثانية بسبب السّطح الظاهريّ الكبير للمظلة.

تطبيق (1):

يرتبط مظلي كتلته $80\,kg$ بمظلّة كتلتها $20\,kg$ سطحها الظاهري $50\,m^2$ بجملة حبال مهملة الكتلة تبدأ الجملة حركتها في السكون لتسقط في هواء ساكن من ارتفاع باعتبار أنّ مقاومة الهواء على المظلة تعطى بالعلاقة $F_r = 08.SV^2$ وبإهمال مقاومة الهواء على المظليّ المطلوب ما يلي:

1. استنتج بالرموز العلاقة المحدّدة للسّرعة الحديّة لسقوط الجملة، ثم احسب قيمتها.
2. احسب تسارع الجملة عندما تبلغ سرعتها $2.5\,m.s^{-1}$.
3. استنتج العلاقة المحدّدة لقوة شد مجمل حبال المظلّة أثناء سقوط الجملة في كلّ من الحالتين الآتيتين:

a. لحظة بلوغ سّرعة الجملة. $v = 2.5.m.3^1$

b. أثناء سقوط الجملة بسرعتها الحديّة. $g=10m.s^{-2}$

الحل:

$$m_1 = 80\,kg \quad ,m_2 = 20\,kg \quad ,s = 50\,m^2$$
$$g = 10\,m.s^{-2} \quad ,F_r = 0.8\,sv^2$$

1. استنتاج علاقة السّرعة الحديّة:

جملة المقارنة: خارجية.

الجملة المدروسة: (مظلي، مظلته).

القوى الخارجية المؤثرة:

$\vec{w}$: قوة ثقل الجملة الثابتة.

$\vec{F_r}$: قوة مقاومة الهواء المتغيرة بتغير السّرعة.

نطبق العلاقة الأساسية في التحريك:

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$$
$$\vec{w} + \vec{F}_r = m\vec{a}$$

بالإسقاط على محور شاقوليّ موجّه نحو الأسفل نجد:

$$w - F_r = ma$$

عند بلوغ السّرعة الحديّة ينعدم التسارع وتصبح حركة مركز عطالة الجملة مستقيمة منتظمة:

$$a = 0$$
$$w - F_r = 0$$
$$mg = 0.8\,sv_l^2$$
$$v_l^2 = \frac{mg}{0.8\,s} \qquad m = m_1 + m_2 = 100\,kg$$
$$v_l = \sqrt{\frac{mg}{0.8\,s}}$$
$$v_l = \sqrt{\frac{100 \times 10}{0.8 \times 50}} = 5\,m.s^{-1}$$

2. حساب التسارع عندما:

$$v = 2.5\,\text{m.s}^{-1}$$

نلاحظ أن: $v < v_2$

الحركة مستقيمة متسارعة.

من (1)

$$a = \frac{w - F_r}{m} = \frac{mg - 0.8\,sv^2}{m}$$

$$= \frac{100 \times 10 - 0.8 \times 50 \times 6.25}{100}$$

$$a = 10 - 0.4 \times 6.25 = 7.5\,\text{m.s}^{-2}$$

3. استنتاج قوة شد مجمل حبال المظلّة:

كي تصبح قوة شد مجمل حبال المظلّة قوة خارجية ندرس جملة المظلي فقط:

الجملة المدروسة: مظلي.

القوى الخارجية المؤثرة:

$\vec{w}_1$: قوة ثقل المظلي الثابت

$\vec{T}$: قوة شد مجمل حبال المظلّة

نطبق العلاقة الأساسية في التحريك:

$$\Sigma\vec{F} = m_1\vec{a}$$

$$\vec{w} + \vec{T} = m\vec{a}$$

بالإسقاط على محور شاقوليّ موجه نحو الأسفل:

$$w_1 - T = m_1 a$$

أو $T = m_1 g - m_1 a$

$$T = m_1 (g - a)$$

a. عندما تبلغ سرعة الجملة $v = 2.5\,\text{m.s}^{-1}$ فإن:

$$a = 7.5\,\text{m.s}^{-2}$$

فتصبح قوة شد مُجمل حبال المظلّة:

$$T = 80 \times 10 - 80 \times 7.5 = 200\,\text{N}$$

b. عندما تبلغ الجملة سرعتها الحديّة:

$$v = v_l \Longrightarrow a = 0 \Longrightarrow T = m_1 g$$

$$T = 80 \times 10 - 0 = 800\,\text{N}$$

تعلّمتُ

- **تنشأ قوة مقاومة الهواء F_r من نوعين من القوى هما:**
1. قوى الاحتكاك: تنتج عن لزوجة الهواء.
2. قوى الضغط: تنتج عن تفاوت الضغط بين مقدمة الجسم وخلفه.

- **تعطى قوة مقاومة الهواء لحركة جسم في هواء ساكن من اجل السرعات المتوسطة بالعلاقة:**

$$F_r = \frac{1}{2} k \rho s v^2$$

- **k : ثابت يتعلّق بشكل الجسم ونعومة سطحه.**
- **ρ : الكتلة الحجمية للهواء** $kg.m^{-3}$.
- **s : السّطح الظاهري للجسم** m^2.
- **v : سرعة الجسم** $m.s^{-1}$.
- **السّرعة الحديّة للجسم: هي أعظم سرعة يبلغها الجسم الساقط في هواء ساكن وتكون حركة الجسم عندئذ مستقيمة منتظمة:**

$$\Sigma\vec{F} = \vec{0} \qquad \vec{a} = 0 \qquad \vec{v}_t = \overrightarrow{const} \qquad |w| = |F_r|$$

- **عندما تسقط كرتان في هواء ساكن فإن النسبة بين سرعتيهما الحديتين تعطى بالعلاقة:**

$$\frac{v_{t_1}}{v_{t_2}} = \sqrt{\frac{\rho_{s_1} r_1}{\rho_{s_2} r_2}}$$

وبالتالي: تتعلّق السّرعة الحديّة لسقوط كرة في هواء ساكن بمقدارين:
1. نصف قطرها r.
2. كتلتها الحجمية ρ_s.

- **يصل المظلي إلى الأرض بسرعة حدّية صغيرة بحيث لا يؤذيه السقوط، وذلك بفضل السّطح الظاهري الكبير لمظلته.**

أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. تسقط كرتان من مادة واحدة في هواء ساكن نصف قطر الأولى r_1 وسرعتها الحديّة v_{t_1} فإذا كان نصف قطر الثانية $r_2 = 4r_1$ فان سرعتها الحديّة v_{t_2} تساوي:

a. $v_{t_2} = 4\,v_{t_1}$ b. $v_{t_2} = 2\,v_{t_1}$ c. $v_{t_2} = \frac{1}{4}v_{t_1}$ d. $v_{t_2} = \frac{1}{2}v_{t_1}$

2. تسقط كرتان لهما القطر ذاته في هواء ساكن فإذا كانت $v_{t_1} = 3v_{t_2}$ فان الكتلة الحجمية ρ_{s_1} تساوي:

a. $\rho_{s_1} = 3\,\rho_{s_2}$ b. $\rho_{s_1} = 9\,\rho_{s_2}$ c. $\rho_{s_1} = \frac{1}{3}\rho_{s_2}$ d. $\rho_{s_1} = \frac{1}{9}\rho_{s_2}$

3. يسقط جسم في هواء ساكن فتكون طبيعة حركته قبل بلوغه السّرعة الحديّة متسارعة مستقيمة:

a. متسارعة بانتظام b. متباطئة بانتظام c. متغيرة d. منتظمة

4. يسقط مظلي ثقله في هواء ساكن فتكون قوة شد مجمل حبال المظلّة المؤثرة على المظلي قبل بلوغ السرعة الحدّية:

a. $T = w_1$ b. $T > w_1$ c. $T < w_1$ d. $T = w_1 + m_1 a$

ثانياً: اعط تفسيراً علمياً لكلّ ممّا يأتي مستخدماً العلاقات الرياضية المناسب:

1. عند بلوغ السّرعة الحديّة لسقوط جسم في هواء ساكن ينعدم التسارع.
2. قبل بلوغ السّرعة الحديّة تكون حركة الجسم الساقط دون سرعة ابتدائية مستقيمة متسارعة.

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

تسقط كرة فارغة من الألمنيوم نصف قطرها $r = 2\,\text{cm}$ وكتلتها $m = \pi g$ دون سرعة ابتدائيّة في هواء ساكن من ارتفاع كافٍ.

والمطلوب:

1. ادرس مراحل وصول الكرة إلى سرعتها الحديّة مستنتجاً العلاقة المحدّدة لسرعتها الحديّة بافتراض $F_r = 0.25\,\text{sv}^2$ ثمّ احسب قيمتها.
2. احسب تسارع حركة الكرة في اللحظة التي تبلغ سرعتها $5\,\text{m.s}^{-1}$، واحسب شدة محصّلة القوى المؤثرة على الكرة عندئذٍ.
3. احسب محصّلة أعمال القوى الخارجية المؤثرة على الكرة لحظة سقوطها حتى لحظة بلوغها السّرعة الحديّة.
4. ماذا تصبح قيمة السّرعة الحديّة إذا كانت الكرة مصمتة بالقطر ذاته، والكتلة الحجمية لمادتها $\rho_{AL} = 2.7\,\text{g.cm}^{-3}$.

المسألة الثانية:

تُقذف كرة مصمتة نصف قطرها $2.5\ mm$ وكتلتها الحجمية $3000\ kg.m^{-3}$ بسرعة ابتدائيّة أفقية قيمتها $20\ m.s^{-1}$ على مستوي أفقي أملس في هواء ساكن باعتبار إن:

$$F_r = 0.25\ SV^2$$

المطلوب:

1. استنتج العلاقة المحدّدة لتسارع الكرة واحسب قيمته لحظة بلوغ الكرة لسرعة قيمتها تساوي نصف قيمة السّرعة الابتدائيّة التي قذفت بها.
2. ما طبيعة حركة الكرة، معللاً إجابتك؟.
3. احسب محصلة أعمال القوى الخارجية المؤثرة على الكرة من لحظة قذفها حتى لحظة وقوفها.

المسألة الثالثة:

تبلغ قيمة السّرعة الحديّة لمظلي ومظلته مفتوحة $5\ m.s^{-1}$

المطلوب:

1. استنتج العلاقة المحددة لنصف قطر المظلّة التي الواجب استخدامها إذا كانت بشكل نصف كرة وبفرض وكتلتها $25\ kg$، وكانت كتلة المظلي $75\ kg$ ثمّ احسب قيمته باعتبار أنّ مقاومة الهواء على المظلة تعطى بالعلاقة. $F_r = 0.8\ SV^2$
2. استنتج العلاقة المحددة لقوة شد مجمل حبال المظلّة في أثناء سقوط الجملة بسرعتها الحديّة السابقة ثمّ احسب قيمتها العددية.
3. احسب كمية حركة المظلي لحظة وصوله سطح الأرض.

تفكير ناقد

في أثناء سقوط المظلي و قبل فتح مظلّته فإنّه يأخذ شكل الصقر المجنّح. فسّر ذلك.

أبحث أكثر

يتمّ بناء الطائرات خصيصًا لتحمّل أشدّ المطبات الهوائية، ويتم تدريب الطيارين على التعامل معها، ابحث في ذلك مستعيناً بمكتبة مدرستك أو في الشابكة.

مشروع دراسة حركة وصيانة إطارات السيارة

- الهدف العام: الاستفادة من الحركة الدورانية ومفهوم عزم العطالة في صيانة إطارات السيارات.

أهداف المشروع:

1. دراسة تطبيقات عزم العطالة من الناحية العملية.
2. توضيح أهمية عزم العطالة في الحركات الدورانية وتطبيقاتها.
3. إبراز عامل الأمان في صناعة وصيانة الإطارات.
4. تسليط الضوء على ضرورة عدم استعمال الإطارات المستعملة لما لها من مخاطر.
5. ضرورة العناية بالجسم المعدني للدولاب من خلال الفحوصات الدورية لها وضرورة وزنها بدقة.
6. التأكد من سلامة العجلات وعدم وجود تشوهات فيها أو نقاط ضعف.

مراحل المشروع:

أولاً: التخطيط:

- تحديد طبيعة حركة إطار السيارة وكتلته وقطره والوحدات المستخدمة في قياسه.
- تحديد أنواع الإطارات المستخدمة في السوق السورية من حيث الاستخدام.
- زيارة ميدانية لمركز خدمة يعنى بالإطارات والاطلاع على آلية الصيانة وتركيب الإطارات.
- إجراء استطلاع ولقاء مع عامل الخدمة يهدف لمعرفة متى وكيف تتم الصيانة للإطارات.
- ربط سرعة السيارة مع نوعية الإطارات المستخدمة.

- معرفة الأجهزة المستخدمة في الصيانة وربطها مع المفهوم الفيزيائي.

ثانياً: التنفيذ:

توزيع الطلاب لأربع مجموعات:

- **المجموعة الأولى مهمتها:** القيام بزيارة ميدانية لمركز الخدمة حديث وجمع المعلومات حول آلية صيانة وتركيب الإطارات الجديدة والعمر الافتراضي للإطار والإجراءات المتبعة لتحقيق السلامة العامة وإعداد تقرير فيزيائي مفصل حول الزيارة.
- **المجموعة الثانية مهمتها:** جمع المعلومات عن أهم الاحتياطات والتدابير الواجب اتخاذها لسلامة الإطارات من خلال لقاء يتم مع رجال المرور.
- **المجموعة الثالثة مهمتها:** إجراء تقاطع للمعلومات التي تم الحصول عليها من المجموعتين السابقتين والبحث عبر الشابكة حول الإجراءات المرورية المتبعة في بعض الدول لتحقيق السلامة المرورية.
- **المجموعة الرابعة مهمتها:** إعداد تقرير مفصل يتم فيه ربط المعلومة الميدانية بالمفهوم الفيزيائي ونشر ما تم التوصل آليه عبر مجلة الحائط في الثانوية.

ثالثاً: التقويم:

مناقشة التقرير النهائي مع مدرس الفيزياء ونشر ما تم التوصل اليه عبر مجلة الحائط في الثانوية.

الوحدة الثانية
الكهرباء

تعدّ عملية تخزين الطاقة الكهربائية من أهم وظائف المكثفات، كما أنّ للأجهزة الإلكترونية دوراً مهماً في حياتنا اليومية حيث تستخدم في أجهزة الاتصال ووسائل الإعلام وفي الأجهزة الطبية المتنوعة، وأجهزة الحواسيب.

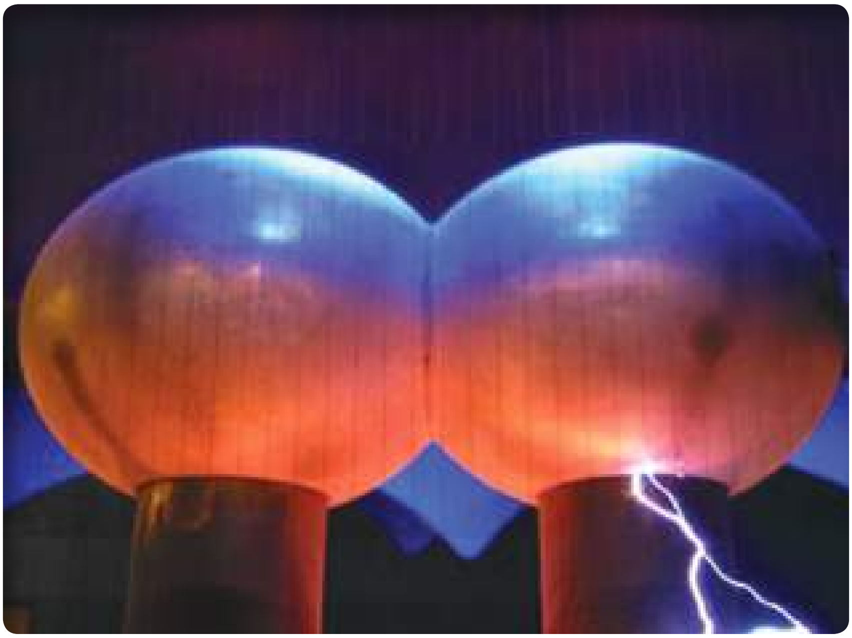
1 السّعة الكهربائيّة

الأهداف:

* يتعرف مفهوم السّعة الكهربائيّة.
* يوضح بيانياً العلاقة بين شحنة ناقل وكمونه.
* يستنتج العلاقة التي تحدد السّعة الكهربائيّة لناقل كرويّ.
* يبيّن العوامل المؤثّرة في سعة ناقل.
* يوضّح توزّع الشحنات على سطوح النواقل المتّصلة.

الكلمات المفتاحية:

* سعة ناقل
* الفاراد
* كمون التوازن



يعبّر عن سعة وعاء بحجم السائل الذي يمكن أن يستوعبه، كما يعبّر عن سعة ذاكرة حاسوب بحجم المعلومات التي يمكن أن تختزّن فيها

فهل للناقل الكهربائيّ سعة؟

مفهوم السّعة الكهربائيّة:

أجرّب وأستنتج:

أدوات التجربة:

(ناقل معدنيّ، آلة ويمشورت، كشّاف كهربائيّ، أسلاك توصيل)

- أضع ناقل معدنيّ فوق قرص كشّاف كهربائيّ مدرّج بالفولط، ماذا ألاحظ؟
- أشحن الناقل بواسطة آلة ويمشورت، وأصله بقرص الكشّاف، ماذا ألاحظ؟ ماذا أستنتج؟

– لا تنفرج وريقتي الكشّاف، لأنّ الناقل غير مشحون، وكمونه معدوم

– تنفرج وريقتا الكشّاف، ممّا يدل على كمون الناقل بسبب اكتسابه شحنات كهربائية.

أستنتج

عندما يكتسب الناقل شحنة كهربائيّة $\overline{q}$ يصبح له كموناً $\overline{V}$.

نشاط (1):

بيّنت التجارب أنه عند شحن ناقل بشحنات مختلفة نحصل على الكمون الموافق لكلّ عمليّة شحن كما هو موضّح بالجدول:

شحنة الناقل ($\overline{q}$)	كمون الناقل ($\overline{V}$)	$\frac{\overline{q}}{\overline{V}}$
$\overline{q}_1 = -6 \times 10^{-11}\ C$	$\overline{V}_1 = -6\ V$	
$\overline{q}_2 = -12 \times 10^{-11}\ C$	$\overline{V}_2 = -12\ V$	
$\overline{q}_3 = 12 \times 10^{-11}\ C$	$\overline{V}_3 = 12\ V$	
$\overline{q}_4 = 18 \times 10^{-11}\ C$	$\overline{V}_4 = 18\ V$	
$\overline{q}_5 = 24 \times 10^{-11}\ C$	$\overline{V}_5 = 24\ V$	

- أحسب النسبة $\frac{\overline{q}}{\overline{V}}$.
- أرسم الخطّ البيانيّ المعبّر عن شحنة الناقل بدلالة كمونه.
- أحسب ميل الخط البيانيّ الناتج.
- أقارن ميل الخط الناتج مع النسبة $\frac{\overline{q}}{\overline{V}}$.

أستنتج

- نسبة شحنة ناقل إلى كمونه مقدار ثابت.

$$\frac{\overline{q}_1}{\overline{V}_1} = \frac{\overline{q}_2}{\overline{V}_2} = \frac{\overline{q}_3}{\overline{V}_3} = \frac{\overline{q}}{\overline{V}} = const$$

- الخط البيانيّ المعبر عن شحنة الناقل بدلالة كمونه مستقيم ويمّر من المبدأ.
- تدعى النسبة الثابتة $\frac{\overline{q}}{\overline{V}}$ لناقل بالسّعة الكهربائيّة C وهي عدد موجب دوماً، وتعطى بالعلاقة $C = \frac{\overline{q}}{\overline{V}}$
- تقدر السّعة الكهربائيّة للناقل في الجملة الدولية بواحدة F (الفاراد).
- الفاراد هو السّعة الكهربائيّة لناقل معزول إذا شحن بشحنة مقدارها كولوم واحد يكون كمونه فولطاً واحداً.

سعة ناقل كرويّ:

نشاط (2):

- أكتب عبارة سعة ناقل.
- أكتب عبارة كمون ناقل كرويّ نصف قطره r ومشحون بشحنة q.

$$C = \frac{\overline{q}}{\overline{V}}$$

- أستنتج عبارة سعة ناقل كرويّ:

$$\overline{V} = 9 \times 10^9 \frac{\overline{q}}{r}$$

$$C = \frac{q}{9 \times 10^9 \frac{\overline{q}}{r}}$$

سعة ناقل كرويّ:

$$C = \frac{r}{9 \times 10^9}$$

أستنتج

السّعة الكهربائيّة لناقل كرويّ تتناسب طرداً مع نصف قطره. وتعطي بالعلاقة: $C = \frac{r}{9 \times 10^9}$

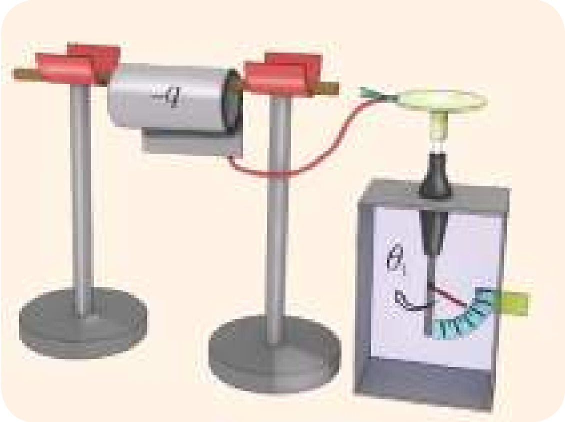
نشاط (3):

- احسب نصف قطر ناقل كرويّ سعته 1F؟
- أقارن الجواب مع نصف قطر الأرض $(R_0 = 6400\ \text{km})$

ملاحظة

الفاراد سعة كبيرة جدّاً لذلك نتعامل عملياً مع أجزاء الفاراد.

العوامل المؤثّرة في السّعة الكهربائيّة لناقل :



أجرّب وأستنتج:

أدوات التجربة:

(آلة ويمشورت، ورق من الألمنيوم، قلم بلاستيكي، سلك ناقل طويل ورفيع، كشّاف كهربائيّ، مواد ناقلة، مواد عازلة).

1. مساحة سطح الناقل:

- أَلُفُّ صفيحة رقيقة (ورقة) من الألمنيوم أو الزنك على قلم بلاستيكيّ.
- أشحن الصفيحة المعدنيّة عن طريق ملامستها بجسم مشحون بعد وصلها بسلك دقيق وطويل بقرص كشّاف غير مشحون، ألاحظ انفراج وريقتي الكشّاف.
- أدوّر القلم البلاستيكي بحيث تزداد مساحة سطح الصفيحة، ماذا ألاحظ؟

يتناقص انفراج وريقتي الكشّاف مما يدل على تناقص كمون الصفيحة.

أستنتج

تزداد سعة ناقل بازدياد مساحة سطحه الخارجيّ.

2. وجود نواقل مجاورة:

- أشحن ناقلاً معدنياً A ، وأصله بقرص كشّاف كهربائيّ، فتنفرج وريقتا االكشّاف.
- أقرّب منه ناقلاً معتدلاً B ، ماذا ألاحظ؟

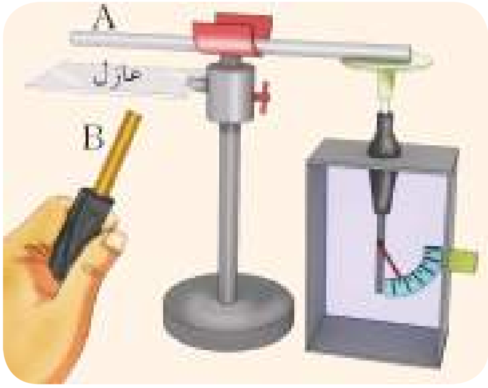
يتناقص انفراج وريقتي الكشّاف مما يدل على تناقص كمون الصفيحة.

أستنتج

تزداد سعة ناقل بوجود نواقل مجاورة.

3. الوسط العازل بين الناقل والنواقل المجاورة:

- أضع بين الناقلين B و A وسطاً عازلاً (صفيحة من الزجاج) ماذا ألاحظ؟



تناقص انفراج وريقتي الكشّاف أي تناقص الكمون مع بقاء الشحنة ذاتها.

أستنتج

تتوقّف سعة ناقل على نوع العازل بين الناقل المشحون والنواقل المجاورة له.

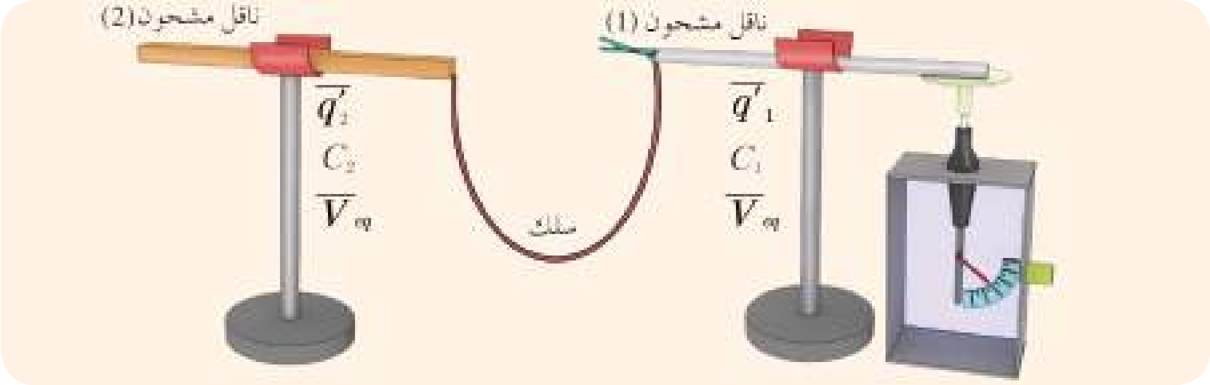
توزّع الشحنات على سطوح النواقل المتّصلة

نشاط (4):

- آخذ ناقلين مشحونين ومعزولين شحنتاهما على الترتيب $(\overline{q}_1, \overline{q}_2)$ وسعتاهما (C_1, C_2) وكموناهما $(\overline{V}_1, \overline{V}_2)$
- أضع كلّ منهما على قرص كشّاف كهربائيّ، ماذا ألاحظ؟

- أكتب العلاقة المعبّرة عن شحنة كلّ منهما.

- أصل سطحي الناقلين بسلك ناقل رفيع وطويل، ماذا الاحظ؟ ماذا أستنتج؟



- بالاعتماد على مبدأ مصونيّة الشحنة استنتج علاقة الكمون المشترك لجملة الناقلين
- أكتب علاقة شحنة كل من الناقلين بعد الوصل.
- أفسّر إلكترونياً الوصول إلى كمون مشترك للناقلين.
- ألاحظ:
  - انفراج وريقتا كلّ كاشف بزاوية تختلف عن الأخرى
  - $\overline{q}_1 = \overline{V}_1 C_1$ ، $\overline{q}_2 = \overline{V}_2 C_2$.
  - أستنتج تساوي كمون كل من الناقلين، بُعيد الوصل وندعوه الكمون المشترك $\overline{V}_{eq}$ (كمون التوازن)
  - إيجاد قانون الكمون المشترك: $\overline{V}_{eq} = \frac{\overline{q'_1}}{c_1} = \frac{\overline{q'_2}}{c_2} = \frac{\overline{q'}_1 + \overline{q'}_2}{c_1 + c_2}$

ولكن: $\overline{q'}_1 + \overline{q'}_2 = \overline{q_1} + \overline{q_2}$ (حسب مبدأ مصونيّة الشحنة)

بالتعويض نجد: $\overline{V}_{eq} = \frac{\overline{q'}_1 + \overline{q'}_2}{c_1 + c_2}$ أي: $\overline{V}_{eq} = \frac{\Sigma \overline{q}}{\Sigma c}$

أستنتج

الكمون المشترك لنواقل متصلة يساوي نسبة المجموع الجبري للشّحنات الكهربائيّة للنواقل إلى مجموع سعاتها الكهربائيّة.

- شحنة كلّ من الناقلين بعد الوصل: $\overline{q'}_1 = \overline{V}_{eq} c_1$, $\overline{q'}_2 = \overline{V}_{eq} c_2$
- **التفسير الإلكترونيّ: تنتقل الإلكترونات الحرّة من الناقل ذي الكمون المنخفض إلى الناقل ذي الكمون المرتفع عبر سلك الوصل، ويستمر ذلك الانتقال حتى يتم التوازن بتساوي كمونيهما ونحصل على الكمون المشترك.**

ملاحظة:

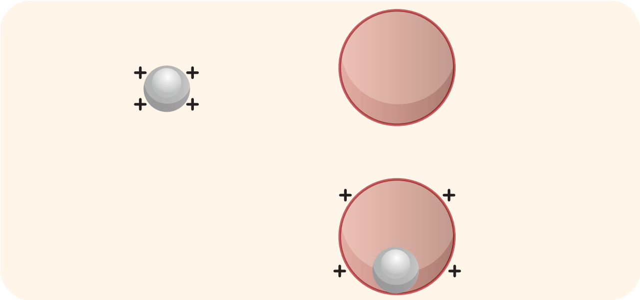
تتوزع الشحنات الكهربائيّة على السطوح الخارجيّة للنواقل المتّصلة بنسبة سعاتها حيث:

$$\left.\begin{aligned} \overline{q'}_1 &= \overline{V}_{eq}.C_1 \\ \overline{q'}_2 &= \overline{V}_{eq}.C_2 \end{aligned}\right\} \quad \frac{\overline{q'}_1}{\overline{q'}_2} = \frac{C_1}{C_2} = V_{eq}$$

تمرين:

في الشكل ناقلان كرويّان الأول مشحون بشحنة q_1 والثاني أجوف غير مشحون، ندخل الناقل الأوّل داخل الناقل الثاني وفق الشكل. المطلوب:

1. ما شحنة كلّ من الناقلين بعد الوصل.
2. ما العلاقة بين كموني الناقلين بعد الوصل؟ فسّر إجابتك.



تعلّمتُ

- السّعة الكهربائيّة لناقل مشحون ومعزول هي النسبة الثابتة التي تقيس شحنته $\overline{q}$ إلى كمونه $\overline{V}$ و تعطى بالعلاقة $C=\frac{q}{V}$.
- سعة ناقل كرويّ تتناسب طرداً مع نصف قطره و تعطى بالعلاقة: $C=\frac{r}{9\times10^9}$
- تزداد سعة ناقل لو ازدادت مساحة سطحه أو إذا جاور نواقل أخرى وتتغيّر السّعة بتغيّر نوع الوسط العازل الفاصل بين الناقل المشحون والنواقل المجاورة.
- تتوزّع الشحنات الكهربائيّة على السطوح الخارجيّة للنواقل المتّصلة بنسبة السعات ويدعى كمونها بالكمون المشترك أو كمون التوازن و يعطى بالعلاقة: $V_{eq}=\frac{\Sigma q}{\Sigma c}$
- عند وصل ناقلين خارجاً بسلك ناقل تنتقل الإلكترونات الحرّة من الناقل ذي الكمون المنخفض إلى الناقل ذي الكمون المرتفع، و يستمر الانتقال حتى يتمّ التوازن بتساوي كمونيهما. وتتحقق العلامة:

$$veq=\frac{\overline{\Sigma q}}{\Sigma c}=\frac{qi}{c_2}=\frac{q_2^1}{c_2}$$

أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكلّ ممّا يأتي:

1. ناقل مشحون ومعزول سعته الكهربائيّة $C = 6.4\,\mu F$ كمونه $\overline{V} = 100\,V$ فإذا علمت أنّ $e = 1.6 \times 10^{-19} C$ فإنّ عدد الإلكترونات التي يكتسبها حتى يعتدل:

   a. $n = 4 \times 10^{15}$ b. $n = 6.4 \times 10^{14}$ c. $n = 1.5 \times 10^{16}$ d. $n = 3.2 \times 10^{16}$

2. ناقل كرويّ نصف قطره r، نجعل نصف قطره $2r$ فإنّ سعته الكهربائيّة تصبح:

   a. مثلي ما كانت عليه   b. أربعة أمثال ما كانت عليها

   c. ربع ما كانت عليها   d. نصف ما كانت عليها

3. ناقل كرويّ مشحون ومعزول شحنته $\overline{q} = 3\,nC$ وقطره $27\,cm$، فإنّ كمونه الكهربائيّ مقدراً بالفولط يساوي:

   a. 4×10^{2} b. 3×10^{2} c. 5×10^{2} d. 2×10^{2}

4. ناقل كرويّ معزول نصف قطره $r = 9\,cm$ تكون سعته الكهربائيّة مساوية:

   a. $1 \times 10^{-11}\,F$ b. $2 \times 10^{-11}\,F$ c. $2 \times 10^{-11}\,F$ d. $1 \times 10^{-11}\,F$

5. ناقل كرويّ مشحون ومعزول كمونه $\overline{V}_1$ نصله بسلك دقيق وطويل مع ناقل كرويّ يماثله بنصف القطر غير مشحون، فيكون الكمون المشترك لهما مساوياً:

   a. $\frac{\overline{V}_1}{2}$ b. $2\overline{V}_1$ c. $\overline{V}_1$ d. $3\overline{V}_1$

6. كرة معدنيّة معزولة نصف قطرها $r_1 = 9\,cm$ و شحنتها $\overline{q}_1 = 4\,\mu c$ وكرة معدنيّة أخرى غير مشحونة سعتها $C_2 = 3C_1$، نصل سطحي الكرتين بسلك رفيع وطويل فتكون قيمة كمون التوازن يساوي:

   a. $10^{6}\,V$ b. $10^{4}\,V$ c. $10^{3}\,V$ d. $10^{5}V$

7. كرة معدنيّة معزولة سعتها C_1 وكمونها $\overline{V}_1$ وكرةٍ معدنيّة ثانية جوفاء غير مشحونة سعتها $C_2 = 2C_1$، ندخل الكرة الأولى في الثانية بحيث تلامسها من الداخل فإنّ كمون الكرة الأولى يصبح:

   a. مثلي ما كانت عليه   b. نصف ما كان عليه

   c. ثلاثة أمثال ما كان عليه   d. ثلث ما كان عليه

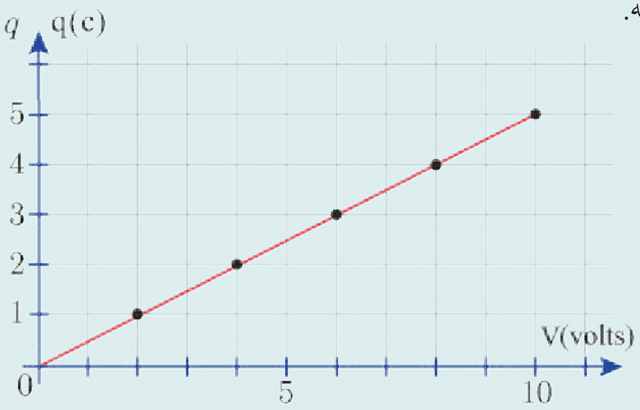
ثانياً: أعط تفسيراً علميّاً لكلّ ممّا يأتي:

1. ازدياد سعة ناقل إذا جاور نواقل أخرى.
2. تتوزّع الشحنات الكهربائيّة على سطح ناقل مشحون و معزول بشكل متجانس.

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

يمثّل المنحني البيانيّ الآتي تغيّرات كمون ناقل بتغيّر شحنته.



المطلوب:

1. احسب ميل هذا المنحني البيانيّ وماذا يمثّل؟
2. احسب نصف قطر هذا الناقل المشحون.
3. نصل هذا الناقل الكرويّ المشحون بسلك ناقل طويل ورفيع بناقل كرويّ ثانٍ غير مشحون، فيصبح كمون الناقل المشحون ثلث ما كان عليه المطلوب حساب سعة الناقل الكرويّ الثاني.

المسألة الثانية:

يشحن ناقل كرويّ نصف قطره $r = 4.5\,\text{cm}$ بشحنة مقدارها $\overline{q} = 0.5\times10^{-9}\,\text{C}$

المطلوب:

1. حساب السعة الكهربائيّة لهذا الناقل في الهواء.
2. احسب كمون هذا الناقل.

المسألة الثالثة:

ناقل سعته $1\mu\text{F}$ وكمونه $100\,\text{V}$، وناقل آخر سعته $1.5\mu\text{F}$ وكمونه $75\,\text{V}$، نصل سطحي الناقلين بسلك طويل ورفيع

والمطلوب حساب:

1. شحنة كل من الناقلين بعد الوصل.
2. الشحنة التي انتقلت من أحدهما للآخر.
3. عدّد الالكترونات الحرّة المنتقلة من أحدهما للآخر. ثمّ حدّد وجهة انتقالها.

المسألة الرابعة:

ناقلان كرويّان معزولان ومشحونان، نصف قطر الأوّل $9\,\text{cm}$ وشحنته $1\times10^{-9}\text{C}$ ونصف قطر الثاني $3\,\text{cm}$ وشحنته $0.6\times10^{-9}\text{C}$، نصل الناقلين بسلك طويل ورفيع

المطلوب:

1. بيّن بالحساب جهة انتقال الإلكترونات بين الناقلين.
1. احسب الكمون المشترك للناقلين.
2. احسب شحنة كلّ من الناقلين بعد الوصل.

المسألة الخامسة:

كرة معدنيّة معزولة نصف قطرها $r_1 = 2\,\text{cm}$ وكمونها $\overline{V}_1 = 1500\text{V}$ وكرة معدنيّة أخرى غير مشحونة جوفاء نصف قطرها $r_2 = 8\,\text{cm}$، المطلوب حساب كمون وشحنة كلّ من الكرتين في كلّ من الحالتين الآتيتين:

1. بعد وصل الكرتين من الخارج بسلك طويل ورفيع.
2. بعد أن ندخل الكرة الأولى في الكرة الثانية حتّى تلامسها من الدّاخل.

المسألة السادسة:

كـرة معدنيّة معزولـة نصـف قطرهـا $r_1 = 9\,\text{cm}$ وكمونهـا $\overline{V}_1 = 7000\,\text{V}$ وكـرة معدنيّـة أخـرى معزولـة جوفـاء نصـف قطرهـا $r_2 = 18\,\text{cm}$ وكمونهـا $\overline{V}_2 = -2000\,\text{V}$

المطلوب:

1. حساب سعة وشحنة كلّ منهما.
2. نصل الكرتين بسلك طويل ورفيع والمطلوب:
   - a احسب الكمون المشترك للكرتين وشحنة كلّ منهما بعد الوصل.
   - b احسب مقدار الشحنة التي انتقلت من إحداهما إلى الأخرى.
3. نعيـد كلّ مـن الكرتيـن إلـى الحالـة قبـل الوصـل، وندخـل الكـرة الأولـى فـي الكـرة الثانيـة حتّـى تلامسـها مـن الدّاخـل. المطلـوب حسـاب شـحنة وكمـون كلّ منهمـا بعـد التلامـس.

تفكير ناقد

لمـاذا نلجأ عنـد إيجـاد الكمـون المشـترك لناقليـن مختلفيـن بالكمـون إلـى اسـتعمال سـلك ناقـل طويـل ورفيـع فـي عملية التوصيـل بيـن هذيـن الناقليـن؟

أبحث أكثر

ابحث في التطبيقات العملية للسعة الكهربائية للنواقل مُستعينا بمكتبتك المدرسية أو بالشابكة.

2 المكثّفات Capacitors

الأهداف:

* يتعرّف المكثّفة.
* يقوم بتجارب شحن المكثّفة وتفريغها.
* يبيّن العوامل المؤثرة على سعة المكثّفة.
* يتعرّف طرائق توصيل المكثّفات.
* يستنتج علاقة السّعة المكافئة.
* يستنتج بيانيا الطّاقة المختزنة في المكثّفة.
* يتعرّف بعض أنواع المكثّفات واستخداماتها.

الكلمات المفتاحية:

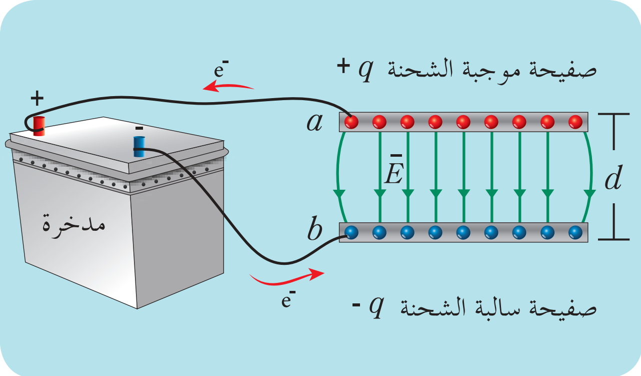
* سعة المكثّفة
* شحن المكثّفة
* تفريغ المكثّفة
* الطّاقة الكهربائية المختزنة.

تستدعي بعض الإجراءات الإسعافية لمريض يعاني من اضطرابات في حركة عضلة القلب استعمال جهاز الصدمة الكهربائيّة لنقل مقادير محدّدة من الطّاقة الكهربائيّة إلى المريض لتنشيط وتحفيز عضلة القلب بإعطائها صدمة كهربائيّة شدتها كبيرة خلال مدّة زمنيّة قصيرة.

ما مصدر هذه الطّاقة؟ وهل يمكن صنع جهاز يستعمل لتخزين مقادير كبيرة من الشحنات الكهربائيّة؟ وتخزّن فيه الطّاقة الكهربائيّة لاستخدامها عند الحاجة إليها؟

المكثفة الكهربائيّة:

ألاحظ وأستنتج:



يبيّن الشكل صفيحتين من الألمنيوم موصولتين بقطبي مدخرة $12\ V$ (بطارية):

- هل الصفيحتان من مادة ناقلة أم عازلة؟ وما طبيعة الوسط بينهما؟
- ما نوع شحنة كلّ من الصفيحتين؟ وهل يوجد اختلاف في كميّة شحنة كلّ منهما؟
- ما شكل خطوط الحقل الكهربائيّ بينهما؟ وما نوع هذا الحقل؟
- استبدل المدخرة بأخرى فرق الكمون بين قطبيها $6\ V$ فهل تتغيّر شحنة كلّ من الصفيحتين؟
- أرسم الخط البيانيّ للشحنة بدلالة فرق الكمون فأجد أنّه مستقيم يمرّ من المبدأ، ماذا أستنتج؟

النتيجة:

تتكوّن المكثّفة من زوج أو أكثر من الصفائح الناقلة يفصل بين كلّ صفيحتين عازل، وتدعى كلّ من الصفيحتين لبوس المكثّفة, ويرمز لها في الدّارة الكهربائيّة بالرمز: —| |—

التّفسير:

- ينتقل عدد من الإلكترونات الحرّة من أحد اللبوسين فيكتسب شحنة موجبة $+q$ إلى اللبوس الآخر الذي يكتسب شحنة سالبة $-q$, وتبقى المكثّفة معتدلة في كل لحظة لتساوي شحنتي لبوسيها في القيمة، واختلافهما في الإشارة.
- ينشأ فرق في الكمون U_{ab} بين اللبوسين يتناسب طرداً مع قيمة الشّحنة المختزنة فيها q.
- $\frac{q}{U_{ab}} = const$
- يسمى ثابت التناسب بسعة المكثّفة ويُرمز له C, وهو مقدار فيزيائيّ موجب دوماً تتعلّق قيمته الخاصّيّات الهندسيّة للمكثّفة, وبطبيعة العازل بين لبوسيها, وواحدته في الجملة الدوليّة الفاراد F.

إضاءة

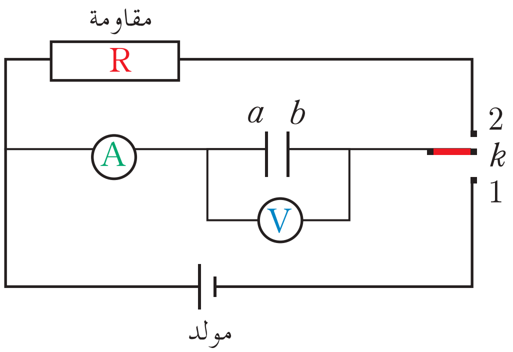
اخترع العالم الهولندي بيتر فان عام 1746 أول جهاز صغير يمكنه تخزين كميّة كبيرة من الشحنات الكهربائية سمّي زجاجة ليدن تكريما لمدينته.

شحن وتفريغ المكثّفة:

أجرّب وأستنتج:

أدوات التجربة:

مكثفات مختلفة السّعة – مقاومة – مولد تيار متواصل – أسلاك توصيل – قاطعة دوّارة – مقياس أمبير صفره في الوسط – مقياس فولط.



أحقق الدّارة الممثّلة في الشكل:

أصل القاطعة k، إلى النقطة 2 ما دلالة مقياس الآمبير؟

ألاحظ:

عدم انحراف مؤشّر مقياس الفولط. وكذلك مقياس الآمبير.

أستنتج

أنّ المكثّفة غير مشحونة.

1. شحن المكثّفة:

أصل القاطعة إلى النقطة (1) وأراقب مؤشّري مقياسي الفولط والأمبير، ماذا ألاحظ؟

ألاحظ:

انحراف مؤشّر مقياس الآمبير لفترة قصيرة Δt ثّم يعود إلى الصفر.

أستنتج

يعمل المولّد على تحريك الإلكترونات الحرّة من اللبوس a إلى اللبوس b عبر مقياس الأمبير الذي يدلّ على مرور تيار كهربائيّ لحظيّ، وينشأ فرق في الكمون بين اللبوسين a و b ويزداد فرق الكمون U_{ab} تدريجيا حتى يصبح مساوياً لفرق الكمون بين طرفي المولد فتتوقّف عندها حركة الإلكترونات وتنعدم شدة التيّار، وينتهي شحن المكثّفة.

2. تفريغ المكثّفة:

أصل القاطعة إلى النقطة (2) وأراقب مؤشّري الفولط والأمبير معاً، ماذا يحدث؟

ألاحظ:

انحراف مؤشّر مقياس الأمبير بجهة معاكسة لجهة انحرافه في أثناء شحن المكثّفة لفترة قصيرة Δt ثم يعود إلى الصفر.

أستنتج

يسبّب فرق الكمون بين اللبوسين انتقال الإلكترونات الحرّة من اللبوس السالب b لتعود إلى اللبوس الموجب a عبر الدّارة الخارجية، ويتناقص فرق الكمون بين اللبوسين حتى ينعدم، ويعتدل لبوسا المكثّفة، وتنتهي عملية التفريغ.

المكثّفة المستوية:

في الشكل أدناه مكثّفة مستوية، مشحونة تتألّف من صفيحتين ناقلتين مستويتين متوازيتين، يفصل بينهما مادة عازلة كهربائيّاً هي الهواء، وهي أبسط أشكال المكثّفات وأكثرها استعمالاً. وصِل حرفاها إلى مقياس فولط.

العوامل المؤثّرة على سعة المكثّفة المستوية:

أتفكر

هل لمساحة السّطح المشّترك (المتقابل) بين اللبوسين علاقة بسعة المكثّفة؟
هل لثخن العازل ونوعه دور في سعة المكثّفة؟

ألاحظ وأستنتج:

1. مساحة السّطح المشّترك (المتقابل) للبوسين A:

- أشحن مكثّفة معزولة مساحة السّطح المشّترك بين لبوسيها A بشحنة q.
- أقرأ دلالة مقياس فرق الكمون بين لبوسي المكثّفة U_{ab}.
- أجعل مساحة السّطح المشّترك نصف ما كانت عليه $\frac{A}{2}$ بإزاحة إحدى الصفيحتين شاقوليّاً نحو الأعلى. ماذا ألاحظ؟
- أقرأ دلالة مقياس فرق الكمون بين لبوسيها U_{ab}.

• ماذا ألاحظ؟

ألاحظ:

ازدياد فرق الكمون إلى مثلي ما كان عليه $2U_{ab}$.

أستنتج

المكثّفة مشحونة ومعزولة أي أنّ شحنتها ثابتة (مصونة)، وفرق الكمون بين اللبوسين أصبح مثلي ما كان عليه :

$$U'_{ab} = 2U_{ab}$$

$$\frac{q}{C'} = 2\frac{q}{C}$$

$$C' = \frac{C}{2}$$

تتناسب سعة المكثّفة المستوية C **طرداً مع مساحة السّطح المشّترك للبوسين** A.

2. البُعد بين اللبوسين d:

• أجعل البُعد بين لبوسي المكثّفة d.

• أقرأ دلالة مقياس الفولط U_{ab}.

• أقرب الصفيحتين من بعضهما بحيث يصبح البُعد بين اللبوسين $\frac{d}{2}$.

• أقرأ دلالة مقياس الفولط U'_{ab}.

- ماذا ألاحظ؟ وماذا أستنتج؟

ألاحظ: نقصان فرق الكمون إلى نصف ما كان عليه $\frac{U_{ab}}{2}$.

أستنتج

المكثّفة مشحونة ومعزولة أي أنّ شحنتها ثابتة (مصونة)، وفرق الكمون بين اللبوسين أصبح نصف ما كان عليه:

$$U'_{ab} = \frac{1}{2} U_{ab}$$

$$\frac{q}{C'} = \frac{q}{2C}$$

$$C' = 2C$$

تتناسب سعة المكثّفة المستوية عكساً مع البُعد بين اللبوسين d.

3. نوع العازل الكهربائيّ:

- أصل لبوسي مكثّفة مشحونة عازلها الهواء.
- أقرأ دلالة مقياس الفولط U_{ab}.

- أستبدل بالهواء لوح عازل بين اللبوسين.
- أقرأ دلالة مقياس الفولط U'_{ab}.
- أحسب النسبة $\frac{U_{ab}}{U'_{ab}}$.

ألاحظ:

إدخال مادّة عازلة بين اللبوسين يسبّب إنقاص فرق الكمون الكهربائيّ بينهما بنسبة ثابتة $\frac{U_{ab}}{U'_{ab}} = \varepsilon_r$ نسمي هذه النسبة ثابت العزل الكهربائيّ للمادة العازلة.

أستنتج

المكثّفة مشحونة ومعزولة أي أنّ شحنتها ثابتة (مصونة)، وفرق الكمون بين اللبوسين أصبح:

$$U'_{ab} = \frac{U_{ab}}{\varepsilon_r}$$

$$\frac{q}{c'} = \frac{q}{c.\varepsilon_r}$$

$$C' = \varepsilon_r C$$

تتناسب سعة المكثّفة المستوية C طرداً مع ثابت العزل الكهربائيّ للمادة ε_r.

النتيجة:

تتوقف سعة المكثّفة المستوية على العوامل الآتية:

1. **مساحة السّطح المشّترك للبوسين A : تتناسب سعة المكثّفة المستوية C طرداً مع مساحة السّطح المشّترك للبوسين A.**
2. **البعد بين اللبوسين d : تتناسب سعة المكثّفة المستوية عكسا مع البعد بين اللبوسين d.**
3. **نوع مادة الوسط العازل بين اللبوسين ε_r : تتناسب سعة المكثّفة المستوية C طرداً مع ثابت العزل الكهربائيّ للمادة العازلة ε_r.**

دستور سعة المكثّفة المستوية:

1. إذا كان الوسط العازل الخلاء أو الهواء فإنّ سعة المكثّفة تعطى بالعلاقة:

$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

حيث ثابت التناسب ε_0 يسمّى سماحيّة الخلاء قيمته في الجملة الدوليّة:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} = 8.85 \times 10^{-12}\,\mathrm{F.m^{-1}}$$

2. إذا كان الوسط العازل مادة عازلة ثابت عزلها ε_r فإنّ سعة المكثّفة تعطى بالعلاقة:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}$$

ألاحظ وأجيب:

يُكتب على كل مكثّفة أكبر فرق كمون يمكن أن نطبّقه عليها، فهل هذا ضروري فسّر ذلك؟

نعم، لأنّه من أجل فرق كمون أكبر من القيمة المكتوبة على المكثّفة تزداد شدة الحقل الكهربائيّ بين اللبوسين بشكل كبير جداً فينهار العازل ويمرّ تيار كهربائيّ داخله (تفريغ داخلي) مما يسبّب تلف المكثّفة.

تطبيق (1):

نشحن مكثّفة مستوية سعتها 10 pF بتطبيق فرق كمون 12 V، ثمّ نفصلها عن المنبع، وندخل بين لبوسيها صفيحة عازلة ثابت عزلها 6 يملأ الحيز بينهما. المطلوب حساب:

1. شحنة المكثّفة.
2. سعة المكثّفة الجديدة.
3. فرق الكمون الجديد بين اللبوسين.

الحل:

$$q = CU_{ab} = 10 \times 10^{-12} \times 12 = 12 \times 10^{-11}\, C$$

$$C' = \varepsilon_r C$$

$$= 6 \times 10 \times 10^{-12} = 60 \times 10^{-12}\ \mathrm{F}$$

$$U'_{AB} = \frac{q}{C'} = \frac{120 \times 10^{-12}}{60 \times 10^{-12}} 2V$$

تطبيق (2):

مكثّفة مستوية كل من لبوسيها صفيحة مربّعة الشكل طول ضلعها 10 cm، يفصل بينهما الهواء، والبُعد بين لبوسيها 0.1 cm. المطلوب حساب:

1. سعة المكثّفة.
2. شحنة المكثّفة عند تطبيق فرق في الكمون 20V بين لبوسيها.

الحل:

.1

$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

$$A = L^2$$

$$A = (10 \times 10^{-2})^2$$

$$\mathrm{A} = 10^{-2}\,\mathrm{m}^2$$

$$d = 0.1\,\mathrm{cm}$$

$$d = 10^{-3}\,\mathrm{m}$$

$$C = 8.85 \times 10^{-12} \times \frac{10^{-2}}{10^{-3}}$$

$$C = 8.85 \times 10^{-11}\,\mathrm{F}$$

.2

$$q = CU$$

$$q = 8.85 \times 10^{-11} \times 20$$

$$q = 17.7 \times 10^{-10}\,\mathrm{C}$$

طرق توصيل المكثّفات :

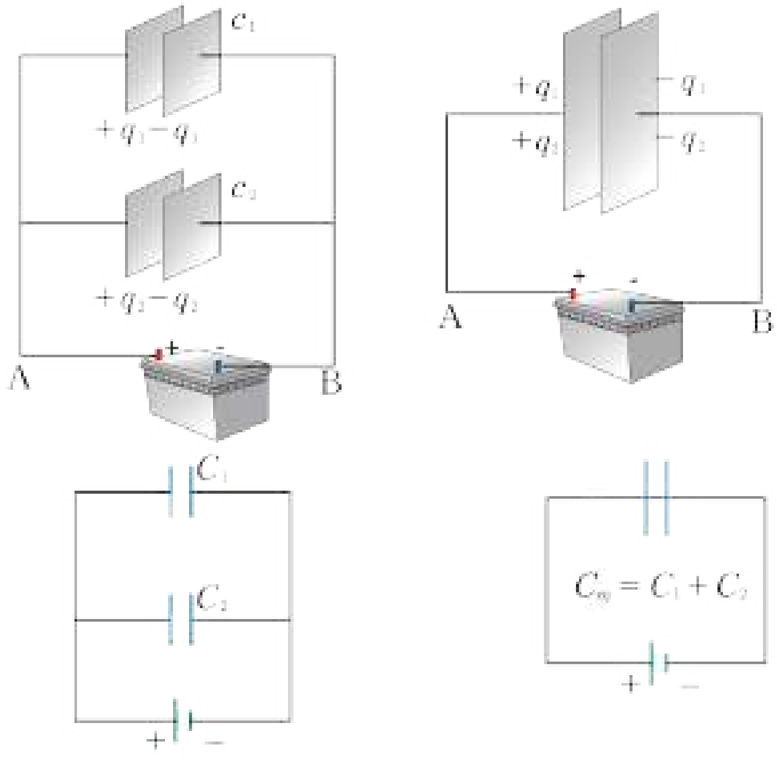
تحتاج أحياناً لوصل عدد من المكثّفات للحصول على مكثّفة تتمتّع بسعة غير متوفرة لديك, فكيف تحسب سعة المكثّفة الناتجة؟

يمكن أن يتمّ وصل المكثّفات بطريقتين:

1. الوصل على التفرّع:

ألاحظ وأستنتج:

يبيّن الشكل المرسوم جانباً مكثفتين سعتاهما C_1, C_2 موصولتان على التفرع، وطرفا الجملة موصولان إلى قطبي بطارية مناسبة.



- ما فرق الكمون بين لبوسي كلّ مكثّفة؟
- هل تكتسب كلّ من المكثفتين الشّحنة ذاتها؟ ولماذا؟
- ما العلاقة بين شحنة المكثّفة المكافئة لهما وشحنتي كلّ من المكثفتين؟
- أستنتج قانون السّعة المكافئة؟

تخضع كلّ مكثّفة لفرق الكمون ذاته بين قطبي البطارية، لأنّ اللبوسات الموصولة إلى نقطة واحدة تشكّل ناقلاً واحداً، وبالتالي شحنة هذا الناقل تساوي مجموع شحنات هذه اللبوسات.

$$q_{eq} = q_1 + q_2$$
$$C_{eq} U_{AB} = C_1 U_{AB} + C_2 U_{AB}$$
$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

أستنتج

السّعة المكافئة لعدد n من المكثّفات الموصولة على التفرّع تعطى بالعلاقة:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots\dots\dots\dots + C_n$$

حالة خاصة

عند وصل n مكثّفة متماثلة سعة كلّ منها C_1 على التفرع تكون سعة المكثّفة المكافئة $C_{eq} = nC_1$ وشحنة كلّ مكثّفة بعد الوصل $q = \frac{q_{eq}}{n}$

تزداد مقدار السّعة المكافئة لمجموعة مكثفات موصولة على التفرع ويكون أكبر من سعة أي مكثفة بالمجموعة والتفسير, تزداد المساحة السّطحية المتقابلة للبوسي المكثّفة المكافئة فتزداد السّعة المكافئة مع ثبات البُعد بين اللبوسين ونوع العازل.

تمرين (1):

مكثفتان سعتاهما $6\,\mu F$ ، $12\,\mu F$ موصولتان على التفرّع، نصل طرفي الجملة بفرق كمون $12\,V$.

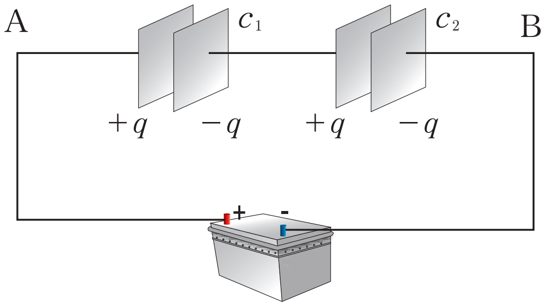
المطلوب حساب:

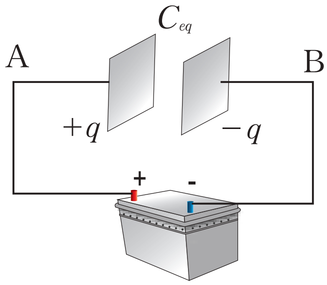
1. السّعة المكافئة C_{eq} لجملة المكثّفتين.
2. الشّحنة المكافئة q_{eq}.
3. فرق الكمون بين لبوسي كلّ مكثّفة.

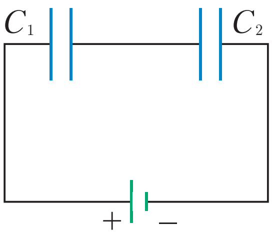
2. الوصل على التسلسل:

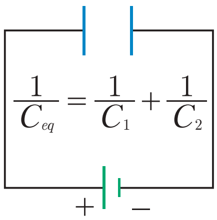
ألاحظ وأستنتج:

يبيّن الشكل المرسوم جانباً مكثّفتين سعتيهما C_2, C_1 موصولتين على التسلسل، وطرفي الجملة موصول إلى قطبي بطارية مناسبة.









- هل تكتسب كلّ من المكثفتين الشّحنة ذاتها؟ ولماذا؟
- هل فرق الكمون بين لبوسي كلّ من المكثفتين ذاته؟
- ما العلاقة بين فرق الكمون بين لبوسي المكثّفة المكافئة، وفرق الكمون بين لبوسي كلّ من المكثفتين؟
- أستنتج قانون السّعة المكافئة.

تكتسب اللبوسات شحنات متساوية بالقيمة المطلقة كلّ منها q بسبب الشحن بالتأثير.
فرق الكمون الكلي المطبق بين طرفي الجملة يساوي مجموع فروقات الكمون بين لبوسي كل مكثّفة، أي:

$$U_{AB} = U_1 + U_2$$

لكن $U_{AB} = \frac{q}{C}$

$$\frac{q}{C_{eq}} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

أستنتج

السّعة المكافئة لعدد n من المكثّفات الموصولة على التسلسل تعطى بالعلاقة:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ... + \frac{1}{C_n}$$

حالة خاصة

عند ضم n مكثّفة متماثلة سعة كل منها C_1 على التسلسل تكون السّعة المكافئة $C_{eq} = \frac{C_1}{n}$

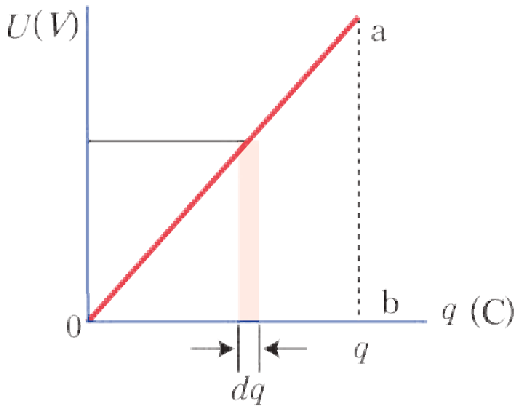
يقل مقدار السّعة المكافئة لمجموعة مكثفات موصولة على التسلسل ويكون أصغر من سعة أي مكثّفة من المجموعة والتفسير:

إنّ ربط المكثّفات على التسلسل يوافق زيادة البعد بين لبوسي المكثّفة المكافئة على فرض ثبات مساحة سطح اللبوسين ونوع العازل.

الطّاقة الكهربائيّة المختزنة في مكثّفة مشحونة

- عندما نطبق بين لبوسي مكثّفة فرقاً في الكمون، فإنّ كميّة من الشحنات الكهربائيّة تنتقل من أحد اللبوسين إلى الآخر، وبالتالي تنجز القوى الكهربائية عملاً، تختزنه المكثّفة على شكل طاقة كامنة كهربائيّة E_c، تعتمد بشكل رئيسي على شحنة المكثّفة.
- في أثناء شحن المكثّفة تزداد شحنتها بازدياد فرق الكمون الكهربائيّ المطبّق بين لبوسيها:

$$U_{(t)} = \frac{q_{(t)}}{C}$$



- عندما تزداد شحنة المكثّفة بمقدار dq تختزن المكثّفة طاقة عنصرية dE:

$$dE = U_1 dq$$

- عند نهاية عملية الشحن تكون الطّاقة المختزنة في المكثّفة تساوي مجموع الطاقات العنصرية:

$$E = \Sigma U_1 dq$$

- من الشكل المجاور، حيث مثّلنا فرق الكمون بين طرفي المكثّفة بدلالة شحنتها. أستنتج أنّ الطّاقة الكليّة تساوي مساحة المثلث القائم الناتج oab:

$$E = \frac{1}{2} qU$$

نتيجة: تختزن المكثّفة طاقة كهربائية عند شحنها تعطى بالعلاقة:

$$E = \frac{1}{2} qVAB = \frac{1}{2} CVAB^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

بعض أنواع المكثّفات:

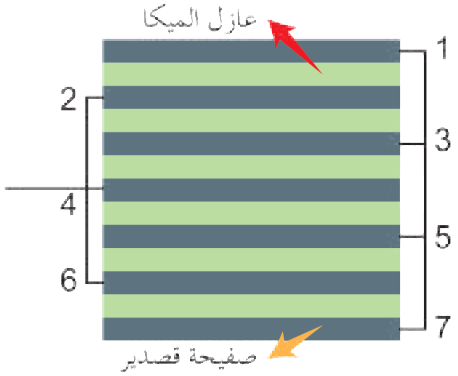
تستخدم المكثّفات في معظم الدارات الكهربائيّة والإلكترونية ولها أنواع وأشكال مختلفة لكي تلاءم مختلف التطبيقات العملية.

- بعض المكثّفات كبيرة وضخمة جداً حتى أنّها قد تملأ غرفة كاملة ويمكنها تخزين شحنات تكفي لإحداث برق صناعي أو لتشغيل ليزرات عملاقة.
- بعضها ثابت السّعة وبعضها الآخر متغير السّعة.

1. مكثفات ثابتة السّعة:

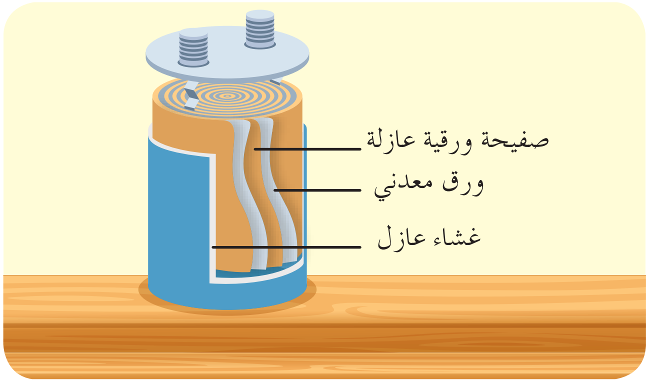
* المكثّفات ذات الميكا:

تتكوّن من صفائح متماثلة رقيقة جداً من الميكا مطلية بالقصدير، ويتم وصل الوجوه الفردية إلى نقطة والوجوه الزوجية إلى نقطة أخرى لتؤلف مربطي مكثّفة وتمتاز بأنّها تتحمّل فرق كمون عالي بين لبوسيها.



* المكثّفة الورقية:

تتكوّن من شريطين طويلين من ورق الألمنيوم، يفصل بينهما ورق مشمّع عازل، ملفوفين وموضوعين داخل أسطوانة من الباكاليت، وتمتاز بصغر حجمها وكبر مساحة لبوسيها.



2. مكثفات متغيّرة السّعة:

تتألّف من مجموعتين من الصفائح نصف الدائرية من الألمنيوم، إحدى المجموعتين ثابتة، والأخرى قابلة للدوران حول محور ثابت بحيث تتداخل مع المجموعة الأولى والوسط العازل هو الهواء.
تتغيّر سعة هذه المكثّفة في أثناء الدوران نتيجة تغيّر السّطح المشترك المتقابل للبوسات، وتستعمل في جهاز الإرسال اللاسلكي والمذياع لتغيير المحطة.

تنبيه هام:

المكثّفات الموجودة في التلفاز يمكنها تخزين كمية شحنات، عند فرق كمون لعدة مئات من الفولطات, وهذا سبب التحذير من نزع غطاء التلفاز أو غطاء شاشة الحاسوب القديم، حتى ولو لم تكن متصلة بمصدر كهربائيّ.

هل تعلم؟

يوجد مستودع كبير للمكثفات يسمى (مصرف المكثّفات)، يخزّن مقادير كبيرة جداً من الطّاقة الكهربائيّة، تستثمر في مسرّع الجسيمات في مختبر فيرمي حيث يتم تفريغ المكثّفات بوقت قصير جداً.

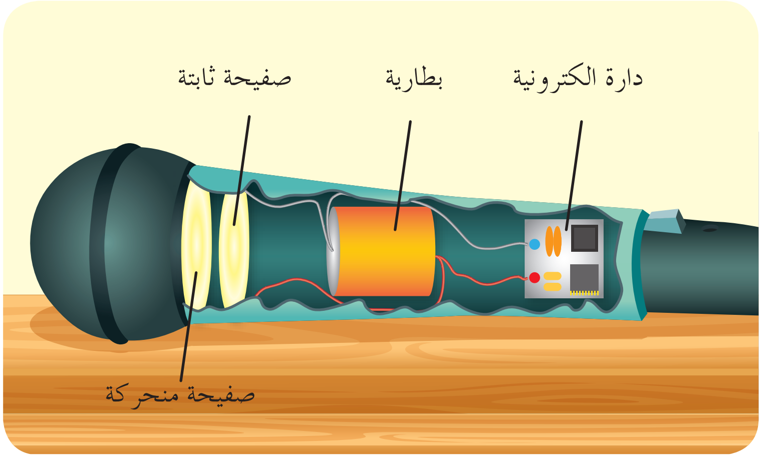
بعض التطبيقات العملية للمكثفات :

1. المكثّفة في منظومة المصباح الومضيّ (الفلاش) في آلة التصوير:

تشحن البطارية الموضوعة في الكاميرا المكثّفة، وعند إغلاق قاطعة التقاط الصورة يتوهّج المصباح بضوء ساطع أثناء التفريغ.

2. المكثّفة في اللاقطة الصوتية:

تتألّف من مكثّفة عازلها الهواء أحد لبوسيها صفحة ثابتة (خلفية) والأخرى صفيحة مرنة (أمامية)، تتسبب الأمواج الصوتية اهتزاز الصفيحة المرنة فتتغير سعة المكثّفة لتغيّر البُعد بين اللبوسين، وبتواتر الأمواج الصوتية ذاته وبالتالي تتحول الاهتزازات الميكانيكية إلى كهربائيّة.



3. المكثّفة المستعملة في لوحة مفاتيح الحاسوب:

توضع مكثّفة تحت كل حرف في لوحة المفاتيح، ويثبت كلّ مفتاح بصفيحة متحركة تمثل أحد اللبوسين للمكثّفة واللبوس الآخر ثابت، عند الضغط على المفتاح يقل البعد بين اللبوسين فتزداد سعتها وهذا يجعل الدوائر الإلكترونية الخارجية تتعرف على المفتاح الذي تم الضغط عليه

تعلَّمتُ

- 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.
- تفريغ مكثّفة هو إعادة كلّ من لبوسيها إلى الحالة المعتدلة كهربائيّاً بعد أن كان مشحوناً.
- سعة مكثّفة مستوية تتناسب طرداً مع السّطح المشترك للبوسيها، وعكساً مع البُعد الفاصل بين لبوسيها، وتتوقف على نوع العازل بين اللبوسين.
- سعة مكثّفة مستوية:

$$C = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} \varepsilon_r \frac{A}{d}$$

- سعة مكثّفة مشحونة:

$$C = \frac{q}{U_{ab}}$$

- •طاقة مكثّفة مشحونة:

$$E = \frac{1}{2} qU = CU^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{c}$$

- السّعة المكافئة لمكثّفات موصولة على التسلسل:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \dots\dots\dots$$

- السّعة المكافئة لمكثّفات موصولة على التفرّع:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 \dots\dots\dots$$

- المكثّفات تقسم إلى نوعين: مكثّفات ثابتة السّعة (المكثّفة ذات الميكا والمكثّفة الورقية)

أختبر نفسي

أولاً: املأ الفراغات الآتية:

1. مكثّفة مستوية مشحونة ومعزولة شحنة أحد لبوسيها $-2\mu C$ فإنّ شحنتها تساوي ------------
وإذا كانت سعتها $1\mu F$ فإنّ التوتّر الكهربائيّ المتواصل المطبّق بين لبوسيها يساوي ------------

2. إذا كانت سعة مكثّفة مستوية عازلها الهواء تساوي خمس سعتها عندما تُملأ مادّة عازلة بين لبوسيها فإنّ ثابت العزل الكهربائيّ للمادّة يساوي ------------

3. نصل ثلاث مكثّفات متساوية السّعة على التفرّع فتكون السّعة المكافئة لها تساوي $15\mu F$ فإنّ سعة كلّ منها تساوي ------------ وتكون السّعة المكافئة عند وصلها على التسلسل مساوية ------------

ثانياً: اختر الإجابة الصحيحة لكلّ ممّا يأتي:

1. مكثّفة مستوية غير مشحونة عازلها الهواء نطبّق بين لبوسيها توتّراً $100\ V$، ثمّ نعزلها عن المنبع. نباعد بين لبوسيها ليصبح البُعد مثلي ما كان عليه فيكون التوتّر الكهربائيّ المطبّق بين لبوسيها يكون مساوياً:

a. $100\ V$ b. $200\ V$ c. $50\ V$ d. $25\ V$

2. عند ضمّ n مكثّفة متماثلة على التفرّع الشّحنة الكهربائيّة لكل منها q_1 فإن الشّحنة الكهربائيّة للمكثّفة المكافئة q تساوي:

a. $q = \frac{n}{q_1}$ b. $q = \frac{q_1}{n}$ c. $q = q_1$ d. $q = nq_1$

3. مكثّفة مستوية مشحونة ومعزولة عازلها الخلاء والتوتّر بين لبوسيها U، نملأ الفراغ بين لبوسيها بعازل جديد ثابت عزله $K = 5$ فيصبح التوتّر الكهربائيّ الجديد بين لبوسيها U' هو:

a. $U' = 5U$ b. $U' = \frac{U}{5}$ c. $U' = \frac{10}{U}$ d. $U' = 10U$

4. مكثّفة مستوية مشحونة ومعزولة البُعد بين لبوسيها d عازلها الخلاء نضع بين لبوسيها صفيحة معدنيّة ثخنها $\frac{d}{5}$ توازي السّطحين ولها مساحة كلّ منهما فتصبح سعة الجملة C' هي:

a. $C' = \frac{5}{4}C$ b. $C' = \frac{4}{5}C$ c. $C' = \frac{6}{5}C$ d. $C' = \frac{5}{6}C$

5. وصلت 6 مكثّفات متساوية السّعة على التفرّع فكانت سعتها المكافئة $9\ \mu F$، فإذا أعيد توصيلها على التسلسل، فتكون سعتها المكافئة مساوياً:

a. $9\ \mu F$ b. $1.5\ \mu F$ c. $0.25\ \mu F$ d. $2\ \mu F$

6. مكثّفتان سعتاهما $6\ \mu F, 12\ \mu F$ وصلتا على التسلسل فإنّ السّعة المكافئة لهما مساوية:

a. $25\ \mu F$ b. $7\ \mu F$ c. $4\ \mu F$ d. $6\ \mu F$

7. مكثّفة مستوية عازلها الهواء مشحونة ومعزولة طاقتها الكهربائيّة $12\ J$ نملأ الفراغ بين اللّبوسين بعازل آخر ثابت عزله $K = 4$ فتصبح طاقتها بالجول تساوي:

a. 12   b. 3   c. 4   d. 48

ثالثاً: أعطِ تفسيراً علميا لكلّ مما يأتي:

1. يحدّد على المكثّفة أقصى فرق كمون يمكن أن يُطبّق بين لبوسيها.
2. لا تسمح المكثّفة بمرور التيار المتواصل في دارتها.
3. تتوضّع الشحنات الكهربائيّة على السّطحين المتقابلين للبوسي المكثّفة عند شحنها.
4. يجب عدم لمس لبوسي المكثّفة المشحونة ذات التوتر العالي مباشرة باليد.

رابعاً: أجب عن السؤال الآتي:

مكثّفة مستوية عازلها الهواء مشحونة ومعزولة نستبدل بعازلها عازلاً آخر ثابت عزله $\varepsilon_r = 2$، بيّن ماذا يحصل لكلّ من:

a. شحنة المكثّف.

b. سعة المكثّفة.

c. فرق الكمون بين لبوسيها.

d. الحقل الكهربائيّ بين لبوسيها.

e. الطّاقة الكهربائيّة المختزنة فيها.

خامساً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

1. مكثّفة مستوية سعتها $4\,\mu F$ عازلها الهواء طبّق بين لبوسيها توتّر كهربائيّ متواصلٌ $V_{ab}=100\ v$ والمطلوب حساب:
   - شحنة كلّ من لبوسيها
   - الطّاقة الكهربائيّة المختزنة فيها.
2. نعزل المكثّفة عن المنبع ونباعد بين لبوسيها حتّى يصبح البُعد مثلي ما كان عليه. بيّن بالحساب هل يتغيّر مقدار الطّاقة التي تخزنها المكثّفة؟ علّل إجابتك.

المسألة الثانية:

وصلت مكثّفتين سعتاهما $1\,\mu F$، $2\,\mu F$ على التفرّع مع منبع كهربائيّ متواصل أصبحت لشحنة للمكثّفتين $q = 300\,\mu F$

المطلوب حساب:

1. السّعة المكافئة للمكثّفتين.
2. التوتّر المطبّق بين طرفي الجملة.
3. شحنة كلّ من المكثّفتين.
4. الطّاقة المختزنة في جملة المكثّفتين.

المسألة الثالثة:

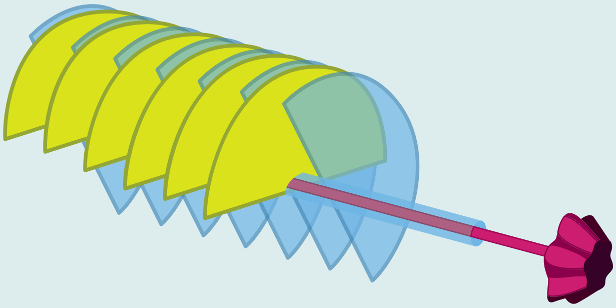
تتألّف مكثّفة مستوية من سطحين مستطيلين متوازيين مساحة كلّ منهما $36\pi\,cm^2$ يبعد أحدهما عن الآخر $2\,cm$ في الخلاء.

المطلوب:

1. حساب سعة هذه المكثّفة.
2. نطبّق على لبوسيها توتّراً كهربائيّاً متواصلاً $6000\,V$ احسب الطّاقة الكهربائيّة المختزنة فيها وشحنة كلّ من لبوسيها.
3. نفصل المكثّفة عن التوتّر الكهربائيّ السابق وندخل بين السّطحين صفيحة معدنية بكاملها ثخنها $1\,cm$ توازي السّطحين ولها مساحة كلّ منهما، احسب السّعة الجديدة للجملة.
4. نربط مع الجملة السابقة على التفرّع مكثّفة غير مشحونة سعتها $2\times10^{-11}\,F$ احسب شحنة هذه المكثّفة بعد الوصل.

المسألة الرابعة:

مكثّفة متغيّرة السّعة تتألّف من 13 صفيحة معدنية، شكل كل منها نصف دائرة قطرها $9\,cm$ بحيث يكون البعد 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.



المسألة الخامسة:

1. لدينا ثلاث مكثفات سعاتها $5\,\mu F$، $10\,\mu F$، $30\,\mu F$، نصل المكثّفات فيما بينها على التسلسل، ثمّ ونصل الطرفين النهائيين بقطبي منبع كهربائي متواصل بينهما توتر $100\,V$ المطلوب حساب:
   - سعة المكثّفة المكافئة.
   - فرق الكمون بين لبوسي كل مكثّفة.
2. نقطع الاتصال مع قطبي المنبع ونعيد، وصل المكثّفات على التفرع فيما بينها والمطلوب حساب:
   - شحنة المكثّفة الجديدة.
   - شحنة كلّ مكثّفة بعد الوصل.

تفكير ناقد

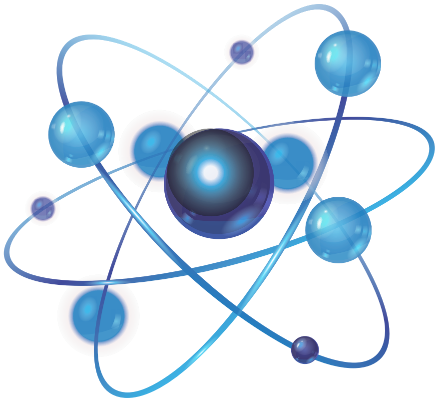
من الظواهر الطبيعية التي نشاهدها في الشتاء وأثناء العواصف الرعدية ظاهرتا البرق والصاعقة، كيف تفسّر حدوث كلّ منهما مُبيّنا المكثّفة المتشكلة في كل ظاهرة منهما؟

أبحث أكثر

تستخدم مانعة الصواعق في الأبنية العالية لتجنّب الأخطار الناجمة عن حدوث الصاعقة.

1. ممّا تتألّف مانعة الصواعق، وكيف تعمل؟
2. ما المخاطر الناتجة عن:
   1. عدم وجود مانعة صواعق.
   2. التركيب غير الصحيح لمانعة الصواعق.

3 أنصاف النواقل



الأهداف:

* يصنّف المواد من حيث الناقليّة الكهربائيّة.
* يتعرّف البنية الإلكترونيّة لنصف الناقل النقي.
* يميّز بين أنصاف النواقل النقية وأنصاف النواقل الهجينة.
* يوازن بين نصف الناقل الهجين من النمط n ونصف الناقل الهجين من النمط p.

الكلمات المفتاحية:

* نصف ناقل.
* نصف ناقل هجين.
* ناقليّة إلكترونيّة.
* ناقليّة ثقوبيّة.

ألاحظ الشكل وأقارن بين الأجهزة الإلكترونيّة القديمة والأجهزة الإلكترونيّة الحديثة من حيث الحجم، والسرعة في تنفيذ المهام.

أتساءل:

- ما سبب التطور الكبير في صناعة هذه الأجهزة؟
- ما سبب سرعتها في أداء مهامها؟
- لماذا أصبح الهاتف النقال رغم صغر حجمه ينفذ خدمات كثيرة (راديو– كاميرا – وسيلة اتصال بالأقمار الصناعية ..)؟

أحدث تطور أنصاف النواقل ثورة في صناعة الأجهزة الإلكترونيّة ،إذ إنّها تشكل أساس جميع الديودات والترانزستورات والدارات المتكاملة والمعالجات المكرويّة.
كما أنّها ذات استجابة سريعة جداً للوصل والفصل وهي متوفرة جداً في الطبيعة. وتقدّم التكنولوجيا الحديثة أحجام صغيرة جداً من أنصاف النواقل من رتبة نانو متر

تصنيف المواد الصلبة من حيث ناقليّتها الكهربائيّة :

المادة	النحاس، الألمنيوم	السيلكون، الجرمانيوم	البورسلان، الكوارتز
المقاومة النوعية $\rho\,(\Omega.m)$	10^{-8}	$10^{-5}-10^{5}$	10^{6}
الكثافة الحجمية للإلكترونات الحرّة (e/cm^3)	10^{22}	$10-6\times10^{21}$	10

نشاط (1):

يبيّن الجدول قيم المقاومة النوعيّة والكثافة الحجميّة للإلكترونات الحرّة في بعض المواد الصلبة في الدرجة العادية من الحرارة.

أقرأ الجدول وأجيب:

- أقارن بين النحاس والسيلكون من حيث المقاومة النوعيّة، والكثافة الحجميّة للإلكترونات الحرّة، ماذا أستنتج؟
- أقارن بين الألمنيوم والبورسلان من حيث المقاومة النوعيّة، والكثافة الحجميّة للإلكترونات الحرّة، ماذا أستنتج؟
- أقارن بين السيلكون والكوارتز من حيث المقاومة النوعية، والكثافة الحجميّة للإلكترونات، ماذا أستنتج؟
- أصنّف المواد بحسب الناقليّة الكهربائيّة. ماذا ألاحظ؟

النتيجة:

- **تزداد الناقليّة الكهربائيّة للمواد الصلبة بنقصان مقاومتها النوعيّة.**
- **تزداد الناقليّة الكهربائيّة للمواد الصلبة بزيادة الكثافة الحجميّة للإلكترونات الحرّة فيها.**
- **تسمى المواد التي تتراوح مقاومتها النوعية في درجة الحرارة العادية $(10^{-5}-10^{+5})\,\Omega m$ أنصاف النواقل.**

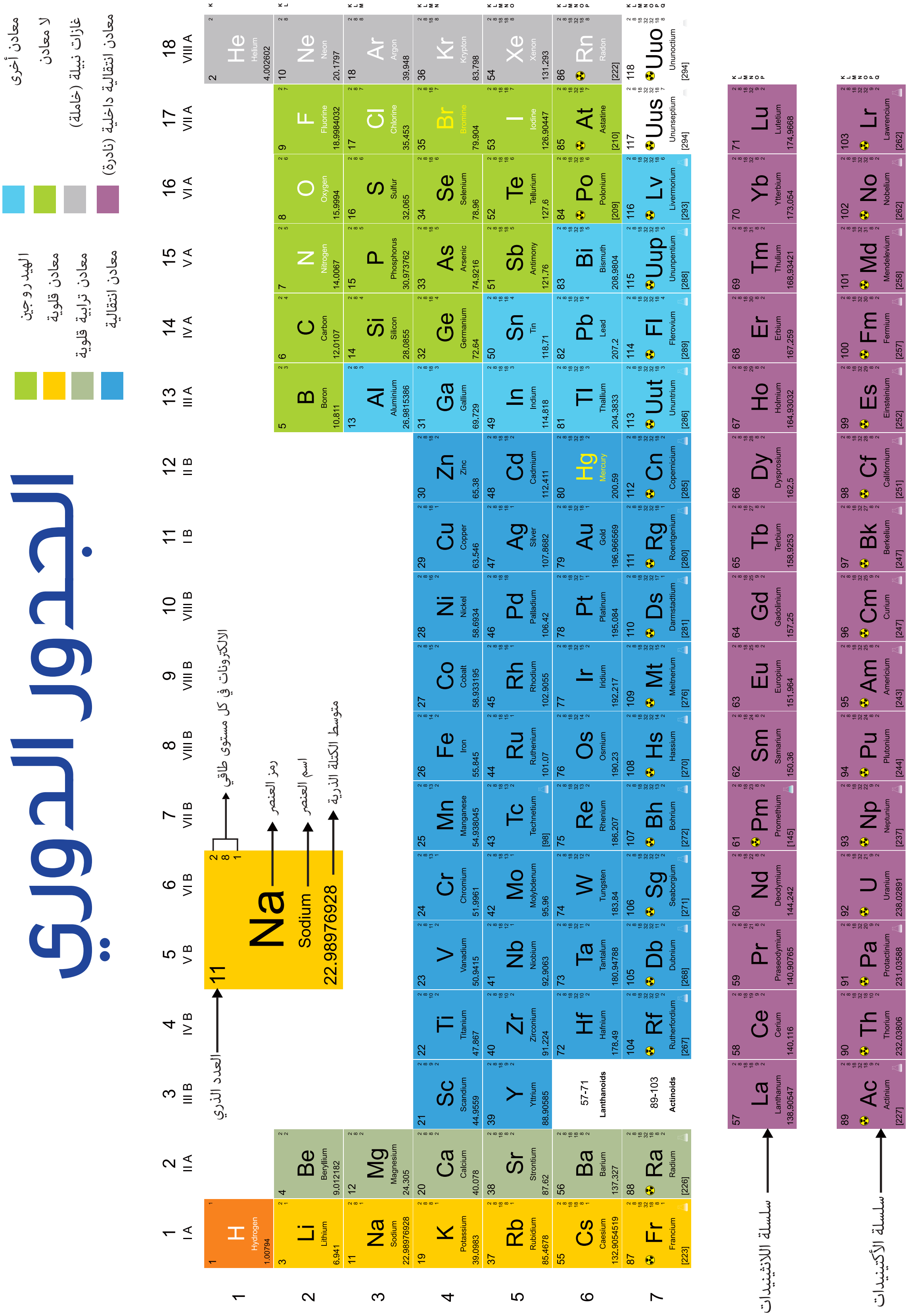
أتساءل:

- كيف يمكن تحسين الناقليّة الكهربائيّة لأنصاف النواقل؟
- لفهم ذلك لا بدّ من فهم البنية الإلكترونيّة لنصف الناقل النقي.

البنية الإلكترونيّة لنصف الناقل النقي :

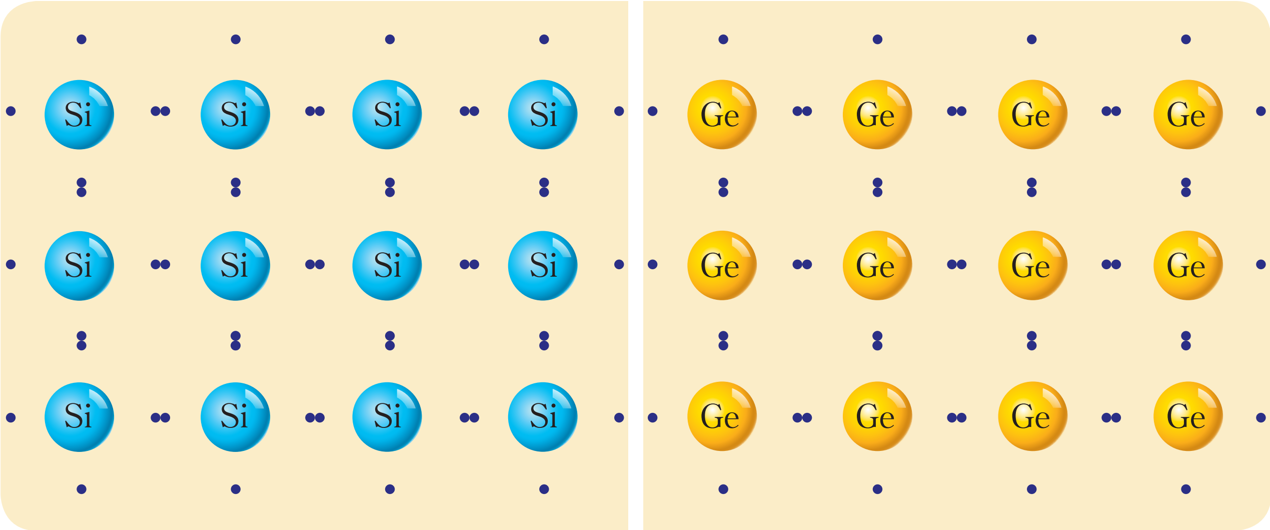
نشاط (2):

ألاحظ الشكل وأجيب:



- أكتب التوزّع الإلكتروني لذرّتي السيلكون، والجرمانيوم ما موقعهما في الجدول الدوري؟
- ما عدد الإلكترونات السطحيّة في كلّ منها، وما تكافؤ كلّ منهما؟
- ما نوع الروابط بين ذرات السيلكون أو الجرمانيوم في بلّورة نصف الناقل النقي؟ وما عددها؟
- إذا كانت المقاومة النوعيّة لبلّورة نصف الناقل النقي $\rho > 10^{+5}\,\Omega m$ (بدرجات الحرارة المنخفضة جداً)، فهل هي ناقلة للتيار الكهربائي؟

النتائج:



- **ترتبط كل ذرّة في البنية البلوريّة لنصف الناقل النقي مع أربع ذرّات مجاورة بأربعة روابط مشتركة تحقّق مبدأ الثمانيّة الإلكترونيّة.**
- **يسلك نصف الناقل النقيّ سلوك عازل في درجة الصفر المطلق، لأنّه لا يحوي إلكترونات حرّة.**
- **تزداد ناقليّة بلورة نصف الناقل النقيّ بارتفاع درجة حرارته أو عند إضاءتها بمصدر ضوئي حيث يمكن لبعض إلكترونات التكافؤ أن تتحرّر من روابطها المشتركة بسبّب حصولها على طاقة إضافية وتصبح حرّة الحركة داخل البلّورة.**

تفسير الناقليّة الأصليّة لنصف الناقل النقيّ:

عند ارتفاع درجة حرارة بلورة نصف الناقل النقيّ فإنّ أحد إلكترونات التكافؤ يكتسب طاقة كافية ليتحرّر من رابطته المشتركة مخلفاً مكاناً فارغاً نسميّه ثقباً شحنته موجبة ممّا يؤلّف زوجاً (إلكترون – ثقب)، ويمكن لإلكترون آخر من ذرة مجاورة أن ينتقل ليملأ هذا الثقب مخلفاً وراءه ثقباً جديداً موجباً. وبالتالي يحدث انتقال في أمكنة الثقوب يكافئ انتقال الشحنة الموجبة بعكس جهة حركة الإلكترونات الحرّة، وتبقى البلّورة معتدلة لأنّ عدد الإلكترونات الحُرّة مساوياً عدد الثقوب التي تخلّفها على الذرات في درجة حرارة معيّنة.

النتيجة:

تعود الناقليّة الأصليّة في بلّورة نصف الناقل النقيّ إلى الحركة المضاعفة للأزواج (إلكترون– ثقب) وتزداد هذه الناقليّة بزيادة عدد الأزواج (إلكترون– ثقب) بزيادة درجة الحرارة مثلاً.

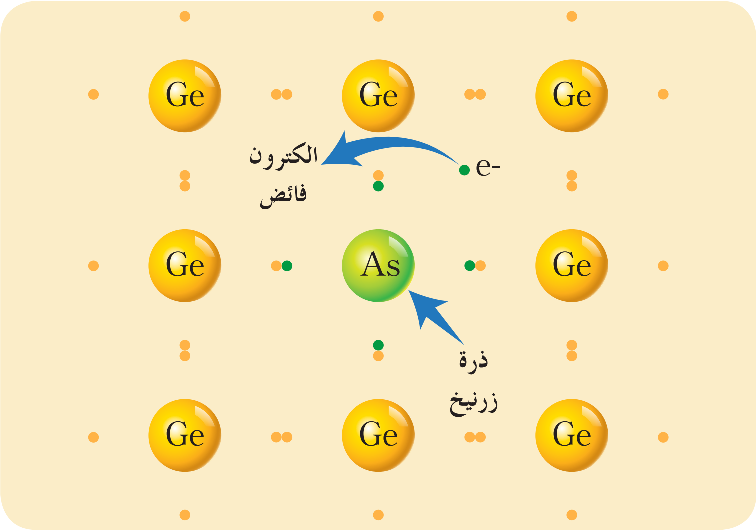
الناقليّة الهجينة لأنصاف النواقل:

أتساءل: كيف يمكن زيادة ناقليّة أنصاف النواقل بطرائق أخرى؟

عمل الباحثون على زيادة الناقليّة لأنصاف النواقل من خلال زيادة عدد الشحنات الكهربائيّة المتحرّكة (إلكترونات، ثقوب) ممّا ينقص من مقاومتها الكهربائيّة بعملية تسمّى التهجين أو التطعيم (الإشابة)، وذلك بإدخال ذرّات معيّنة من عنصر آخر لتحلّ مكان الذرّات الأصلية لنصف الناقل النقي، وتكون النسبة تقريباً ذرّة واحدة شائبة مقابل مليون ذرّة نصف الناقل، وينتج عن ذلك نمطان من أنصاف النواقل الهجينة حسب العنصر الشائب المضاف إلى المادة النقية وهي:

1. نصف الناقل الهجين من النمط n:

عند إضافة ذرّة خماسية التكافؤ كالزرنيخ As مثلا إلى بلّورة نصف الناقل، فإنّها تحلّ مكان ذرّة جرمانيوم في البلّورة الصلبة، وفق ما في الشكل.



- ما عدد ذرّات الجرمانيوم التي تحيط بذرّة الزرنيخ؟
- ما عدد الروابط المشتركة التي تشكّلها ذرة الزرنيخ مع ذرات الجرمانيوم؟
- ما عدد إلكترونات ذرة الزرنيخ الفائضة غير المرتبطة؟
- هل تكتسب بلّورة نصف الناقل شحنة سالبة نتيجة وجود الإلكترون الفائض من ذرة الزرنيخ؟

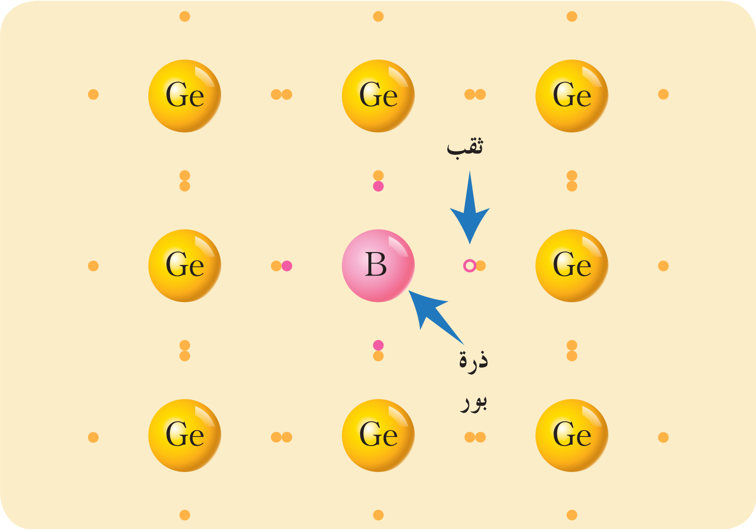
النتائج:

- **ترتبط ذرة الزرنيخ في بلّورة نصف الناقل بأربع روابط مشتركة مع أربع ذرات جرمانيوم, فيبقى لديها إلكترون فائض لا يُكسب البلّورة شحنة سالبة، ولذلك نقول إنّه فائض من حيث المكان لا من حيث الشحنة.**
- **الإلكترون الفائض يَسْهل انتقالهُ داخل البلّورة كإلكترون حُرّ.**
- **كل ذرّة شائبة تؤدي إلى إلكترون حرّ فائض, وتسمى بالذرّة المانحة (المعطية).**

- **تضاف هذه الإلكترونات إلى إلكترونات الناقليّة الأصلية, ويصبح عددها أكبر من عدد الثقوب, ويتشكّل نصف ناقل هجين مانح من النمط n ناقليته إلكترونيّة, ممّا يزيد من ناقليّة نصف الناقل في درجة الحرارة العادية.**

2. نصف الناقل الهجين من النمط p:

عند إضافة ذرّة ثلاثية التكافؤ كالبور مثلاً إلى بلّورة نصف الناقل، فإنّها تحلّ مكان ذرّة جرمانيوم في البلّورة الصلبة، كما في الشكل.



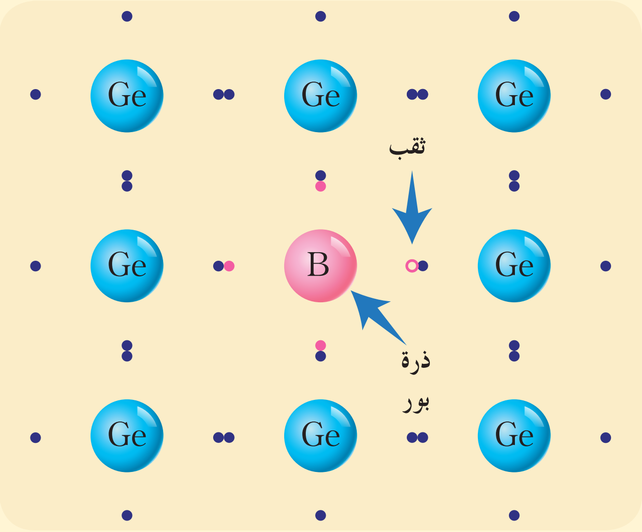
- ما عدد ذرّات الجرمانيوم التي تحيط بذرّة البور؟
- ما عدد الروابط المشتركة التي تشكّلها ذرة البور مع ذرات الجرمانيوم؟
- ما عدد الإلكترونات التي تحتاجها ذرة البور لتشكّل أربع روابط مشتركة مع أربع ذرات جرمانيوم؟
- هل تكتسب بلّورة نصف الناقل شحنة موجبة نتيجة وجود الثقب الفائض من ذرة البور؟

النتائج:

- **تحاط ذرة البور في بلّورة نصف الناقل بأربع ذرات جرمانيوم تشكّل ثلاثة روابط مشتركة, وينقصها إلكترون لتشكّل الرابطة الرابعة يتولّد عن نقص الإلكترون ثقب فائض لا يُكسب البلّورة شحنة موجبة, ولذلك نقول أنّه فائض من حيث المكان لا من حيث الشحنة.**
- **يمكن لإلكترون من ذرة مجاورة أن يتحرّك ليعدّل الثقب الفائض، مخلّفاً ثقباً موجباً جديداً.**
- **كل ذرّة شائبة تؤدي إلى ثقب فائض, وتسمّى بالذرّة الآخذة (المتقبّلة).**
- **تضاف هذه الثقوب إلى ثقوب الناقليّة الأصلية، ويصبح عددها أكبر من عدد الإلكترونات، ويتشكّل نصف ناقل هجين قابل من النمط p ناقليّته ثقوبيّة، ممّا يزيد من ناقليّة نصف الناقل في درجة الحرارة العادية.**

إثراء:

يُعدّ السيليكون والجرمانيوم عنصرين هامّين في الصناعة ولا سيّما في صناعة رقائق الحاسوب والخلايا الشمسيّة، كما استعمل السيليكون في الجراحة التجميلية.



تعلّمتُ

- أنصاف النواقل: أجسام صلبة مقاومتها النوعية تقع ما بين المقاومة النوعية للنواقل، والمقاومة النوعية للعوازل.
- تصنّف المواد من حيث الناقليّة الكهربائيّة إلى:
  - مواد جيدة الناقليّة: مقاومتها النوعيّة صغيرة بالدرجة العادية من الحرارة بسبب احتوائها على إلكترونات حُرّة مثل المعادن
  - مواد ضعيفة الناقليّة: مقاومتها كبيرة جداً بالدرجة العادية من الحرارة بسبب ندرة الإلكترونات الحُرّة فيها.
  - مواد نصف ناقلة: تسلك سلوك عازل في درجة الصفر المطلق وتزداد ناقليّتها بازدياد درجة الحرارة.
- التهجين هو إدخال ذرّات من عنصر آخر مكان الذرّات الأصلية للمادة النقية.
- نصف الناقل الهجين من النمط n ذرّاته الشائبة هي ذرّات عنصر خماسي التكافؤ، والناقليّة فيه إلكترونيّة.
- نصف الناقل الهجين من النمط p ذرّاته الشائبة هي ذرّات عنصر ثلاثي التكافؤ، والناقليّة فيه ثقوبيّة.
- يفيد التهجين في نقصان المقاومة الكهربائيّة بالتالي في زيادة ناقليّة نصف الناقل نتيجة زيادة عدد الشحنات الكهربائيّة المتحركة، وتسمى الناقليّة الجديدة لنصف الناقل الهجين بالناقليّة الهجينة.

أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكلّ ممّا يأتي:

1. تتم الناقليّة الكهربائيّة لنصف الناقل النقي من قبل:

a. الإلكترونات الحرّة فقط
b. الثقوب فقط
c. الإلكترونات الحرّة والثقوب
d. البروتونات

2. يتولد الثقب في نصف ناقل من نمط (p) نتيجة:

a. زيادة إلكترون
b. نقص إلكترون
c. نقص بروتون
d. زيادة بروتون

3. تحوي بلّورة نصف ناقل هجين من النمط (p):

a. شحنات سالبة فقط
b. شحنات سالبة أكثر من الشحنات الموجبة
c. شحنات موجبة أكثر من الشحنات السالبة
d. شحنات سالبة تساوي الشحنات الموجبة

4. تزداد ناقليّة نصف الناقل بـ:

a. إنقاص مقاومته
b. تبريده
c. تصغير حجم البلّورة
d. زيادة مقاومته

ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1. تزداد ناقليّة نصف الناقل النقي بالدرجة العادية من الحرارة بإضافة مادة شائبة من النمط n.
2. ما هي ميزة الإلكترون الناتج من الذرّة المانحة عن إلكترونات التكافؤ في بلّورة الجرمانيوم؟
3. فسّر لماذا لا يُحدث إضافة ذرّة شائبة ذات تكافؤ خماسي تغيراً في بنية شحنة بلّورة نصف الناقل النقي.
4. وازن بين بلّورة نصف الناقل الهجين من النمط n وبلّورة نصف الناقل الهجين من النمط p من حيث:

a. عدد الإلكترونات الحُرّة في كلّ منهما
b. عدد الثقوب في كلّ منهما

تفكير ناقد

يمكن تحسين ناقلية نصف الناقل المشوب بطرائق عدة ابحث في ذلك.

أبحث أكثر

زاد الاهتمام بإلكترونيات أنصاف النواقل المعتمدة على الأكاسيد، ابحث في مكتبة مدرستك أو في الشابكة عن ذلك.

4 ثنائي الوصلة (الدّيود) من النمط p - n

الأهداف:

* يتعرّف الوصلة $p-n$
* يتعرّف رمز الترانزستور ورسمه.
* يحدّد أنماط الترانزستور.
* يتعرف على طريقة عمل الترانزستور يرسم دارتي توصيل الترانزستور بطريقة القاعدة المشتركة.
* يستنتج عامل التضخيم.

الكلمات المفتاحية:

* الديود
* الوصلة $p-n$
* الترانزستور

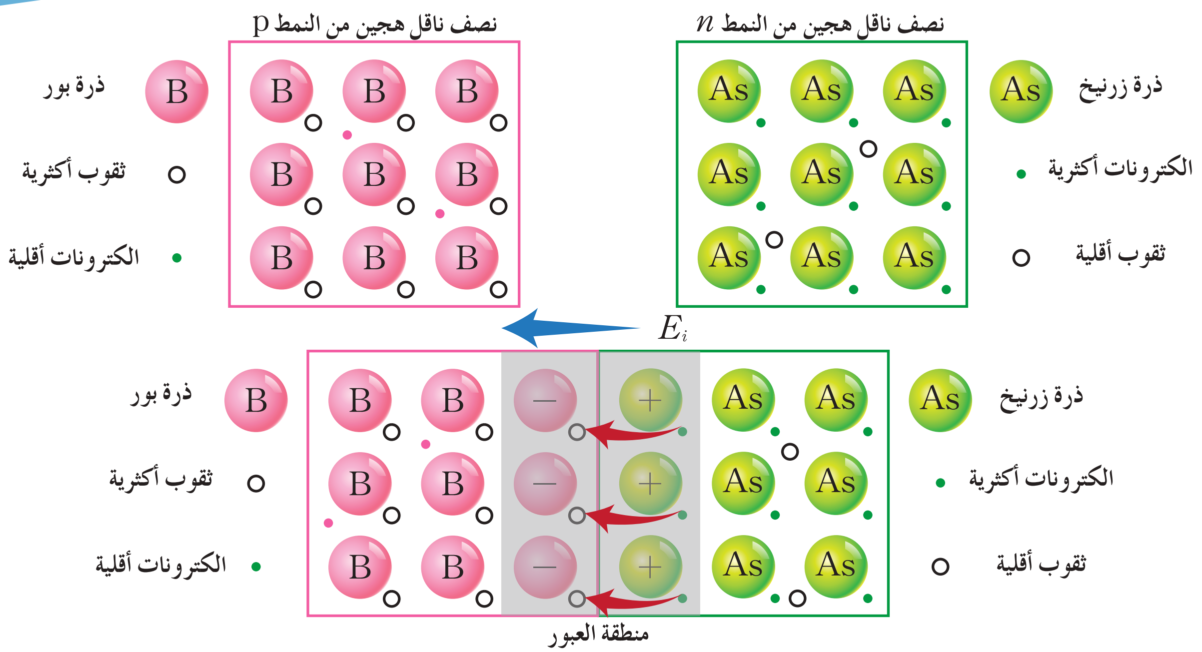
إنّ أول حاسوب تـمّ استخدامه كان يشغل حيّزاً كبيراً من مبنى وتقـدّر كتلته بحوالي 30000 kg ، وجهـاز الراديـو المسـتخدم فـي بدايـة القـرن الماضـي كان حجمـه بحجـم صنـدوق الخضـار، وكذلـك جهـاز التسـجيل وغيـره، بينما جهـاز الموبايـل يضـمّ كلّ التجهيـزات السـابقة وأبعـاده مـن رتبـة السـنتيمتر.

هـل تسـاءلت يومـا عـن سـبب هـذا التطـور الكبيـر وكيـف دمجـت الأجهـزة السـابقة فـي جهـاز واحـد صغيـر الحجـم.

إنّها الثورة في عالم الإلكترونيات والتي يشكّل الدّيود أحد ابتكاراتها.

ممّ يتكوّن الدّيود؟ وكيف يعمل؟ وما استخداماته؟

ألاحظُ وأجيب:



- ما حاملات الشحنة الأكثريّة في كلّ من المنطقتين n و p قبل الوصل؟
- ماذا يحصل لحاملات الشحنة الأكثريّة عند التحام المنطقتين للحصول على الوصلة؟
- ما نوع الشحنة التي تكتسبها كلّ من المنطقتين n و p بعد عبور حاملات الشحنة الأكثريّة؟
- ماذا ينشأ بينهما نتيجة ذلك؟
- متى تصل الوصلة $n-$p إلى حالة التوازن؟

نتيجة:

- تحوي المنطقة n إلكترونات أكثرية – ثقوب أقليّة.
- تحوي المنطقة p ثقوب أكثرية – إلكترونات أقليّة.
- تنشأ منطقة رقيقة بين المنطقتين n و p بعد الوصل تسمى **منطقة العبور**.
- تكتسب المنطقة n شحنة موجبة نتيجة انتقال بعض الإلكترونات الأكثريّة إلى المنطقة p التي تكتسب شحنة سالبة.
- ينشأ بين المنطقتين n و p فرق في الكمون، تتزايد شدّته تدريجيّاً مع استمرار انتقال حاملات الشحنة الأكثريّة حتى يصبح كافياً لمنع بقية حاملات الشحنة الأكثريّة من الانتقال، وتصل الوصلة $n-$p إلى حالة توازن، عندها يدعى فرق الكمون الموافق بتوتّر الحاجز.
- الدّيود هو مادّة صلبة نصف ناقلة ناتجة عن التحام شريحة نصف ناقل مشوبة (هجينة) من النمط n وشريحة من نصف ناقل مشوب من النمط p.

تغذية الدّيود $p-n$:

أجرّب وأستنتج:

أدوات التجربة:

ديود، مقاومة، مولد تيار متواصل، مصباح، أسلاك توصيل، قاطعة.

خطوات تنفيذ التجربة:

- أحقق الدارة بربط الأجزاء السابقة على التسلسل.
- أغلق القاطعة، وأراقب توهّج المصباح.
- أعكس قطبي المولد، وأراقب توهّج المصباح، ماذا أستنتج؟

أستنتج

- يسمح الدّيود $p-n$ للتّيار بالمرور من أجل وصله باتّجاه محدّد (اتّجاه العبور)، ولا يمرّره بالاتجاه المعاكس.
- تتمّ تغذية الدّيود بوصل طرفيه مع قطبي مولّد تيار مستمر بطريقتين:

1. التغذية الأمامية: استقطاب مباشر للديود، حيث يوصل القطب الموجب للمولد بالمنطقة p، ويوصل القطب السالب للمولد المنطقة n.

التفسير:

يولّد التوتر المطبق (توتر المولد) حقلاً كهربائياً $\vec{E}$ ، جهته من القطب الموجب إلى السالب للمولد، أي له حامل الحقل الكهربائيّ الداخلي $\vec{E}_i$ ، ويعاكسه بالاتجاه، ممّا ينقص من ارتفاع حاجز الكمون وقد ينعدم حاجز الكمون. وتتمكّن حاملات الشحنة الأكثريّة من العبور بحرية أكثر أو يزداد عدد حاملات الشحنة التي تتمكن من العبور بحرية اكثر ويمر تيار.

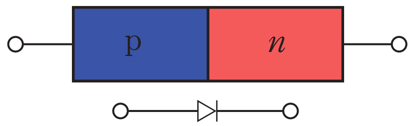
2. التغذية العكسيّة: (استقطاب غير مباشر)

عند عكس قطبي المولد أي وصل المنطقة p إلى القطب السالب للمولد والمنطقة n إلى القطب الموجب نحصل على ما يسمى التغذية العكسيّة للدارة، ينشأ عن المولد حقل كهربائي E له حامل الحقل الكهربائي الداخلي $\vec{E}_i$ ويوافقه بالاتجاه مما يزيد من ارتفاع كمون الحاجز، وينخفض عدد حاملات الشحنة الأكثريّة التي تملك طاقة كافية لعبور حاجز الكمون.

عملياً: يمر تيار صغير جداً يدعى التيار العكسي (من رتبة الميكرو أمبير)

نتيجة: الدّيود يمرّر التيار المتواصل بجهة واحدة فقط.

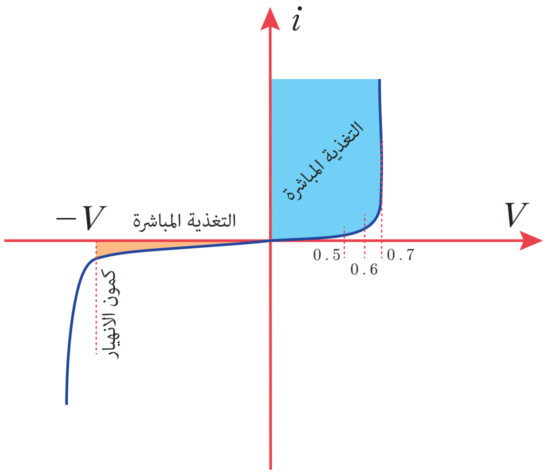
ملاحظات:



- يرمز للديود في الدّارات الإلكترونيّة بالرمز التالي:
- يجب ربط مقاومة مع الدّيود لتقليل شدّة التيار وحمايته.
- يجب أن يكون القوة المحركة الكهربائية للبطارية بحدود 0.6 v للتغلب على حاجز الكمون.

المنحني المميز للديود:

منحني مميّز تعني العلاقة التي تربط شدة التيار المار بفرق الكمون المطبق $I=f(V)$.
هذا الخطّ يبيّن أن الدّيود لن يمرّر التيار في التغذية الأمامية إذا لم يكن كمون البطارية أكبر من 0.6 v للتغلب على حاجز الكمون وتلك القيمة تدعى عتبة الفتح وعند تطبيق تغذية عكسيّة لا يمرّ تيار، وبزيادة هذه التغذية سيمرّ تيار قيمته ضعيفة جداً من مرتبة المكرونات وباستمرار الزيادة سيحصل انهيار في البنية البلورية للديود، يدعى كمون الانهيار بكمون زينر (ZENER) وإذا تجاوزنا كمون زينر يتلف الدّيود.



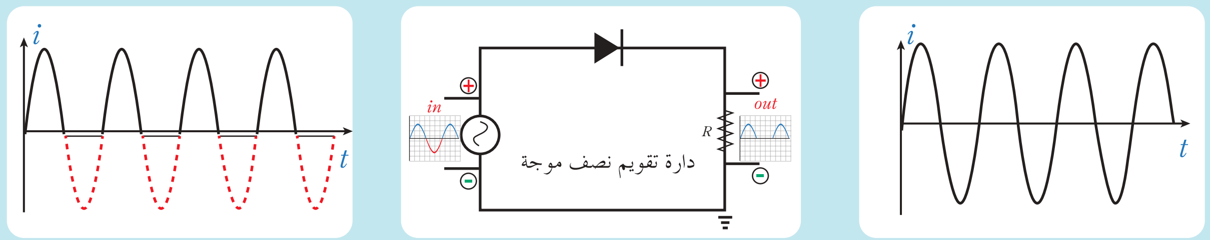
استخدامات الدّيود:

1. تقويم التيار المتناوب:

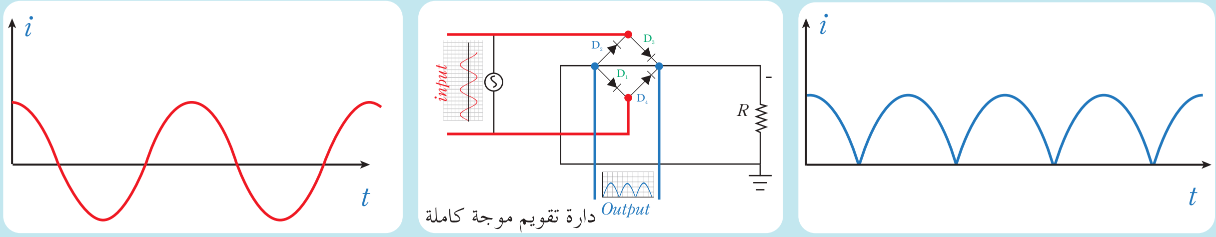
نحتاج في كثير من الأجهزة الإلكترونيّة كالراديو والتلفزيون وغيرها من الأجهزة المنزليّة إلى التيار المستمر.
يمكن الحصول على التيار المستمر بدءاً من التيار المتناوب الجيبي حيث يتحول أولا إلى تيار متقطع وحيد الجهة بوساطة الدّيود ويدعى تقويم نصف موجي، وباستخدام مكثّفات ومقاومات (مرشحات) يمكن الحصول على تيار مستمر.

فكرة التقويم:

تعتمد على أن الدّيود يمرّر التيار عندما يكون n موصول بالقطب السالب p. موصول بالقطب الموجب للمولد أي في حالة التغذية الأمامية ولا يمرّر التيار في حالة التغذية العكسيّة.
إذا الدّيود يمرّر التيار في نصف الدور الذي يحقق تغذيه أماميه (استقطاب مباشر)، ولا يمرّر التيار في نصف الدور الذي يحقق تغذية عكسيّة (استقطاب غير مباشر).



ولكي يتم تقويم التيار المتناوب كاملا يجب استخدام دارة فيها أكثر من ديود كما في الدارة المبينة بالشكل



دارة تقويم موجة كاملة

يمرّر كل ديودين متقابلين التيار خلال نصف دور أي D_2 , D_4 يمرّران التيار خلال النصف الأول من الدور حيث يكونان في حالة تغذية أماميّة كما يمرّر الدّيودين D_3 , D_4 التيار خلال النصف الثاني من الدور وهكذا نحصل على تقويم موجي كامل.

ملاحظة:

أحد وظائف شاحن الموبايل تقويم التيار المتناوب (AC) تقويماً تاماً.

2. الدّيود الضوئي:

يختصر اسم الدايود الباعث للضوء بـ LED وهي أول حرف من كلمات Light Emitting Diodes والتي توضح فكرة هذه الأداء وهي إصدار الضوء، ولهذه الأداة LED تطبيقات عديدة في مجال الإلكترونيات وتدخل في تركيب العديد من الأجهزة الحديثة حيث تضيء الـ LED لتعلم المستخدم أن الجهاز يعمل مثل اللمبة الحمراء التي تضيء عندما يكون جهاز التلفزيون في حالة الاستعداد.
أو في أجهزة الراديو عند استقبال محطة وتدخل في الساعات الرقمية والرموت كنترول والتلفزيونات الكبيرة التي تستخدم كشاشات عرض كبيرة وفي إضاءة إشارات المرور.
باختصار الـ LED عبارة عن لمبة ضوء إلكترونيه أي لا تحتوي على سلك تسخين كما في المصابيح الكهربائية فهي تصدر الضوء من خلال حركة الإلكترونات في داخل مواد من أنصاف النواقل semiconductor التي تتكون منها الترانزستورات. سنحاول في هذا الشرح إلقاء المزيد من الضوء على هذه موضحين الفكرة الفيزيائية.

إثراء:

كيف ينتج الدّيود الضوء:

يتولد الضوء، بوجه عام، عن الذرة على هيئة فوتونات Photons (لها كمية حركة وكتلتها صفر. للضوء طبيعتان موجية استنادا للنظرية الكهرطيسية لماكسويل وجسيمية استنادا لنظرية اينشتاين)
تنطلق الفوتونات من الذرات نتيجة لحركة الإلكترونات، ففي الذرة تتحرك الإلكترونات في مدارات دائرية حول النواة يعتمد نصف قطر المدار على كمية الطاقة التي يمتلكها الإلكترون فكلما كانت الطاقة كبيرة كان نصف قطر المدار أكبر أي الإلكترون أبعد عن النواة.

إثراء:

عندما ينتقل إلكترون من مدار منخفض إلى مدار أعلى فإنه يمتص طاقة خارجية بشكل جرعات (كمات) ليتم الانتقال أما في حالة عودة إلكترون من المدار الأكبر إلى المدار الأدنى طاقة فإنه تتحرر طاقة يحملها فوتون تساوي فرق الطاقة بين المدارين. وبالتالي فإن طاقة الفوتون تتحدد بفارق الطاقة بين المدارين الذين انتقل بينهما الإلكترون، وهذا يدل على أن طاقة الفوتون يمكن أن تكون متغيّرة حسب المدارات التي حدثت بينها الانتقالات، تغيّر طاقة الفوتون تعني تغير في الطول الموجي للفوتون فيمكن أن يكون فوتون على شكل ضوء مرئي أو ضوء غير مرئي.

في حالة وصلة الدّيود فإن الإلكترونات الحرّة تتحرّك عبر وصلة الدّيود في اتّجاه الثقوب وهذا يعني أن الإلكترون عندما يتحد مع الثقب كما لو أنه انتقل من مدار عالي الطاقة إلى مدار منخفض الطاقة وتنطلق الطاقة على شكل فوتون. ولكن لا نرى الفوتون المنبعث إلا إذا كان ذو طول موجي في الطيف المرئي وهذا لا يتحقّق في كلّ وصلات الدّيود، ففي الدّيود المصنّع من مادة السليكون يكون الفوتون المنطلق في منطقة تحت الحمراء من الطيف ولا يرى بالعين المجردة، ولكن له تطبيقات هامّة في الرموت كنترول حيث تنتقل التعليمات من الرموت كنترول إلى التلفزيون على شكل نبضات من الفوتونات تحت الحمراء يستقبلها مجسّ الاستقبال في التلفزيون.

وللحصول على وصلة ديود تعطي ضوءاً مرئيّاً نستخدم موادًّ ذات فارق طاقة أكبر بين مدار الإلكترون في المادة n والثقب في المادة p التي تمثل المدار ذو الطاقة الأدنى. حيث أن التحكم في هذا الفارق يحدّد لون الضوء المنبعث من الدّيود عند اتحاد الإلكترون مع الثقوب خلال وصلة الدّيود.

في حين أن كلّ أنواع الدّيودات تعطي ضوءاً إلّا أنّ هذا الضوء المنبعث له كفاءة معيّنة تحدّد شدّة الضوء المنبعث.

حيث إن جزء من هذا الضوء يعاد امتصاصه داخل وصلة الدّيود. ولكن الدّيودات الباعثة للضوء LED تصمّم بحيث يتم توجيه الضوء إلى الخارج من خلال احتواء وصلة الدّيود داخل مادة بلاستيكية على شكل مصباح شبه كروي كما في الشكل أعلاه لتركيز الفوتونات المنطلقة في اتجاه محدّد.

من أهم تطبيقات صناعة الدّيودات هي التوصل إلى ليزر أنصاف النواقل (LASER SEME CONDUCTER) على هيئة ديود $p-n$.

الدّيودات التي تحوّل الضوء السّاقط عليها إلى كهرباء وتدعى الدّيودات الضوئيّة (PHOTODIODES) مثال المستقبل في جهاز التلفزيون.

خصائص الـ LED:

يمتلك الـ LED خصائص تميزه عن المصابيح الكهربائيّة التقليديّة فهي لا تحتوي على سلك. يمكن أن يعيش الـ LED مدة زمنية أطول بكثير كما أنّها صغيرة الحجم تمكّننا من استخدامها في تطبيقات إلكترونيّة عديدة، هذا بالإضافة إلى كفاءتها العالية بالمقارنة بالمصابيح التقليدية. ولا تنبعث منها أي طاقة حرارية التي تعتبر طاقة مفقودة.

الترانزستور:

ألاحظ واستنتج:

هل رأيت القطع الإلكترونية في الصورة المبيّنة بالشّكل؟

إذا كانت إجابتك بالنفي. ماذا تتوقع أن تكون. أنه الترانستور الذي يُعتبر من العناصر الإلكترونيّة الهامّة المستخدمة في تصميم الدّارات الكهربائيّة والشّائعة الاستعمال من منزلية، صناعات عسكرية وطبية (لا يخلو منها جهاز إلكتروني)

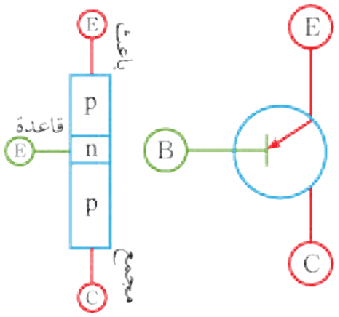
جون برادين "ويليام شوكلي" والتر براتين في مختبرات بيل 1948

وقد ساعدت عدة عوامل على انتشاره بشكل كبير منها صغر حجمه وقلة تكاليفه وسهولة تصنيعه واستهلاكه القليل للطاقة اذ تم اختراعه من قبل العلماء شوكلي Shockley، براتين Brattain، باردين Bardeeen وذلك في مخابر بيل الهاتفية في أمريكا.

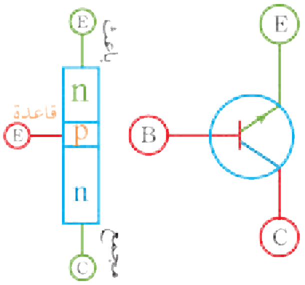
الترانزستور: عنصر كهربائي يوصل بالدارة الكهربائية بثلاث أقطاب.

ممّ يتألف الترانزستور؟

يتكوّن من بلورة نصف ناقلة مشوبة (هجينة) فيها ثلاث مناطق الطرفيتان من نمط واحد والمنطقة الوسطى من نمط مغاير كما يدعى ثنائيّ القطبية وله نوعان:



الأول pnp



الثاني npn

إحدى المناطق الطرفيّة تدعى الباعث Emitter (E) والطرفيّة الأخرى المجمّع Collector (C) والمنطقة الوسطيّة القاعدة Base (B)

تختلف المناطق (القطع) الثلاث السابقة عن بعضها البعض من حيث نسبة الشائبة والحجم حيث تكون نسبة الشائبة كبيرة في الباعث مقارنة ممّا هي عليه في المجمّع وحجم المجمّع أكبر من الباعث. أمّا القاعدة فهي رقيقة جداً عدة ميكرونات ونسبة الشائبة فيها أقل بكثير من نسبتها في المجمّع والباعث.

ملاحظات:

- **جهة السهم في رمز الترانزستور تشير إلى جهة تيار في دارة الباعث – قاعدة.**
- **يتم تحديد نمط الترانزستور من خلال جهة التيار في دارة باعث– قاعدة.**

من أهمّ تطبيقات الترانزستور عمله كمضخّم في الدّارات الكهربائية (صناعة أجهزة الموبايل، رقّاص السّاعة)

بما أن للترانزستور ثلاثة أقطاب لذلك توجد ثلاث وصلات ممكنة من أجل استخدامه كمضخّم.

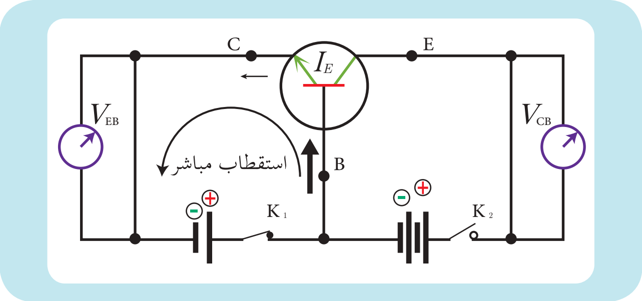
- وصلة الباعث المشترك.
- وصلة القاعدة المشتركة.
- وصلة المجمّع المشترك.

الترانزستور من النوع (npn)

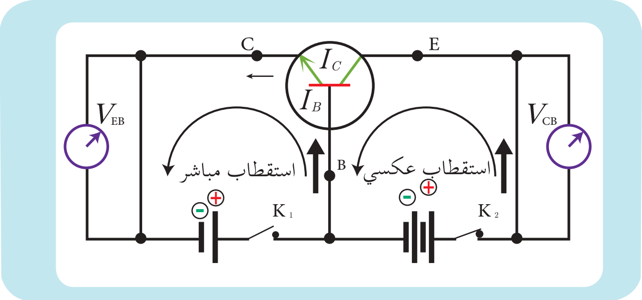
كي يعمل الترانزستور كمضخّم يجب تغذيته من مصدرين في وصلة القاعدة المشتركة بحيث تكون الوصلة (باعث قاعدة) في حالة تغذية أماميه (استقطاب مباشر كمون القاعدة أعلى من كمون الباعث) أمّا الوصلة الثانية (قاعدة مجمع) تكون في حالة تغذية عكسيه (استقطاب عكسي كمون المجمع أعلى من كمون القاعدة).

* عمل الترانزستور

- عند إغلاق القاطعة k_1 وترك القاطعة k_2 مفتوحه يتمّ توصيل دارة (باعث قاعدة) باتّجاه التغذية الأماميّة ويمرّ تيّار كهربائي لكنّه صغير نسبيّاً لأنّ نسبة الشائبة في القاعدة صغير ويكون عدد الالتحامات (ثقب– إلكترون) قليلاً (تمر إلكترونات من الباعث إلى القاعدة بفعل حقل المولّد وانخفاض حاجز الكمون)

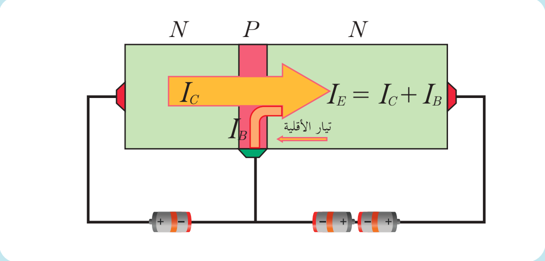


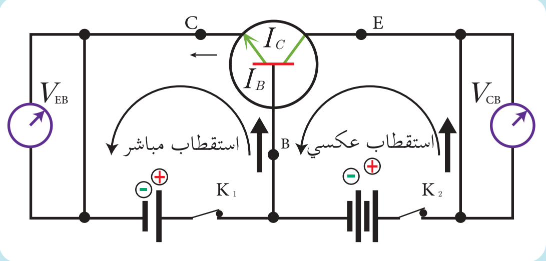
- عند إغلاق القاطعة k_2 وترك القاطعة k_1 مفتوحة تتحقّق التّغذية العكسيّة في دارة مجمع قاعدة ويمر تيّار شدته صغيرة جداً (من رتبة النانو) هو تيّار حاملات الشحنة الأقليّة (الناقليّة الأصليّة)



- عند إغلاق القاطعتين k_1 و k_2 معاً نلاحظ مرور تيارين (I_E , I_C) في كلّ من دارة الباعث قاعدة والمجمّع قاعدة.
- إنّ الباعث وبفعل الحقل الكهربائيّ المطبق يضخّ إلكتروناته الأكثريّة باتّجاه المجمّع عبر القاعدة الرقيقة جداً وغالبيّة الإلكترونات تصل المجمّع لأن عدد ثقوب القاعدة قليل ويمر تيار I_C شدّته قريبة من شدة تيّار الباعث I_E أي $I_C \simeq I_E$

• والتيارات الثلاثة تحقّق قانون كيرشوف الاول $I_E = I_C + I_B$





• بما أنّ نسبة الشائبة في الباعث أكبر ممّا هي عليه في المجمّع فإن مقاومة الباعث R_E أصغر من مقاومة المجمّع R_C.

فإن كمون المجمّع $V_C = R_C I_C$ أكبر من كمون الباعث $V_E = R_E I_E$، والترانزستور يكبّر الكمون وطالما يحصل تكبير في الكمون إذا هناك تضخيم بالاستطاعة وعامل تضخيم الاستطاعة α هو النسبة بين الاستطاعة الناتجة P_C إلى الاستطاعة الداخلة P_E

$$\alpha = \frac{P_C}{P_E} = \frac{R_C I_C}{R_E I_E}$$

$$= \frac{R_C I_C^2}{R_E I_E^2} = \frac{R_C}{R_E}$$

ملاحظة:

لتشغيل الترانزستور يجب أن يكون فرق الكمون بين المجمع والقاعدة أكبر من فرق الكمون بين القاعدة والباعث ويجب أن يكون الأخير مساوياً (0.6 V)

التّحقّق من سلامة الترانزستور:

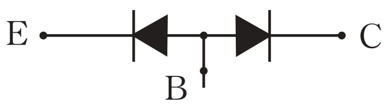
أنشطة تجريبية:

إذا قبلنا أنّ الترانزستور يكافئ ديودين موصولين على التعاكس الأول هو ديود الباعث – قاعدة والثاني هو ديود القاعدة – المجمّع، فإنّه بإمكاننا أن نجد طريقة سهلة تمكننا من معرفة جاهزية الترانزستور للعمل.

كيف نتحقّق من سلامة الترانزستور إذا كان من النّوع npn

من أجل ذلك نستخدم مقياس الأوم.

1. نصل قطبه الموجب إلى B والسالب إلى E فيكون الدّيود باعث قاعدة في حالة تغذية أماميه (استقطاب مباشر)، إذا أشار المقياس إلى مقاومة ضعيفة فان الدّيود صالح للعمل (شكل 1)



الشكل (1)

الشكل (2)

2. نعكس أقطاب مقياس الأوم فيصبح الدّيود باعث – قاعدة في حالة تغذية عكسية فإذا أشار المقياس إلى مقاومة لانهائية فان الدّيود يعمل جيداً. (شكل 2)

3. نصل القطب الموجب لمقياس الأوم إلى B والقطب السالب إلى C إذا أشار المقياس إلى مقاومة ضعيفة فإنّ الدّيود يعمل لأنّ ذلك يوافق ديود في حالة تغذية أمامية (شكل 3)

4. نعكس أقطاب مقياس الأوم فيوافق ذلك ديود في حالة تغذية عكسية فإذا أشار المقياس إلى مقاومة كبيرة جداً فان الدّيود يكون صالح للعمل (شكل 4)

الشكل (5)

5. نصل القطب الموجب لمقياس الأوم بالمجمّع C وقطبه السالب بالباعث E فيشير المقياس إلى مقاومة كبيرة جدا (شكل 5)

6. إذا عكسنا أقطاب الأوم يجب أن نحصل على مقاومة كبيرة لكنها أقل إذا تحقق كل ذلك نقول الترانزستور صالح للعمل وإذا لم تتحقّق مرحلة واحدة فقط نقول أن الترانزستور لا يعمل.

اختبار الترانزستور لتحديد نوعه

إذا كانت أطراف الترانزستور واضحه لكن لا نعرف إذا كان من النوع npn أو pnp يجب إتباع الآتي:

1. اربط القطب الموجب لمقياس الأوم إلى القاعدة
2. اربط القطب السالب لمقياس الأوم إلى المجمّع إذا حصلت على قراءة في الأوم فإن الترانزستور من نوع npn

وإذا حصلنا على قراءة مالا نهاية قم بالآتي:

a. اربط القطب السالب من مقياس الأوم إلى القاعدة.

b. لامس القطب الموجب من مقياس الأوم إلى المجمّع إذا حصلت على قراءة في الأوم كان الترانزستور pnp

تحديد أطراف الترانزستور

يجب اتّباع الخطوات التالية إذا كنت لا تعرف أطراف الترانزستور:

1. اعمل على تبديل الأطراف بحيث تقيس الطرف الأول مع الثاني والثالث والطرف الثاني مع الثالث سجّل قيمة القراءة في كلّ مرة.
2. أعلى قيمه للمقاومة تدلّ على أنّ الطرفين هما المجمّع والباعث والطرف الثالث هو القاعدة.
3. ثبت طرف مقياس الأوم على القاعدة ثم صل الطرف الأخر بالتناوب مع الطرفين الآخرين.
4. اعكس أقطاب مقياس الأوم وكرر الخطوة 3
5. أقل قيمة للمقاومة تسجل مع طرف الباعث إذا الطرف الثالث هو المجمّع.

الدّارات المتكاملة (ic) :Integrated circuits

قبل اختراع الدّارات المتكاملة (المدمجة) كانت تستخدم دارات منفصلة حيث كان يستخدم في جهاز التلفاز عشرات أو مئات القطع الإلكترونية لكن بعد اختراع الدّارات المتكاملة تمّ جمع هذه الأدوات على رقاقة سيلكون واحدة وصغيرة الحجم وبدون استخدام أسلاك للتوصيل.

استخداماتها:

1. الأجهزة الإلكترونية المختلفة راديو، تلفاز، حاسوب، وفي صناعة الصواريخ الموجّهة.
2. في صناعة الإلكترونيّات الطبيّة.

أنواع الدّارات المتكاملة:

1. الدّارات المتكاملة الخطية.
2. الدّارات المتكاملة المنطقية.

مزايا الدّارات المتكاملة عن الدّارات المنفصلة:

1. صغيرة الحجم.
2. تعمل بسرعة اكبر من الدّارات المنفصلة لأنّ أجزاءها لا ترتبط بملفات أو أسلاك.
3. رخيصة الثمن لا تحتاج لعمل يدوي.
4. الأجهزة التي يصنع منها صغيرة الحجم.

عيوب الدّارات الإلكترونية:

إذا تلف جزء منها تستبدل بكاملها أي لا يمكن استبدال الجزء التالف منها.
بالإضافة إلى ضعف أدائها مع ارتفاع درجة حرارتها ممّا يستدعي التبريد بشكل دائم (كما في الحاسب)

تعلّمتُ

- يتكون الديود من بلورة نصف ناقة مشوبة فيها منطقتين الأولى من النمط n والثانية من النمط p.
- الديود يستخدم مقوم للتيار المتناوب، حيث يمرر التيار الذي يحقق تغذية مباشرة (استقطاب مباشر) ولا يمرر التيار الذي يحقق تغذية عكسية(استقطاب عكسي)وهذا مايعرف بالتقويم النصف الموجي.
- يتكوّن الترانزستور من بلورة نصف ناقلة هجينة مشوبة فيها ثلاث مناطق الطرفيتان من نمط واحد و الوسط من نمط مغاير.
- للترانزستور نمطان npn و pnp.
- يربط الترانزستور بطريقة القاعدة المشتركة.
- للترانزستور npn وظائف منها تكبير الكمون و تضخيم الاستطاعة.

أختبر نفسي

أوّلاً: أختر الإجابة الصحيحة لكلّ ممّا يأتي:

1. إن عمل الترانزستور هو:

a. مقوم للتيار المتواصل.
b. مقوم للتيار المتناوب.
c. مضخم.
d. مقاومة اومية.

2. إن نسبة الإشابة في الباعث تكون:

a. أكثر منها في المجمّع.
b. تساوي نسبتها في المجمّع.
c. أصغر منها في المجمّع.
d. تساوي نسبتها في القاعدة.

3. ينشأ الحقل الداخلي E_i في الدّيود $p-n$ من:

a. حركة الثّقوب فقط.
b. حركة الإلكترونات فقط.
c. تجمع الشحنات السالبة في المنطقة ذات الإشابة n والموجبة في المنطقة ذات الإشابة p على طرفي منطقة العبور.
d. تجمع الشحنات السالبة في المنطقة ذات الإشابة p والموجبة في المنطقة ذات الإشابة n على طرفي منطقة العبور.

4. إنّ شدة تيار الباعث في الترانزستور تعطى بالعلاقة:

a. $i_E = i_C + i_B$
b. $i_E = i_C - i_B$
c. $i_E = \dfrac{i_B}{i_C}$
d. $i_E = \dfrac{i_C}{i_B}$

ثانياً: أعطِ تفسيراً علمياً لكل ممّا يأتي:

1. الدّيود من النمط $p-n$ لا يمرّر التيار الكهربائي المتواصل إلا في حالة التغذية الأمامية.
2. الترانزستور من النمط npn يستخدم في تكبير الكمون.
3. الدّارات المتكاملة تعمل بسرعة أكبر من الدّارات المنفصلة.
4. يمكن إهمال الفرق بين تيار الباعث وتيار المجمع.

ثالثاً: اكتب الشروط الواجب توافرها ليعمل الترانزستور:

رابعاً: حل المسألتين الآتيتين:

المسألة الأولى:

نضع ترانزستور في دارة تضخيم بطريقة القاعدة المشتركة فإذا كانت شدة تيار الباعث في لحظة ما تساوي $40\,mA$

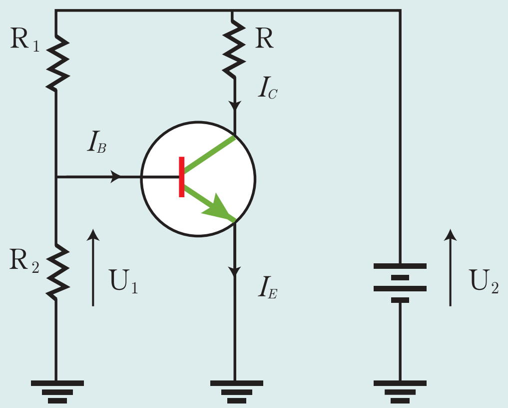
والمطلوب:

1. احسب شّدة تيّار كلّ من دارتيّ القاعدة والمجمّع علماً أن شدة تيّار القاعدة تعادل 2% من شدة تيّار الباعث.

2. إذا علمت أنّ مقاومة دارة الباعث $100\,\Omega$، ومقاومة دارة المجمّع $10000\,\Omega$ احسب عامل تضخيم الترانزستور واحسب كلاً من الاستطاعة الداخلة والاستطاعة الناتجة.

المسألة الثانية:

في الشكل الآتي، المعامل α للترانزستور يساوي $\alpha = 100$، ولدينا $R = 2000\,\Omega$، $U_1 = 15\ \text{V}$، و $R_1 = 100\,\Omega$ و $R_2 = 2\,\Omega$



1. أحسب:

- شدة التيار المار في المقاومة R_1.
- قيمة فرق الكمون U_1.

2. نقوم بزيادة قيمة المقاومة R_2 : حدّد قيمة هذه المقاومة التي يعمل عندها الترانزستور، ثمّ احسب:

- فرق الكمون بين طرفي المقاومة R.
- شدة تيار المجمع.
- شدة تيار القاعدة.

((نقبل أنّ تيار القاعدة مهمل دوماً بالنسبة لتيار المجمع وهو مهمل دوماً بالنسبة للتيار المار في المقاومة R_1))

تفكير ناقد

أشرح عمل الترانزستور من النمط pnp

أبحث أكثر

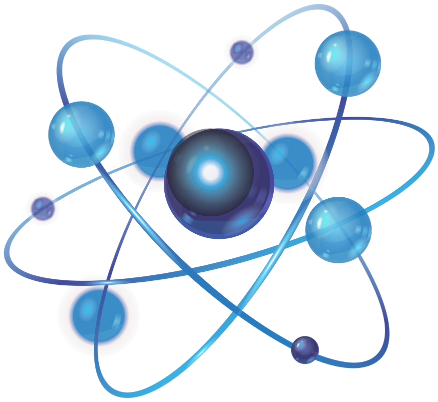
يستخدم الترانزستور في بعض الدارات الكهربائية كمفتاح لتشغيل المصباح تلقائياً عند حلول الظلام، ابحث عن ذلك مستعيناً بالشابكة أو بمكتبة مدرستك.

الوحدة الثالثة
الأمواج والضوء

إنّ التطور الهائل لوسائل الاتصال، حوّل العالم إلى قرية صغيرة، حيث يمكنك مشاهدة حدث ما لحظة وقوعه في أي مكان من العالم، ولعلك تساءلت كيف تنتقل هذه المعلومات بسرعة كبيرة.

1

الحركة الاهتزازيّة وانتشار الأمواج



إنّ التسارع في عجلة التطوّر في مجال تكنولوجيا المعلومات جعلتنا نعيش في محيط من الأمواج بأنواعها المختلفة.
كيف تتشكّل هذه الأمواج؟ وكيف تنتشر؟ ما أثرها في حياتنا اليومية؟

الأهداف:

* يتعرّف الحركة الدّوريّة والحركة الاهتزازية
* يوضّح أشكال انتشار الأمواج.
* يميّز بين الاضطّراب العرضيّ والاضطّراب الطوليّ.
* يتعرّف الأمواج المتقدمة.
* يستنتج معادلة اهتزاز نقطة من وسط مرن.
* يستنتج الدّوريّة المضاعفة للموجة.
* يستنتج علاقات النقاط المميزة في وسط الانتشار.

الكلمات المفتاحية:

* السعة X_{max} .
* المطال x .
* النبض ω .

الحركة الدّوريّة والحركة الاهتزازية :

ألاحظ وأصنّف:

حركة نبضات القلب، حركة الأرجوحة، حركة دوران القمر حول الأرض، حركة دوران عقارب الساعة، حركة رقّاص السّاعة الجدارية، حركة دوران الأرض حول الشمس، حركة الأوتار في الآلات الموسيقية.

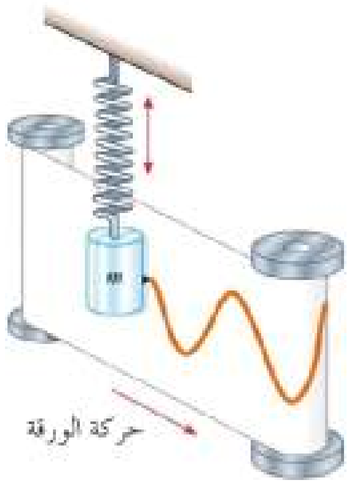
- أحدّد الصفة المشتركة بين هذه الحركات.
- أقارن بين حركة دوران عقارب الساعة، وحركة رقّاص الساعة الجدارية.
- أميّز الحركة التي تتمّ إلى جانبي وضع التّوازن.
- أصنّف الحركات السابقة إلى حركات دوريّة فقط، واهتزازية.

أستنتج

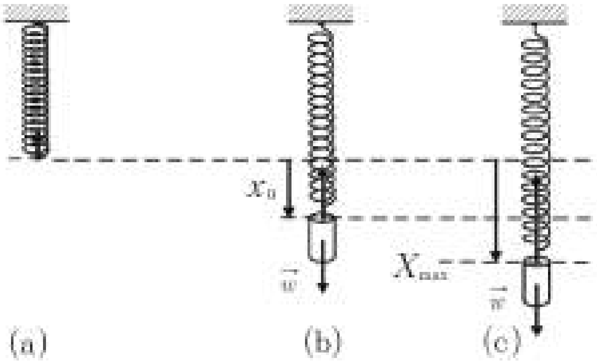
- الحركة الدّوريّة: حركة تتكرّر مماثلة لنفسها خلال فترات زمنيّة متساوية.
- الحركة الاهتزازيّة: حركة دوريّة إلى جانبي وضع التوازن.

نشاط (1)

أجرّب وأستنتج:



- أعلّق في طرف نابض مرن شاقولي حلقاته متباعدة جسماً كتلته مناسبة m وأتركه يتوازن.
- أثبّت على الجسم قلماً يلامس شريطاً ورقيّاً بيانيّاً ملفوف على أسطوانة محورها شاقولي يديرها محرك بسرعة زاوية ثابتة.
- أزيح الجسم عن وضع توازنه شاقولياً نحو الأسفل مسافة مناسبة X_{max} وأتركه دون سرعة ابتدائية، ماذا ألاحظ؟



- يهتزّ الجسم إلى جانبي وضع توازنه بفعل قوة مرونة النابض (القوة المعيدة) بحركة اهتزازيّة دوريّة.
- يسمّى أكبر مقدار للإزاحة إلى أحد جانبيّ وضع التوازن سعة الحركة X_{max} وهي مقدار ثابت موجب.
- يسمّى القياس الجبري لبُعد الجسم عن وضع التوازن (مركز الاهتزاز) في لحظة ما مطال الحركة $\overline{x}$.
- عند تدوير الأسطوانة يرسم القلم منحنياً جيبيّاً معادلته $\overline{x} = X_{max} \cos\theta$.

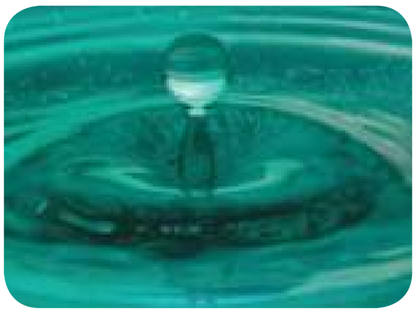
الأمواج وانتشارها:

أتأمل الظواهر الحياتية:

- اضطراب سطح الماء الساكن عند إلقاء حجر صغير فيه، ما شكل الموجات المتشكلة؟
- انتشار الصوت الصادر عن أوتار آلة موسيقية، ماذا يحصل لجزيئات الهواء عندئذ؟
- ما هي الموجة وما أنواعها؟

الموجة:

هي اضطراب ناتج عن مصدر طاقة أو (اضطراب يحمل الطاقة خلال المادة أو الفراغ دون انتقال المادة)



1. تصنيف الأمواج من حيث طبيعتها

* الأمواج الميكانيكية

هي الأمواج التي تحتاج إلى وسط ماديّ لانتقالها، وتتضمّن اهتزاز أجزاء هذا الوسط الماديّ وانتقال المادة فيه ومن أمثلتها أمواج الماء والأمواج الصوتية.

* الأمواج الكهرطيسيّة:

هي أمواج لا تحتاج إلى وسط لانتقالها فهي تنتقل في الفراغ ومن أمثلتها: الأمواج الضوئيّة، الأشعة السينية وأمواج الراديو.

2. تصنيف الأمواج من حيث آلية انتشارها:

ألاحظ وأستنتج:

- أترك حجراً صغيراً يسقط على سطح ماء ساكن في حوض.
- أجعل حلقات نابض مرن أفقي تهتزّ أفقياً.
- أحدّد منحى انتقال المادة ومنحى انتقال الطاقة في كلّ حالة أثناء الاهتزاز

أستنتج

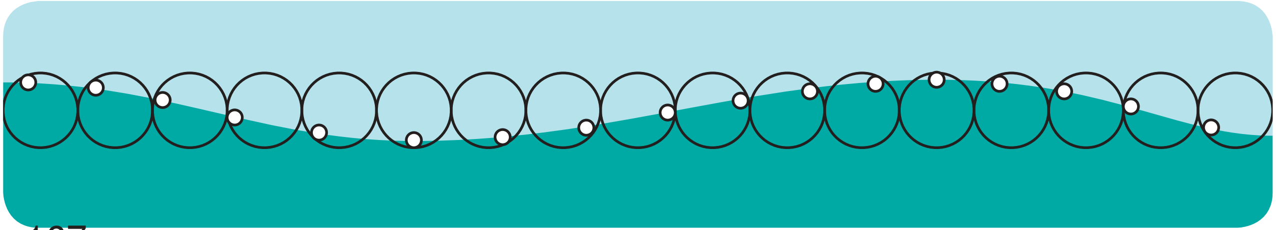
- الموجات النّاقلة للطاقة على سطح الماء الساكن هي دوائر متمركزة.
لا يرافق انتشار الاضطّراب انتقال في مادة الوسط من نقطة إلى أخرى، بينما يرافق ذلك انتقال في الطاقة. أيّ تنتقل الطاقة وفق منحى الانتشار وتهتز المادة وفق منحى الاضطّراب.
- **الاضطّراب العرضيّ:** يكون منحى انتقال الطاقة عمودياً على منحى انتقال المادة.
أمثلة: اهتزاز حبل مرن مشدود، انتشار تجاعيد دائرية على سطح الماء.
- **الاضطّراب الطوليّ:** يكون منحى انتقال الطاقة منطبقاً على منحى انتقال المادّة.
أمثلة: انتشار انضغاط على طول حلقات نابض، انتشار الأمواج الصوتية في الغازات.

أفكّر وأجيب:

ينتشر الاضطّراب العرضيّ الميكانيكيّ في الأجسام الصّلبة والسطوح الحرّة للسوائل بينما ينتشر الاضطّراب الطوليّ في الأوساط الصلبة والسائلة والغازية؟

إضاءة

توجد بعض الموجات مثل موجات الماء تتمّ باتحاد نوعين من الموجات الطوليّة والعرضيّة حيث تتحرّك بمسار دائريّ.



الأمواج المتقدمة:

أجرّب وأستنتج:

الأدوات المستخدمة: حوض الأمواج

- أجعل منبع اهتزاز نقطي يهتز شاقولياً ويمسّ سطح الماء ماذا ألاحظ وماذا استنتج؟
- أجعل مسطرة ذات حد رفيع تهتز مماسة لسطح الماء ماذا ألاحظ وماذا أستنتج؟

أستنتج

- ينتشر الاهتزاز الناتج عن منبع نقطي على سطح الماء في جميع الاتّجاهات بسرعة ثابتة على شكل دوائر متمركزة متتالية.
- تشكّل نقاط كلّ دائرة سطح الموجة الدائريّة.
- ينتشر الاهتزاز عن المسطرة المهتزّة على سطح الماء بسرعة ثابتة على شكل خطوط مستقيمة متوازية متتالية.
- تشكّل نقاط كلّ خط سطح موجة متقدمة مستقيمة.
- سطح الموجة مجموعة النّقط الّتي تبعد عن المنبع أبعاداً متساوية ويصلها الاهتزاز بآن واحد وتكون متوافقة في اهتزازها.

ملاحظة:

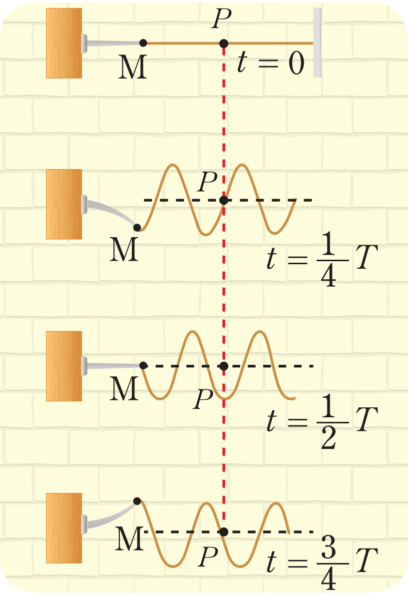
في الفراغ (وسط ثلاثي الأبعاد) يولّد المنبع النقطي أمواجاً كروية متقدمة و المنبع المستوي أمواج مستوية متقدمة.

الأمواج المتقدمة: هي تكرار دوري لاضطرابات متماثلة تنتشر بالسرعة ذاتها في وسط متجانس.

انتشار الاهتزاز العرضيّ المغذّى على وتر (قطار الأمواج):

نشاط (1):

- أثبّت طرف حبل مرن طويل أفقيّ نهايته ثابتة تمتصّ الإشارة وتمنع الانعكاس بإحدى شعبتي رنانة كهربائية مغذاة أجعل الرنانة تهتز ماذا ألاحظ؟
- أصف حركة نقطة من نقاط الحركة.
- أرسم شكل الحبل خلال أرباع الدّور الأول. ماذا استنتج؟



أستنتج

- يتشكّل في الحبل ارتفاعات وانخفاضات متتابعة متماثلة.
- تكرّر كلّ نقطة من نقاط الحبل حركة المنبع نفسها وبنفس الدور.
- ينتشر الاهتزاز على طول الحبل بسرعة ثابتة وبالتواتر نفسه.
- ينتشر الاهتزاز العرضيّ المغذى على طول الحبل بموجات متتابعة تسمّى قطار الأمواج.

معادلة اهتزاز نقطة من وسط مرن:

إذا كان اهتزاز المنبع جيبياً ومعادلة المنبع في وضع التوازن في اللحظة t:

$$y_M = y_{max} \cos \omega t$$

أستنتج معادلة مطال نقطة N من الحبل فاصلتها x في اللحظة (t):

يصل الاهتزاز الوارد من المنبع إلى النقطة N بتأخر زمني $t' = \frac{x}{v}$ فتكرر النقطة N حركة المنبع M نفسها، باعتبار أنّ الانتشار يتمّ في الاتّجاه الموجب للمحور $\overrightarrow{x'x}$ فيكون مطال N في اللّحظة t هو مطال المنبع M في اللحظة $(t-t')$:

$$y = y_{max} \cos \omega (t - t')$$

$$y = y_{max} \cos \omega (t - \frac{x}{v})$$

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

$$y = y_{max} \cos 2\pi (\frac{t}{T} - \frac{x}{vT})$$

$$\lambda = vT$$

$$y = y_{max} \cos (2\pi (\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}))$$

$$y = y_{max} \cos (2\pi \frac{t}{T} - 2\pi \frac{x}{\lambda})$$

وهي معادلة مطال نقطة من وسط الانتشار.

نلاحظ أنّ مطال النقطة N تابع لمتحولين:

- للزمن t أي يتغيّر من لحظة إلى أخرى.
- للمسافة x أي يتغيّر من نقطة إلى أخرى.

ملاحظة:

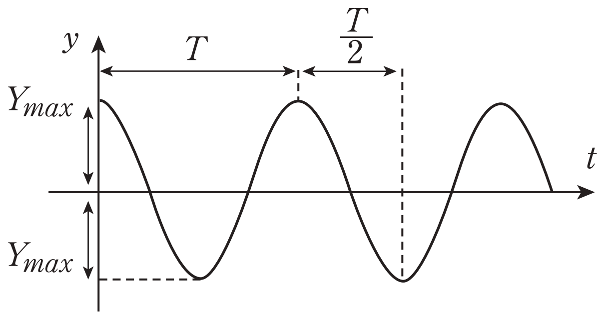
إذا كان الانتشار يحدث في الاتجاه السالب للمحور $\overrightarrow{x'x}$ تصبح معادلة المطال:

$$y_N = y_{max} \cos (2\pi \frac{t}{T} + 2\pi \frac{x}{\lambda})$$

الدّوريّة المضاعفة للموجة:

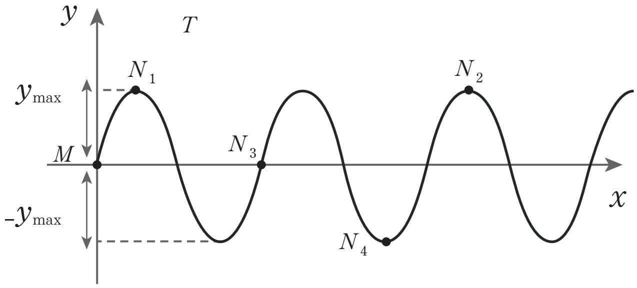
1. دورية الحركة في الزمن:

ألاحظ معادلة مطال نقطة من وسط الانتشار:



- أرسم مطال النقطة N مع الزمن.
- هل مطال النقطة N تابع دوريّ؟ وما دوره؟
- أصف حركة النقطة N خلال فترات زمنية متساويّة كل منها T.
- تكتسب النقطة N حركة اهتزازية دور اهتزازها T هو دور اهتزاز المنبع.
- مطال النقطة N تابع للزمن دوره T.
- مطال النقطة N يأخذ القيم نفسها وبالجهة نفسها في فترات زمنية متساوية كل منها T.

2. دوريّة الحركة في المسافة:



- ألاحظ حركة مختلف نقاط الحبل في اللحظة نفسها t.
- أرسم مطال نقاط الحبل بدلالة x في لحظة ما t.
- أصف حركة مختلف نقاط الحبل في لحظة ما.

أستنتج

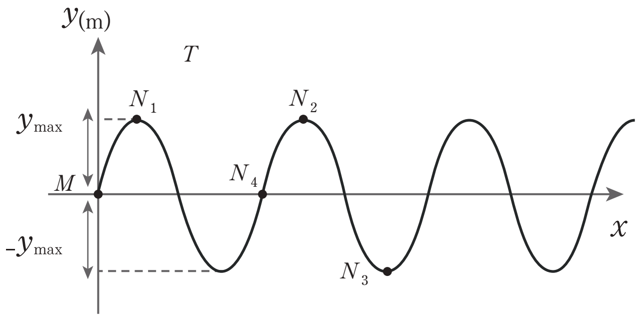
- المطال تابع جيبي للمسافة x بطول موجة λ.
- لا يكون لمختلف نقاط الوسط مطالات متساوية في اللحظة نفسها.
- النقاط التي يفصل بينها مسافات متساوية كلّ منها طول موجة λ في لحظة ما يكون لها المطال نفسه وجهة الحركة نفسها.
- كلّما انتقلنا وفق منحى الانتشار مسافة λ وجدنا نقطة جديدة لها الحالة الاهتزازية نفسها.

النقاط المميّزة في وسط الانتشار:

ألاحظ وأستنتج:

- أحدّد الفاصل الزمني بين كل من النقطتين (N_1,N_2) , (N_2,N_3) , (N_1,N_4) بدلالة الدور T حيث $t' = \frac{\Delta}{v}$

- أحدّد فرق المسير $\Delta = |x_1 - x_2|$ لكلّ من النقطتين (N_1,N_4) , (N_2,N_3) , (N_1,N_2) بدلالة طول الموجة λ.
- أحدّد الحالة الاهتزازية لكلّ زوج من النقاط السابقة.



أستنتج

1. شرط التّوافق: (N_1,N_2) **على توافق** $\Longleftarrow$ **لهما الحالة الاهتزازية نفسها:** $y_{N_1}(t) = y_{N_2}(t)$

$$t' = \frac{\Delta}{v} = kT$$
$$\Delta = kvT$$
$$\Delta = k\lambda \qquad k = 0,1,2,.........$$

تهتزّ النّقطتان على توافق عندما يكون فرق المسير بينهما عدداً صحيحاً من طول الموجة.

2. شرط التعاكس: (N_1 , N_3) **على تعاكس** $\Longleftarrow$ $\overline{y}_{N_1}(t) = -\overline{y}_{N_3}(t)$

$$t' = \frac{\Delta}{v} = kT + \frac{T}{2}$$
$$\frac{\Delta}{v} = (2k+1)\frac{T}{2} \Longrightarrow \Delta = (2k+1)\frac{T}{2}.v$$
$$\Delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \qquad k = 0,1,2,...........$$

تهتز النقطتان على تعاكس عندما يكون فرق المسير بينهما عدداً فرديّاً موجباً من نصف طول الموجة.

3. شرط التراابع: (N_4,N_2) **على تراابع** $\Longleftarrow$ $k = 0,1,2,...........$ $\quad \Delta = (2k+1)\frac{\lambda}{4}$

من الشكل أحدّد نقطتان تهتزان على تراابع، ثمّ استنتج العلاقة التّي تحدّد فرق المسير بين النقاط التّي تهتز على تراابع.

الأمواج المتقدمة الدائريّة

أجرّب وأستنتج:

الأدوات المطلوبة:

حوض ماء ساكن، منبع اهتزاز نقطيّ.

خطوات التجربة:

أولّد أمواجاً دائرية على سطح الماء بواسطة منبع اهتزازي نقطيّ يهتز شاقوليّاً ويمسّ سطح الماء بنقطة كيف يصل الاهتزاز في كلّ لحظة (t) إلى باقي النقاط على سطح الحوض؟

ينتشر الاهتزاز على السطح الحرّ للماء في جميع الاتّجاهات بسرعة ثابتة فيصل الاهتزاز في لحظة ما t نفسها إلى مجموعة من النّقاط تقع على محيط دائرة مركزها O منبع الاهتزاز، تشكل هذه النقاط سطح الموجة.

نتيجة:

سطح الموجة هي مجموعة النقاط التّي تبعد عن منبع الاضطّراب أبعاداً متساوية فيصلها الاضطّراب بآن واحد, وتتوافق في اهتزازها, تكون هذه السطوح دائرية في الأوساط المستوية المتجانسة, وكروية في الأوساط الفراغية المتجانسة.

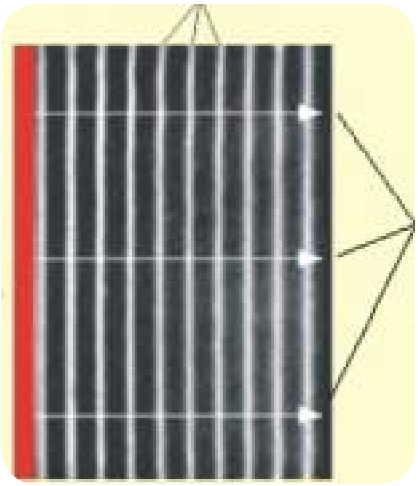
الأمواج المتقدمة المستوية:

أجرّب وأستنتج:

الأدوات المطلوبة:

حوض ماء ساكن – مسطرة.

خطوات التجربة:



أولّد أمواجا متقدمة على سطح ماء في حوض الأمواج بواسطة منبع مهتز بشكل مسطرة ذات حد رفيع، ماذا نلاحظ؟

نجد خطوطا مستقيمة متوازية، البُعد بين كلّ خطين متتالين لهما الحالة الاهتزازية نفسها (تهتزان على التوافق) يساوي طول الموجة وفق ما في الشّكل.

تعلّمتُ

- الأمواج الميكانيكية تحتاج إلى وسط ماديّ لانتقالها.
- الأمواج الكهرطيسية لا تحتاج إلى وسط ماديّ لانتقالها.
- في الاضطراب العرضيّ يكون منحى انتقال الطاقة عمودياً على منحى انتقال المادة.
- في الاضطراب الطوليّ يكون منحى انتقال الطاقة منطبقاً على منحى انتقال المادة.
- طول الموجة هو المسافة التّي يقطعها الاهتزاز في دور واحد و يعطى بالعلاقة:

$$\lambda = vT$$

- تهتزّ نقطتان على:

1. توافق عندما يكون:

$$\Delta = k\lambda$$

2. تعاكس عندما يكون:

$$\Delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

3. ترابع عندما يكون:

$$\Delta = (2k+1)\frac{\lambda}{4}$$

أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

إذا علمت أن تواتر إذاعة دمشق $95\,MHz$ وسرعة انتشار الأمواج الكهرطيسية في الهواء $3\times10^{8}\,m.s^{-1}$، فإن طول موجة هذه المحطة مساوياً:

a. $3.06\,m$

b. $4\,m$

c. $5.5\,m$

d. $2.8\,m$

ثانياً: أكمل الجمل الآتية بالكلمات أو العبارات المناسبة:

1. الحركة الاهتزازية هي حركة إلى جانبي ---------- ---------- وتكون سعة الاهتزاز ---------- في غياب الاحتكاك و يمكن تمثيلها ----------
2. ---------- هي الأمواج التّي تحتاج إلى وسط ماديّ لانتقالها (قد يكون صلباً أو سائلاً أو غازياً)، والذّي جسيماته قادرة على ----------
3. الأمواج الميكانيكية هي أمواج تحتاج إلى وسط ---------- لانتقالها وتتضمّن ---------- أجزاء هذا الوسط الماديّ.

ثالثاً: حلّ المسألتين الآتيتين:

المسألة الأولى:

تنتشر حركة جيبيّة في وسط مرن، تعطى معادلة المطال y_N لنقطة N من هذا الوسط تبعد مسافة x عن منبع الأمواج بالمعادلة الآتية:

$$y_N = 0.3\cos(50\pi t - 35x) \quad (m)$$

المطلوب:

حساب قيمة كلّ من:

1. سعة الحركة.
2. تواتر حركة المنبع.
3. طول الموجة المنتشرة في الوسط المرن.
4. سرعة انتشار الأمواج في الوسط المرن.

المسألة الثانية:

يتحرّك منبع اهتزازيّ M حركة جيبية تواترها $100\,Hz$ وسعتها $5\,cm$ وتنتشر دون تخامد بسرعة $4\,m.s^{-1}$ على مستقيم $x'x$.

المطلوب:

1. احسب طول الموجة.
2. اكتب معادلة اهتزاز المنبع M، واستنتج معادلة اهتزاز نقطة N التّي تبعد عن المنبع مسافة $30\,cm$.

تفكير ناقد

تحدث انفجارات نووية هائلة داخل الشمس،فسّر لماذا لا نسمع صوت هذه الانفجارات على سطح الأرض

أبحث أكثر

تختلف الأمواج الصوتية باختلاف تواتراتها، ابحث في أنواع هذه الأمواج و بعض تطبيقاتها.

2

انعكاس وانكسار الأمواج

الأهداف:

* ينفّذ تجارب انعكاس الأمواج.
* يستنتج صفات الأمواج المنعكسة.
* ينفّذ تجارب انكسار الأمواج.
* يستنتج صفات الأمواج المنكسرة.
* يطبّق قوانين الانعكاس في الأمواج.
* يطبّق قوانين الانكسار في الأمواج.

الكلمات المفتاحية:

* انعكاس موجه
* نهاية مقيدة
* نهاية طليقة
* انكسار موجة
* قانونا ديكارت
* معامل الانكسار النسبي
* قانون سنل في الانكسار.

انعكاس الأمواج:

1. انعكاس موجة بالانتشار المستقيم:

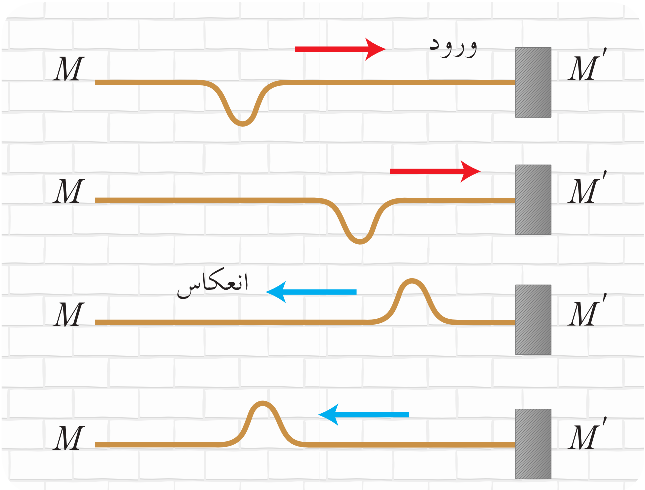
* حالة نهاية مقيدة:

تجربة:

أدوات التجربة:

وتر مرن

خطوات التجربة:



1. أثبّتُ طرف وتر مرن أفقي في نقطة M' من مستوي شاقوليّ.
2. أحدثُ اضطراباً عند طرف الوتر الآخر M وفق ما في الشكل.

- ماذا يحدث للاضطراب عند M'؟
- ما جهة انزياح الاضطراب المنعكس؟
- ما جهة انتشار الاضطراب المنعكس؟
- كيف أفسّر ذلك؟

عندما يصل الاضطّراب الوارد من M إلى M' يرتدّ عنها نحو الأعلى منتشراً في الجهة المعاكسة من M' إلى M.

- نعلّل حدوث انعكاس الاضطّراب:

عندما تصل الإشارة الواردة إلى M' النهاية الثابتة تحاول هزّها نحو الأسفل فلا تستطيع فيتولّد عنها (لثباتها) ردّ فعل يُنتج في اللّحظة نفسها إشارة أخرى نحو الأعلى مساوية للإشارة الواردة تنتشر من M' إلى M نسمّيها الإشارة المنعكسة.

أستنتج

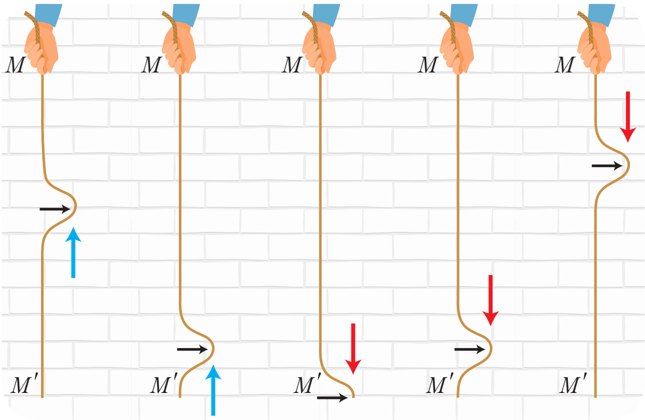
- جهة إزاحة الإشارة المنعكسة عند النهاية المقيّدة معاكسة لجهة إزاحة الإشارة الواردة.
- تنتشر الإشارتان الواردة والمنعكسة بالسرعة ذاتها.
- تنتشر الإشارة المنعكسة في جهة معاكسة لجهة انتشار الإشارة الواردة، حيث ينشأ فرق في الطور بين الإشارتين الواردة والمنعكسة مقداره π rad.

* حالة نهاية طليقة:

تجربة:

خطوات التجربة:

1. امسكُ طرف وتر مرن واتركه يتدلّى شاقوليّاً لتبقى نهايته حرّة.
2. أحدثُ إشارةً عرضيّة في النقطة M.



- ماذا يحدث للإشارة المنتشرة من M إلى M'.
- ما جهة انزياح الإشارة المنعكسة؟
- ما جهة انتشار الإشارة المنعكسة؟
- كيف أفسّر ذلك؟
عندما يصل الاضطراب الوارد من M إلى M' يرتدّ عنها بالجهة نفسها منتشراً في الجهة المعاكسة من M' إلى M.
- نعلّل حدوث انعكاس الاضطراب: عندما تصل الإشارة الواردة إلى M' النهاية الطليقة تستجيب لها وتنتشر الإشارة المنعكسة من M' إلى M.

أستنتج

- جهة إزاحة الإشارة المنعكسة عند النهاية الطليقة بجهة إزاحة الإشارة الواردة.
- تنتشر الإشارتان الواردة والمنعكسة بالسرعة ذاتها.
- تنتشر الإشارة المنعكسة في جهة معاكسة لجهة انتشار الإشارة الواردة، حيث فرق الطور بين الإشارتين الواردة والمنعكسة معدوم $(0\,\text{rad})$.

2. انعكاس موجة مستوية على حاجز مستو ثابت:

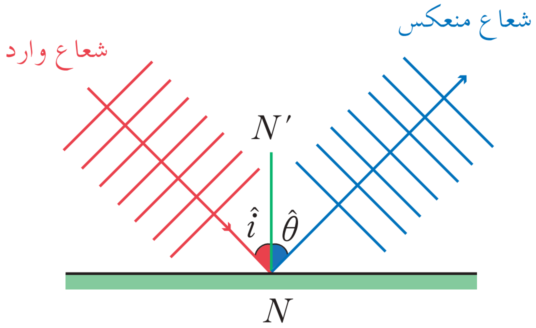
* انعكاس موجة متقدمة مستقيمة:

تجربة:

أدوات التجربة: جهاز حوض الأمواج.

خطوات التجربة:

1. اضعُ في حوض الأمواج مسطرة متّصلة بمنبع اهتزاز عرضيّ مغذّى، ماذا يحدث؟
2. اضعُ في الحوض حاجزاً L يبعد عن المسطرة مسافة مناسبة ويميل عنها بزاوية ما.
3. ما يحدث للأمواج الواردة من المسطرة؟



ألاحظ:

إنّ الحاجز L لا يسمح للأمواج الواردة باجتيازه فتنعكس هذه الأمواج المستوية على الحاجز.

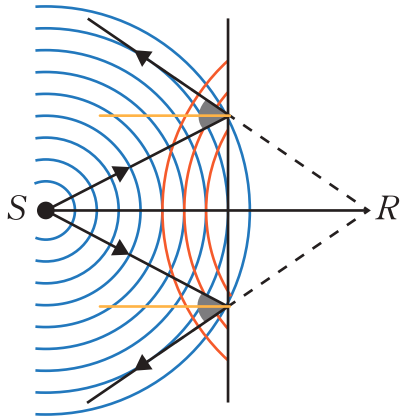
ألاحظ:

- **زاوية الورود تساوي زاوية الانعكاس:**

$$\hat{i} = \hat{\theta}$$

- **الشعاع الوارد والشعاع المنعكس والناظم على الحاجز تقع جميعها في مستوٍ واحد.**

* انعكاس موجة دائرية تنتشر على سطح الماء عن حاجز مستو ثابت:



تجربة:

أدوات التجربة:

حقيبة الأمواج.

خطوات التجربة:

1. أثبّتُ حاجزاً مستوياً على بُعد مناسب من منبع اهتزاز نقطي s.
2. ماذا يحدث للأمواج الدائرية عند وصولها إلى الحاجز؟
3. ما شكل الأمواج المنعكسة؟

ألاحظ:

تنعكس الأمواج الواردة المتقدمة عند الحاجز المستوي محافظة على شكلها الدائري وكأنّها صادرة عن منبع نقطي R مناظر للمنبع S بالنسبة للحاجز.

انكسار الأمواج

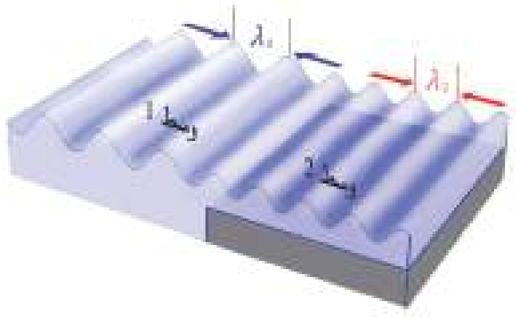
استنتاج قرينة الانكسار:

تجربة (1):

أدوات التجربة:

جهاز حوض الأمواج.

خطوات التجربة:



1. أضعُ في منتصف حوض الأمواج لوحاً زجاجياً ذا سماكة مناسبة ومتجانسة بحيث يُغمّر في قعر الحوض فأحصلُ على وسط (1) أكثر عمقاً ووسط (2) أقلّ عمقاً.
2. أثبّتُ مسطرة إلى منبع اهتزاز مغذّى بحيث تلامس سطح الماء في الوسط الأكثر عمقاً وتوازي طرف اللّوح الزجاجيّ المتجانس. ماذا ألاحظ؟

إنّ الأمواج المستقيمة المتولّدة الواردة من المنبع في الوسط (1) الأكثر عمقاً إلى الوسط (2) الأقلّ عمقاً تنتقل من دون حدوث تغيّر في منحى الانتشار وتُسّمى بالأمواج المُنكسرة حيث يتغيّر طول الموجة ويصبح λ_2.

استنتاج علاقة قرينة الانكسار النسبيّة:

تعطى سرعة انتشار الموجة في الوسط (1) الأكثر عمقاً بالعلاقة:

$$v_1 = \lambda_1 f$$

وتعطى سرعة انتشار الموجة في الوسط (2) الأقلّ عمقاً بالعلاقة:

$$v_2 = \lambda_2 f$$

ننسب العلاقتين فنجد:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

تُعبّر النسّبة بين سرعتي الأمواج في الوسطين عن كميّة فيزيائيّة تُسّمى قرينة الانكسار النسبي للأمواج ويرمز لها بالرمز $n_{1,2}$

وبالتالي: $n_{1,2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$

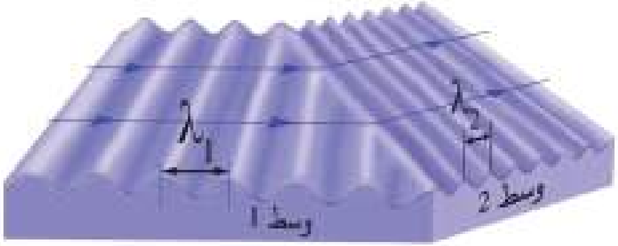
بما أنّ: $\lambda_1 > \lambda_2$ نجد: $v_1 > v_2$

أستنتج

سرعة انتشار الأمواج في الماء العميق أكبر من سرعة انتشارها في الماء الأقلّ عمقاً.

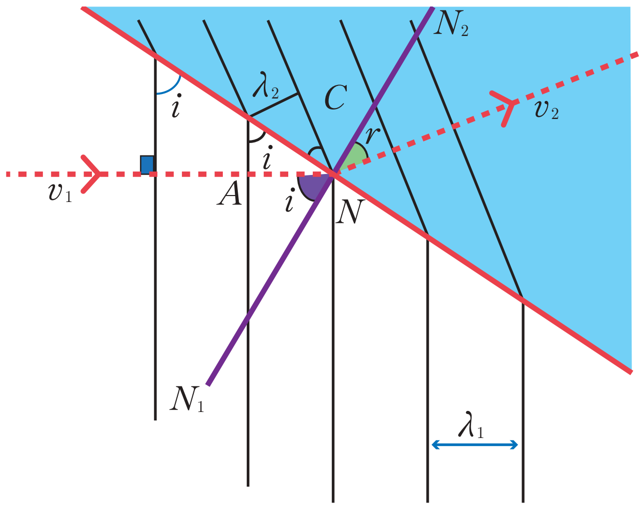
استنتاج قانون سنل في الانكسار

تجربة (2):



أكرّرُ التجربة (1) باستبدال اللّوح الزجاجيّ بلوح زجاجي آخر له شكل شبه منحرف لا يوازي السطح الفاصل للمسطرة المهتزّة، فألاحظ الأمواج الواردة والمنكسرة كما يلي:

- أرسم الناظم N_1N_2 على السطح الفاصل بين الوسطين(1) و(2).
- يصنعُ الناظم مع منحى انتشار الأمواج الواردة زاوية (i) هي زاوية الورود.
- يصنعُ الناظم مع منحى انتشار الأمواج المنكسرة زاوية (r) هي زاوية الانكسار.



من المثلّث القائم (BAN).

$$\sin i = \frac{\lambda_1}{NB}$$

$$\lambda_1 = NB \sin i \;.....(1)$$

من المثلّث (CBN):

$$\sin r = \frac{\lambda_2}{NB}$$

$$\lambda_2 = NB \sin r \;.....(2)$$

نسبب العلاقتين:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{\sin i}{\sin r}$$

تعبر هذه العلاقة عن قانون سنل في الانكسار.

وبالتالي: $n_{1,2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\sin i}{\sin r}$

i: زاوية الورود.

r: زاوية الانكسار.

v_1: سرعة انتشار الأمواج في الوسط (1).

v_2: سرعة انتشار الأمواج في الوسط (2).

λ_1: طول موجة الانتشار في الوسط (1).

λ_2: طول موجة الانتشار في الوسط (2).

حالة خاصة: إذا كان الحاجز يوازي المنبع:

$$i = 0$$
$$\sin i = 0$$
$$\sin r = \frac{v}{v}\ \text{sini=0}$$
$$r = 0$$

تطبيق (1):

نولّد أمواجاً مستوية في حوض الأمواج المائيّة بتواتر $5\,\text{Hz}$ حيث طول الموجة $4\,\text{cm}$ وعند اجتياز الحد الفاصل بين الماء العميق والماء في الحوض أصبح طول الموجة $3\,\text{cm}$

المطلوب حساب:

1. سرعة انتشار الأمواج في كل من الجزأين العميق والضحل.
2. أيُّ الجزأين من الحوض ماؤه عميق.
3. معامل انكسار الأمواج بين الوسطين.
4. جيب زاوية الانكسار إذا كانت زاوية الورود $30°$.

الحل:

$f=5\,\text{Hz}$ ، $\lambda_1=4\times10^{-2}\text{m}$ ، $\lambda_2=3\times10^{-2}\text{m}$

1. حساب سرعة الانتشار في كل الوسطين:

$$v_2=?\qquad v_1=?$$

$$v_1=\lambda_1 f=4\times10^{-2}\times5=0.2\,\text{m.s}^{-1}$$
$$v_2=\lambda_2 f=3\times10^{-2}\times5=0.15\,\text{m.s}^{-1}$$

2. نلاحظ أنّ: $v_1>v_2$

وبالتالي: تنتشر الأمواج من الوسط (1) الأكثر عمقاً إلى الوسط (2) الأقل عمقاً.

3. حساب معامل الانكسار:

$$n_{1,2}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{0.2}{0.15}=\frac{4}{3}$$

4. حساب جيب زاوية الانكسار:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\sin r = \frac{v_1}{v_2}\sin i = \frac{0.15}{0.2} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{8}$$

تعلّمتُ

- في النهاية المقيّدة: الأمواج المنعكسة تماثل الأمواج الواردة عدا الجهة وذلك عند تمام المرونة والعزل وكون حاجز التثبيت ناظميّاً على منحى الانتشار.
- في النهاية الطليقة: تنتشر الأمواج المنعكسة في الجهة ذاتها التي كانت للأمواج الواردة.
- قانونا الانعكاس:
  1. زاوية الورود تساوي زاوية الانعكاس.
  2. الشعاع الوارد والشعاع المنعكس والناظم تقع جميعها في مستوٍ واحد.
- في الانكسار: تتغيّر سرعة انتشار الموجة الواردة عند انتقالها بين وسطين مختلفين ويتغيّر معها طول الموجة ويعود هذا التغيير نتيجة اختلاف عمق الماء.
- قانون سنل في الانكسار:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n_{1,2}$$

أختبر نفسي

أولاً: ضع كلمة (صح) أمام العبارة الصحيحة وكلمة (غلط) أمام العبارة الغلط وصحّح العبارات المغلوطة:

1. انتقال الموجة من وسط انتشار إلى وسط انتشار آخر يرافقه دوماً انعكاس. ---------
2. انتقال الموجة من وسط انتشار إلى وسط انتشار آخر يرافقه دوماً انكسار. ---------
3. يبقى طول الموجة ثابتاً عند انتقالها بين وسطين مختلفين. ---------
4. يتغيّر تواتر الموجة عند انتقالها بين وسطين مختلفين. ---------
5. انعكاس موجة دائريّة تنتشر على سطح الماء على حاجز مستو يعطي موجة مستقيمة. ---------
6. انعكاس موجة مستقيمة مستوية على حاجز مستوٍ يعطي موجة دائريّة. ---------

ثانياً: أعطِ تفسيراً علمياً لكلٍّ مما يأتي:

1. تبدو الملعقة مكسورة عند السطح الفاصل بين الماء والهواء إذا وضعت بشكل مائل.
2. تقلّ سرعة انتشار الموجات المائية عند انتقالها من ماء عميق إلى ماء أقلّ عمقاً.

ثالثاً: حلّ المسألتين الآتيتين:

المسألة الأولى:

نولّد أمواجاً مستقيمة واردة في الماء العميق تواترها 10HZ طول الموجة λ_1 تنتشر بسرعة $2\,m.s^{-1}$ في حوض الأمواج المائية، وعندما تجتاز السطح الفاصل بين الماء العميق والماء الذي يوازي المسطرة المهتزة يصبح طول موجتها $\lambda_2 = 0.1\,m$

المطلوب:

1. احسب سرعة انتشار الأمواج في الماء.
2. إذا تغيّر منحى انتشار الأمواج الواردة بحيث يصنع زاوية $i = 60°$ فاحسب قيمة زاوية الانكسار r بدلالة إحدى نسبها المثلّثية.

المسألة الثانية:

تنتشر أمواج في حوض مائي بسرعة $4\,m.s^{-1}$ وبطول موجة $8\,cm$ عند عمق معين في الماء فإذا تغير هذا العمق أصبح طول الموجة $12\,cm$

المطلوب:

1. حساب سرعة انتشار الموجة في الوسط الثاني بعد تغيّر العمق.
2. حساب تواتر الموجة في كلّ من الوسطين.
3. إذا كان منحى انتشار الأمواج الواردة يصنع زاوية $30°$ مع العمود المقام على الحد الفاصل بين الوسطين، ما قيمة زاوية انكسار الأمواج بدلالة إحدى نسبها المثلّثية.

تفكير ناقد

كيف يمكن لربّان السفينة أن يقدّر عمق المياه التي تبحر فيها السفينة.

أبحث أكثر

في مرفأي اللاذقية وطرطوس يوجد حاجز يدعى كاسر الأمواج ابحث في أهميته مستعينا بمكتبتك المدرسية أو في الشابكة

3

التداخل والانعراج

الأهداف:

* يتعرّف التّداخل.
* يتعرّف الانعراج.
* يقوم بتجارب على التّداخل والانعراج.
* يفسّر ظواهر التّداخل والانعراج.
* يتعرّف علاقات التّداخل.
* يرسم أشكالاً تمثّل ظواهر التّداخل والانعراج.

الكلمات المفتاحية:

* التداخل.
* التداخل البنّاء.
* التداخل الهدّام.
* الانعراج.
* استقطاب الضوء.

التّداخل:

- هل سبق أن شاهدت ألوان الطيف الناتجة عن فقاعة الصابون أو عن الغشاء الزيتي العائم على سطح التجمعات المائية الصغيرة؟
- لماذا يعكس القُرص المُدمج CD الضوء بألوان برّاقة جميلة؟
- هل هذه الألوان ناتجة عن تحليل الضوء الأبيض بوساطة الموشور أو عن امتصاص الألوان بوساطة الأصبغة؟

التداخل على سطح الماء:

أجرّب وأستنتج:

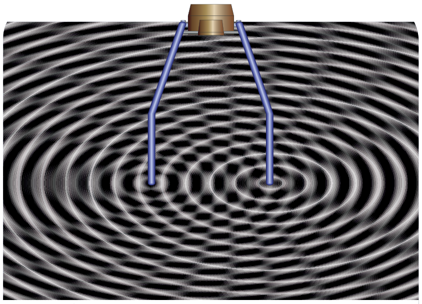
أدوات التجربة:

جهاز تداخل الأمواج على سطح الماء.

- أركّب جهاز تداخل الأمواج على سطح الماء بمساعدة المدرّس.
- أصِلْ منبع الاهتزاز بمنبعين نقطيّين (S_1, S_2) المسافة بينهما d صغيرة، وألامسهما مع سطح الماء الساكن.
- أصِلْ التيار الكهربائي إلى الومّاض ومنبع الاهتزاز، ماذا أشاهد على الشاشة؟
  - أشاهد تشكّل منحنيات ثابتة، أشكالها قطوع زائدة محرقاها منبعا الاهتزاز تسمّى أهداب التداخل.
  - تبدو بعض النقاط على سطح الماء مضيئة، وبعضها الآخر عاتمة.

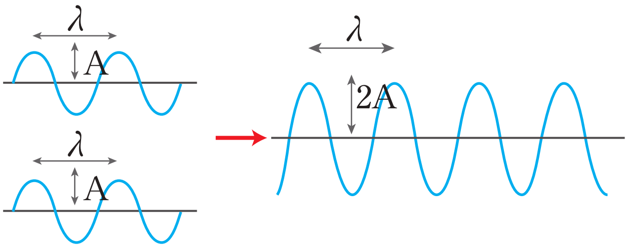
تداخل الأمواج على سطح الماء

التعليل:



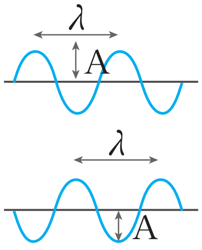
نقاط الاهتزاز الأعظمي ونقاط السكون

- تنتشر موجات صادرة عن كلّ من المنبعين على سطح الماء، فتتعرّض كلّ نقطة من نقاط السطح في كلّ لحظة إلى تأثير موجتين في آن واحد:
  الأولى: صادرة عن المنبع الأول S_1، والثانية: صادرة عن المنبع الثاني S_2.
- تسمّى النقاط المضيئة نقاط اهتزاز أعظميّ، وتتشكّل نتيجة التقاء الاهتزازات الواصلة من المنبعين متفقة بالطّور، حيث تلاقت قمة مع قمة فنحصل على قمة مضاعفة السّعة أو قاع مع قاع فنحصل على قاع مضاعف السّعة، وتكون سعة الحركة تساوي مجموع سعتي الحركتين الواردتين من المنبعين. ويسمّى هذا التراكب بـ التداخل البنّاء.



التداخل البنّاء

• تسمّى النقاط المعتمة نقاط اهتزاز معدوم وتتشكّل نتيجة التقاء الاهتزازات الواصلة من المنبعين متعاكسة بالطّور حيث تلاقت قمة مع قاع فنحصل على نقاط سكون سعتها تساوي حاصل طرح السعتين وهي معدومة. ويسمّى هذا التراكب بـ التداخل الهدّام.



التداخل الهدّام

1. استنتاج نقاط الاهتزاز الأعظميّ:

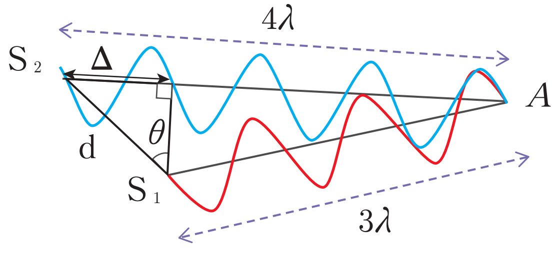
تهتزّ النقطة A من سطح الماء اهتزازاً أعظميّاً

• أحسب فرق المسير Δ وهو فرق بُعديها عن المنبعين بدلالة λ

• أحسب النسبة $\frac{\Delta}{\lambda}$

$\frac{\Delta}{\lambda} = k$ حيث k عدد صحيح موجب.

$$\Delta = |S_2A - S_1A| = k\lambda \qquad k = 0, 1, 2, 3 ......$$



تمثّل A نقطة اهتزاز أعظمي

أستنتج

كلّ نقطة من سطح الماء فرق بعديها عن المنبعين يساوي عدداً صحيحاً من طول الموجة تكون نقطة اهتزاز أعظميّ.

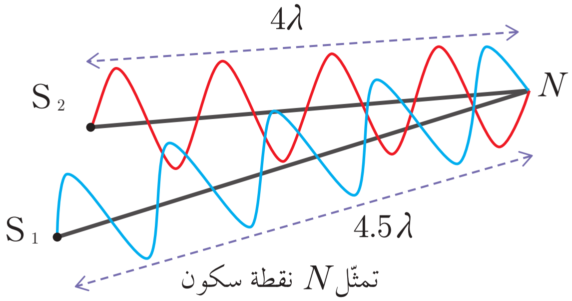
2. استنتاج نقاط السّكون:

تكون سعة الاهتزاز عند النقطة N من سطح الماء معدومة.

• أحسب فرق المسير Δ بدلالة λ

• $\Delta = |S_2N - S_1N| = (2k' + 1)\frac{\lambda}{2}$

حيث k' عدد صحيح موجب $k' = 0, 1, 2, 3 ....$



تمثّل N نقطة سكون

أستنتج

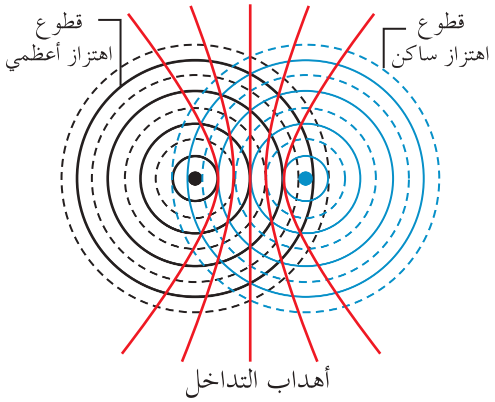
كلّ نقطة من سطح الماء فرق بعديها عن المنبعين يساوي عدداً فردياً موجباً من نصف طول الموجة تكون ساكنة.

تداخل الأمواج:

تراكب موجتان في المكان نفسه والزمن نفسه, على أن يُصدرهما منبعان مترابطان (متماسكان), أي لهما التواتر نفسه والسّعة ذاتها ومتفقان في الطّور.

ملاحظات:

- توجد نقاط في حقل التّداخل تهتزّ بسعة تتراوح بين الصفر والسّعة العظمى.
- توجد مجموعة من نقاط الاهتزاز الأعظمي واقعة على العمود المقام من منتصف الخطّ المستقيم الواصل بين المنبعين S_1S_2 وعلى جانبيها قطوع سكون وقطوع اهتزاز أعظميّ.



- تبعد كلّ نقطة باهتزاز أعظميّ عن نقطة مجاورة لها باهتزاز أعظميّ تالٍ بمقدار نصف طول الموجة وهو المسافة بين ذروتي فرعين متجاورين من القطوع الزائدة المتماثلة المضيئة أو المعتّمة.
- تبعد كلّ نقطة اهتزازها أعظميّ عن نقطة ساكنة تليها مباشرة بمقدار ربع طول الموجة، إنّها المسافة بين ذروتي فرعين متجاورين من القطوع الزائدة المضيئة والمعتّمة غير المتماثلة.
- لا يقتصر حدوث التداخل على الأمواج المائية (العرضية) فقط، بل يحدث في الأمواج الصوتية (الطولية)، والأمواج الضوئية (الكهرطيسية) عندما تتحقّق شروط التداخل.

تطبيق (1):

يُولّد منبعان للاهتزاز العرضيّ مترابطان البعد بينهما $S_1S_2 = 8\,\text{cm}$ اهتزاز تواتره $12\,\text{Hz}$ ينتشر على سطح الماء بسرعة $v = 0.312\,\text{m.s}^{-1}$

والمطلوب حساب:

1. طول الموجة.
2. عدد نقاط الاهتزاز الأعظمي على الخطّ المستقيم الواصل بين المنبعين.
3. عدد نقاط السّكون على الخطّ المستقيم الواصل بين المنبعين.

الحل:

1. طول الموجة: $\lambda = \dfrac{v}{f} = \dfrac{0.312}{12} = 0.026\,\text{m}$
2. شرط تكوّن نقاط الاهتزاز الأعظمي:

$$\Delta < S_1S_2 \quad , \quad \Delta = k\lambda$$

$$k\lambda < S_1S_2$$

$$k < \frac{S_1S_2}{\lambda} \Rightarrow k < \frac{8\,\text{Xio}^{-2}}{0.026}$$

$$k < 3.07$$

أكبر قيمة تأخذها $k = 3$ **أي أنّ:** $k = 0, 1, 2, 3$

عدد نقاط الاهتزاز الأعظميّ: نقاط $(2k+1)=(2\times3+1)=7$

- من أجل $k=0$ توجد نقطة واحدة منتصف البُعد بين المنبعين تقع على العمود المقام على الخطّ المستقيم الواصل بين S_1S_2.
- من أجل $k=1$ توجد نقطتان على جانبي العمود المقام على الخطّ المستقيم الواصل بين S_1S_2 (ذروتي فرعين لقطع زائد).
- من أجل $k=2$ توجد نقطتان على جانبي العمود المقام على الخطّ المستقيم الواصل بين S_1S_2 (ذروتي فرعين لقطع زائد).
- من أجل $k=3$ توجد نقطتان على جانبي العمود المقام على الخطّ المستقيم الواصل بين S_1S_2 (ذروتي فرعين لقطع زائد).

أي توجد سبع نقاط تهتز أعظميّاً على الخطّ المستقيم الواصل بين المنبعين.

3. شرط تكوّن نقاط السّكون:

$$\Delta \le S_1S_2$$

$$(k'+\frac{1}{2})\lambda \le S_1S_2$$

$$(k'+\frac{1}{2})0.026 \le 0.08$$

$$k' \le 2.57$$

أكبر قيمة تأخذها $k'=2$ أي أنّ: $k'=0,1,2$

عدد القطوع الساكنة $= k'+1$

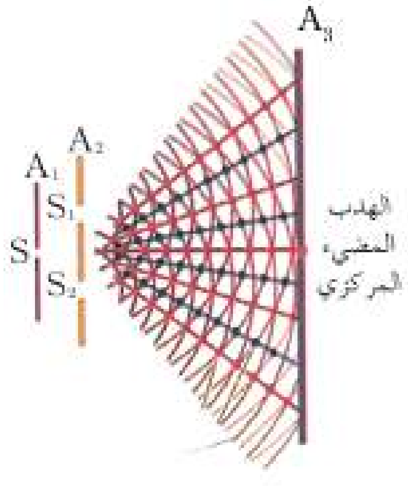
عدد نقاط السّكون: نقاط $2(k'+1)=2(2+1)=6$

- من أجل $k'=0$ توجد نقطتان ساكنتان على جانبي العمود المقام على الخطّ المستقيم الواصل بين S_1S_2 (ذروتي فرعين لقطع زائد).
- من أجل $k'=1$ توجد نقطتان ساكنتان على جانبي العمود المقام على الخطّ المستقيم الواصل بين S_1S_2 (ذروتي فرعين لقطع زائد).
- من أجل $k'=2$ توجد نقطتان ساكنتان على جانبي العمود المقام على الخطّ المستقيم الواصل بين S_1S_2 (ذروتي فرعين لقطع زائد).

أي توجد ست نقاط ساكنة تهتز على الخطّ المستقيم الواصل بين المنبعين.

التّداخل الضوئيّ:

* تجربة شقا يونغ:



أجرّب وأستنتج:

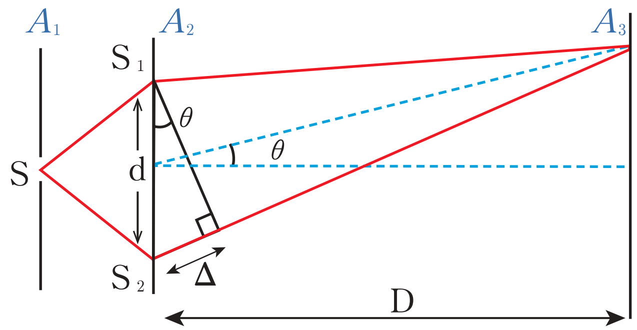
أدوات التجربة:

حقيبة الضوء الهندسي.

1. أضعْ حاجز A_1 فيه ثقب صغير S أمام منبع ضوئي وحيد اللون. ما شكلّ الأمواج الضوئية المنتشرة بعد الحاجز A_1 ؟
2. أضعْ حاجز A_2 فيه شقّين شاقوليين متماثلين S_1 , S_2 أمام الحاجز A_1 على أن يبعد الشقّين عن الثقب S بُعداً متساوياً ليشكلّا منبعين متماسكين.
3. أتلقى أهداب التداخل الضوئي على حاجز A_3 .

النتيجة:

يتشكلّ على الحاجز A_3 مناطق مُضيئة تتخللها مناطق مُعتّمة (مُظلمة) نتيجة التداخل بين الأمواج الضوئية الصادرة عن الشقين.



مخطط تجربة شقا ينغ

- **تسمّى هذه المناطق (المضيئة والمعتّمة) بـ أهداب التّداخل.**
- **الهدب المركزيّ مُضيء دوماً.**
- **نسمّي المسافة بين مركزي هدبين مضيئين أو مظلمين متتاليين بـ البُعد الهدبيّ ويُعطى بالعلاقة:**

$$i = \frac{\lambda D}{d}$$

حيث: i البُعد الهدبيّ.

λ طول الموجة.

D بُعد المنبعين عن الحاجز.

d البُعد بين المنبعين.

- **عرض الهدب المضيء أو المظلم $\frac{i}{2}$: هو المسافة بين مُنتصفي هُدب مضيء وهُدب مظلم يليه مباشرة.**
- **يُعطى بُعد أيُّ هدب مضيء عن الهدب المركزيّ بالعلاقة:** $x = k\,i$ **حيث** $k = 1,2,.......$

ويُعطى بُعد أيُّ هدب مظلم عن الهدب المركزيّ بالعلاقة: $x = (2k' + 1)\frac{i}{2}$ **حيث** $k' = 0,1,2,.......$

تطبيق (2):

نستخدم جهاز شقّي يونغ 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 الهدبي.
2. بُعد منتصف الهدب المضيء الثالث عن منتصف الهدب المركزيّ.
3. بعد منتصف الهدب المظلم الثالث عن منتصف الهدب المركزيّ
4. بعد منتصف الهدب المظلم الأول عن منتصف الهدب المضيء الخامس.

الحل:

.1

$$i = \frac{\lambda D}{d}$$

$$i = \frac{0.5 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^{-2}}{0.5 \times 10^{-3}} = 1 \times 10^{-3}\text{m}$$

.2 $x = ki$ عند الهدب المضيء الثالث: $k = 3$

$$x = 3 \times 1 \times 10^{-3} = 3 \times 10^{-3}\text{m}$$

.3 $x = (2k' + 1)\frac{i}{2}$ عند الهدب المظلم الثالث: $k' = 2$

$$x_1 = (2 \times 2 + 1)\frac{1 \times 10^{-3}}{2} = 2.5 \times 10^{-3}\text{m}$$

.4 الهدب المظلم الأول: $k' = 0$

$$x' = (2k' + 1)\frac{i}{2} = (2 \times 0 + 1)\frac{1 \times 10^{-3}}{2} = 0.5 \times 10^{-3}\text{m}$$

الهدب المضيء الخامس: $k = 5$

$$x = ki = 5 \times 1 \times 10^{-3} = 5 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$\Delta x = |\, x - x' \,| = 5 \times 10^{-3} - 0.5 \times 10^{-3} = 4.5 \times 10^{-3}\text{m}$$

انعراج (حيود) الأمواج :

تسمع صوت زميلك في ممر أو باحة المدرسة إذا كان الباب مفتوحاً أو النافذة مفتوحة دون أن تراه. وبالمقابل فإنك لا تسمع صوت الشخص المتكلّم خارج السيارة عندما تكون أبوابها ونوافذها مغلقة وأنت تجلس داخلها كيف يمكن تفسير ذلك؟

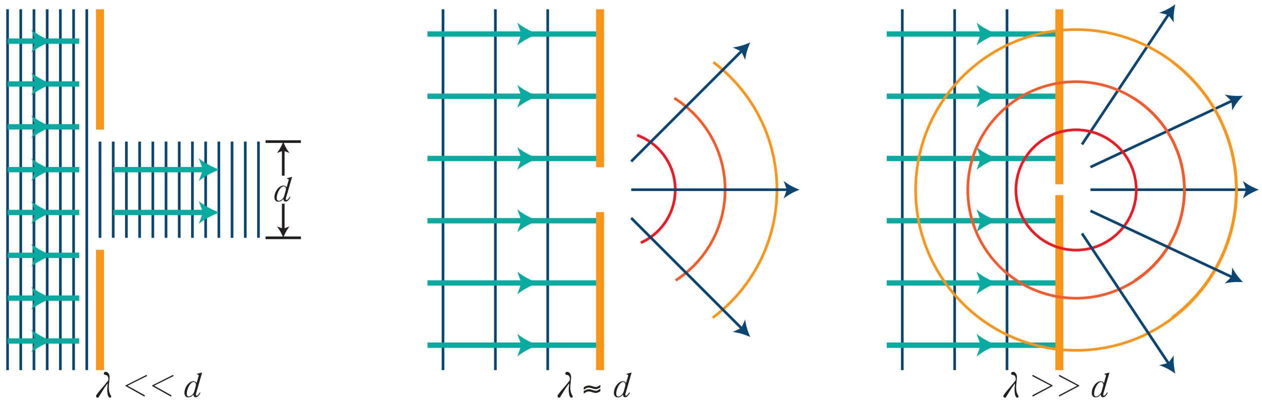
أجرّب وأستنتج:

أدوات التجربة:

صندوق (حقيبة) قياس انتشار الأمواج العرضية على سطح سائل.

1. أركّب جهاز حوض الأمواج المائية.
2. اصِلْ منبع الاهتزاز بمنبع على شكلّ مسطرة ذات حدّ رفيع (شفرة) واجعلها تُلامس سطح الماء الساكن في الحوض.
3. أقطعْ مسار الأمواج المستقيمة المنتشرة بحاجزين مستويين على استقامة واحدة وموازيين للمسطرة المهتزّة واجعل بينهما فتحة كبيرة، ماذا يظهر على الشاشة؟
4. أقرّبْ الحاجزين من بعضهما بحيث يصغر عرض الفتحة ليصبح مساوياً لطول الموجة، ألاحظ شكلّ الأمواج على الشاشة.
5. أجعلْ الفتحة صغيرة عرضها d ، ماذا يحدث للأمواج؟

النتيجة:



تتحول الأمواج المستقيمة التي تعْبُر الفتحة الصغيرة d إلى أمواج دائرية مركزها الفتحة ذاتها. وهذا ما يسمى حيود الأمواج أو انعراجها. أما إذا كان عرض الفتحة كبيرة فإن الأمواج المستقيمة التي تجتاز الفتحة تبقى مستقيمة.

تعليل ظاهرة الانعراج:

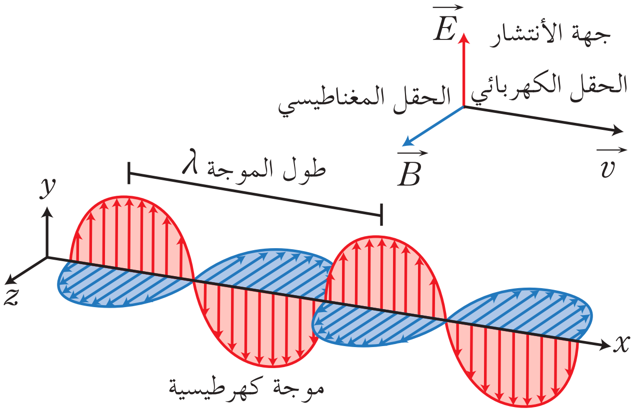
تعيد نقاط الفتحة إصدار الأمواج في جميع المناحي, حيث تصبح كلّ نقطة من نقاط الفتحة منبع نقطي يصدر موجة دائرية, وتتداخل هذه الأمواج الجديدة لتعطي أمواجاً منعرجة.

ملاحظة:

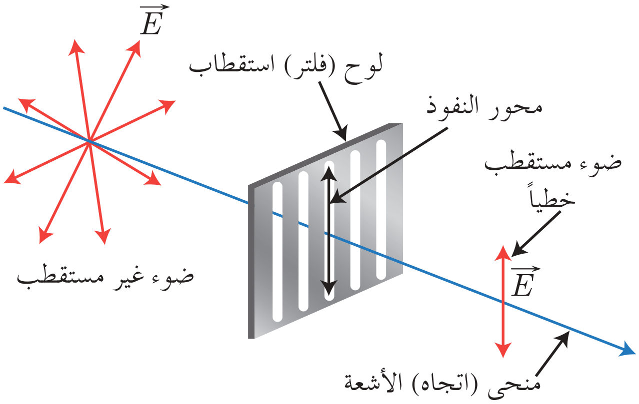
يحدث الانعراج في الأمواج على سطح الماء وفي الأمواج الصوتية وفي الأمواج الضوئية الكهرطيسية.

استقطاب الضوء:

- تُستخدم ألواح خاصة في كاميرات التصوير لمنع ظهور بريق الفلاش وكذلك لتخفيف من ظهور انعكاسات الضوء في تلك الصور، مثال: صور زجاج المباني، والساعات الرقمية، والحواسيب المحمولة، وصور البحر والسماء، كما تُستخدم النظَارات الشمسية على نطاق واسع لأنها تُخَفّف من شدة ضوء الشمس المتوهّج فتُريح العين أثناء الرؤية من خلالها.



- يُعتبر الضوء موجة كهرطيسية تتكون من حقلين: حقل كهربائي $\vec{E}$ وحقل مغناطيسي $\vec{B}$ متعامدين ويتعامدان مع جهة (منحى) الانتشار.



الضوء المستقطب: هو الضوء الذي يهتزّ حقله الكهربائيّ بمستوٍ واحد عموديّاً على منحى انتشاره، أما إذا اهتزّ الحقل الكهربائي في جميع الاتّجاهات فإنّ الضوء غير مُستقطب.

- تُحدّد جهة استقطاب الموجة الكهرطيسيّة بجهة الحقل الكهربائيّ.

التطبيقات العملية للاستقطاب:

يُستفاد من الاستقطاب في الحفاظ على الموجة وبياناتها وتحديد شكلّها واستقبالها والأهم من ذلك تقليل تداخلها وانكسارها وخاصة عندما ترد من مكان بعيد كالقمر الصناعي الذي يُصدر أمواج كهرطيسية. ومن أشهر استخدامات الاستقبال الفضائي: الأفقي (H) والعمودي (V)... ويصنف هذان النوعان ضمن أنواع الاستقطاب (الخطيّ).

ففي الاستقطاب العموديّ: تنتقل الموجة بشكلّ طولي على محور الانتشار أو الإرسال.

وفي الاستقطاب الأفقيّ: تنتقل الموجة بشكلّ أفقي على محور الانتشار أو الإرسال.

فعند إرسال موجتين بتواترين متقاربين ومن مسافات بعيدة فإنَ الاستقطاب ضروري جداً لمنع التداخل بينهما، وخير مثال على ذلك تواتري النايل سات (11603 V,11602 H)، إن هاتين القيمتين ما كانتا لتوضع بهذا التقارب لولا إمكانية فصلهما بالاستقطاب، علماً أنهما صادرتان من مسافات بعيدة جداً دون حدوث التداخل أو الانكسار.

هل تعلم:

أن التواتر 11602 H هو للقناة التربوية السوريَة على القمر الصناعي النايل سات.

تعلَّمتُ

- يحدث التداخل بين الأمواج الصادرة عن المنبعين المترابطين (المتماسكين)، أي لهما التواتر نفسه والسّعة ذاتها ومتفقين في الطّور، فنحصل على: التداخل البنّاء والتداخل الهدّام.
- يحدث التداخل والانعراج في الأمواج الطوليَة والأمواج العرضيَة، أما الاستقطاب فيحدث في الأمواج العرضيَة فقط.
- **في التداخل على سطح الماء نحصل على:**

التداخل البنّاء: عند التقاء قمة مع قمة، أو قاع مع قاع، ويكون فرق المسير بين الموجتين المتداخلتين مساوياً عدداً صحيحاً من طول الموجة $\Delta = k\lambda$.

$k = 0, 1, 2, 3 ......$ عدد صحيح موجب.

والتداخل الهدّام: عند التقاء قمة مع قاع، ويكون فرق المسير بين الموجتين المتداخلتين مساوياً عدداً فردياً من نصف طول الموجة $\Delta = (2k' + 1)\frac{\lambda}{2}$.

$k' = 0, 1, 2, 3 ....$ عدد صحيح موجب.

- **في التداخل الضوئيّ:**
  - نسمّي المسافة بين مركزي هدبين مضيئين أو مظلمين متتاليين بـ البُعد الهدبيّ ويُعطى بالعلاقة:

$$i = \frac{\lambda D}{d}$$

  - عرض الهدب المضيء أو المظلم $\frac{i}{2}$: هو المسافة بين مُنتصفي هُدب مضيء وهُدب مظلم يليه مباشرة.
  - يُعطى بُعد أيُّ هدب مضيء عن الهدب المركزيّ بالعلاقة: $x = ki$
  - ويُعطى بُعد أيُّ هدب مظلم عن الهدب المركزيّ بالعلاقة: $x = (2k' + 1)\frac{i}{2}$
- **الانعراج (الحيود):** هو ظاهرة تميّز الأمواج، وتحدث عندما تُلاقي الموجة فتحة أو حاجز. حيث تسلك كلّ نقطة من الفتحة سلوك منبع ثانوي يؤدّي إلى انتشار الأمواج في جميع الاتجاهات بنفس التواتر والسّعة وسرعة المنبع الأصلي وهي متفقة في الطّور. ويزداد وضوح الانعراج كلّما كانت أبعاد الفتحة صغيرة.
- **الضوء المستقطب:** هو الضوء الذي يهتزّ حقله الكهربائي بمستوٍ واحد وعمودي على منحى انتشاره، أما إذا اهتزّ الحقل الكهربائيّ في جميع الاتجاهات فإن الضوء غير مُستقطب.

أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكلّ ممّا يأتي:

1. يحدث التَداخل بين الأمواج عند حدوث ظاهرة:

a. الانعكاس b. الانكسار c. الاستقطاب d. الانعراج

2. في تجربة شقي يونغ يتشكّل الهدب المضيء الأول على جانبي الهدب المركزيّ المضيء على الشاشة عندما يكون فرق المسير مساويا إلى:

a. λ b. 2λ c. 3λ d. $\frac{\lambda}{2}$

3. إذا كان فرق المسير مساويا عدداً فردياً من نصف طول الموجة نحصل على:

a. تداخل بنّاء b. تداخل هدّام c. استقطاب d. انكسار

4. يعود سبب تشكلّ الأهداب المُضيئة والأهداب المُظلمة في تجربة شقي يونغ إلى:

a. الانعراج في أمواج الضوء فقط.

b. التداخل في أمواج الضوء فقط.

c. الانعراج والتداخل في أمواج الضوء.

d. استعمال مصدرين ضوئيين غير مترابطين.

ثانياً: ضع كلمة صح أو غلط أمام العبارات الآتية وصحّح العبارات المغلوطة:

1. المنبعان المتماسكان متوافقان حتماً.
2. شرط أبعاد نقاط السّكون على سطح الماء هو: $\Delta = k\lambda$
3. البعد بين ذروتي فرعين متجاورين من القطوع الزائدة المتماثلة يساوي نصف طول الموجة.

ثالثاً: أعط تفسيراً علمياً لما يأتي:

1. تستطيع سماع صوت زميلك القادم في ممر المدرسة وأنت جالس في صفَك إذا كان جزء من الباب مفتوح، ولكن لا تستطيع أن تراه.
2. لا يحدث استقطاب في الأمواج الصوتيّة.

رابعاً: حل المسائل الآتية:

المسالة الأولى:

يولّد منبعان مترابطان للاهتزاز العرضي اهتزازاً تواتره $50\,\text{Hz}$ ينتشر على سطح الماء بسرعة ثابتة $v = 2\text{m.s}^{-1}$ إذا كانت النقطة A من سطح الماء تبعد عن المنبع الأول $0.2\,\text{m}$ وتبعد عن المنبع الثاني $0.3\,\text{m}$

المطلوب:

1. احسب طول موجة الاهتزاز المتولد.
2. ما طبيعة اهتزاز النقطة A ؟ بيّن أهي نقطة اهتزاز أعظمي أو نقطة سكون.

المسألة الثانية:

يولّد منبعان متماسكان اهتزازاً عرضياً 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.

المطلوب حساب:

1. طول موجة الاهتزاز العرضيَ على سطح الماء.
2. سرعة انتشار الاهتزاز العرضيَ على سطح الماء.

المسألة الثالثة:

يولّد منبعان متماسكان اهتزازاً عرضياً تواتره $50\,Hz$ يبعد أحدهما عن الآخر مسافة $20\,cm$ وسرعة انتشار الاهتزاز العرضيَ على سطح الماء $4\,m.s^{-1}$.

المطلوب حساب:

1. طول موجة الاهتزاز على سطح الماء.
2. عدد نقاط السّكون المتكون على الخطَ المستقيم الواصل بين المنبعين.
3. عدد نقاط الاهتزاز الأعظم على الخطّ المستقيم الواصل بين المنبعين.

المسألة الرابعة:

نكوَن أهداب التَداخل باستخدام جهاز يونغ، حيث البُعد بين الشقين المتوازيين $1\,mm$ ويبعد الحاجز $200\,cm$ عن مستوى الشقَين ويُستخدم ضوءٌ وحيد اللون طولُ موجته $0.5\,\mu m$.

المطلوب حساب:

1. البُعد الهدبي.
2. بُعد منتصف الهدب المضيء الخامس عن منتصف الهدب المركزيّ.
3. بعد منتصف الهدب المظلم الثالث عن منتصف الهدب المركزيّ.
4. بعد منتصف الهدب المظلم الثالث عن منتصف الهدب المضيء الخامس.

المسألة الخامسة:

نضع منبعاً يصدر ضوءً وحيد اللون طول موجته $0.6\,\mu m$ وعلى بُعد $25\,cm$ من شقَي يونغ اللذين يبعد أحدهما عن الآخر $1\,mm$ ونشاهد أهداب التَداخل على حاجز يبعد $125\,cm$ عن المنبع. **المطلوب**:

1. حساب البُعد الهدبي.
2. نملا الفراغ بين الشقَين والحاجز بسائل شفاف بدلا من الخلاء فيصبح البُعد الهدبيَ $i' = \frac{2}{3}i$ احسب سرعة انتشار الضوء في السائل باعتبار أنَ سرعة انتشار الضوء في الخلاء $3\times10^{8}\,m.s^{-1}$.

المسألة السادسة:

طُبقت تجربة يونغ لقياس الطول الموجي للضوء الأحمر، فإذا كان البُعد بين الشقين المتوازيين $0.02\,mm$ وبُعد الشاشة عن مستوي الشقين $0.6\,m$، ووجد أن الهُدب المُضيء ذو الرتبة الأولى يبعد $21.1\,mm$ عن الهدب المركزيّ المُضيء، أحسب الطول الموجي للضوء الأحمر.

المسألة السابعة:

أُضيء شقا يونغ المسافة بينهما $d = 1\,\text{mm}$ بضوء أخضر طوله الموجي $\lambda = 5 \times 10^{-7}\,\text{m}$ فتكوَّنت أهداب التداخل على شاشة تبعد $D = 2\,\text{m}$ عن مستوي الشقين، أحسب البُعد بين هدبين مُضيئين متتاليين يقعان بجهة واحدة من الهدب المركزيّ x.

المسالة الثامنة:

أُضيء شقا يونغ المسافة بينهما $d = 1.2 \times 10^{-4}\,\text{m}$ بضوء أحمر طوله الموجي $\lambda = 664\,\text{nm}$ فتكوَّنت أهداب التداخل على شاشة تبعد $D = 2.75\,\text{m}$ عن مستوي الشقين، **والمطلوب حساب:**

1. البُعد الهدبي.
2. بُعد منتصف الهدب المضيء الثالث عن منتصف الهدب المركزيّ.
3. بعد منتصف الهدب المظلم الخامس عن منتصف الهدب المركزيّ.
4. بعد منتصف الهدب المظلم الخامس عن منتصف الهدب المضيء الثالث.

المسالة التاسعة:

وُضعت شاشة على بُعد $4.5\,\text{m}$ من حاجز ذي شقين، وأضيء الشقان بضوء وحيد اللون طول موجته في الهواء $\lambda = 490\,\text{nm}$، فكانت المسافة بين مركز الهدب المركزيّ المضيء ومركز الهدب المضيء الأول تساوي $4.5\,\text{cm}$، أحسب مقدار البعد بين الشقين؟

المسالة العاشرة:

أُضيء شقان بضوء وحيد اللون طوله الموجي $\lambda = 6 \times 10^{-7}\,\text{m}$ فتكوَّنت أهداب التداخل على شاشة تبعد $2\,\text{m}$ عن الشقين. رُصد الهدب المضيء a على الشاشة عند موضع يبعد $0.241\,\text{m}$ عن الهدب المركزيّ، فإذا علمت أن المسافة بين الشقين $2 \times 10^{-5}\,\text{m}$ **والمطلوب حساب:**

1. الزاوية التي رُصد عندها الهدب المضيء a بالنسبة للهدب المركزيّ في التداخل السابق؟
2. رتبة الهدب المضيء a.
3. بُعد الهدب المظلم الأول عن الهدب المركزي.

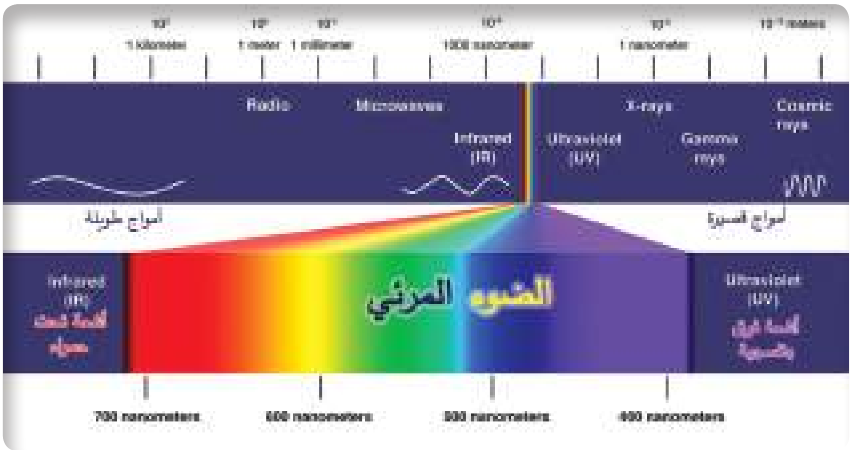
تفكير ناقد

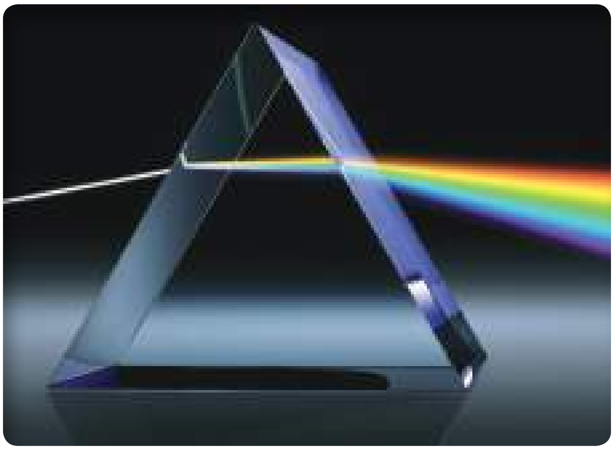
كيف يمكن للعين أن تدرك ظواهر التداخل في الضوء إذا ورد لكل نقطة ضوءان متواقتان و بفرق طور ثابت من خلال منبعين متماسكين؟

أبحث أكثر

ابحث في مكتبتك المدرسية أو في الشابكة عن أهمية انعراج الضوء في دراسة البنية البلورية للمواد الصلبة.

4 الإشعاعات غير المرئيّة





إنّ بعض الأجهزة الكهربائيّة كالتلفاز، والمُكيف والمروحة، وغيرها تعمل بالضّغط على جهاز التحكّم عن بُعد (الريموت كونترول).
فكيف يحدث ذلك؟ وكيف تعمل هذه الأجهزة؟

الأهداف:

* يتعرّف الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجيّة (وجودها، توليدها، خاصيّاتها، الكشف عنها)
* يقارن بين الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجيّة.
* يبيّن تطبيقات الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجيّة.
* يستخدم اكتشافات واختراعات التكنولوجيا استخداماً صحيحاً.

الكلمات المفتاحية:

* الأشعة تحت الحمراء.
* الأشعة فوق البنفسجيّة.
* الضوء المرئي.

أجرّب واستنتج:

أدوات التجربة:

مصباح ضوئي– موشور زجاجي مقطعه مثلث – حاجز– ميزان حرارة – هُباب الفحم – ورقة ترشيح – ملح كلوريد الفضة.

خطوات التجربة:

- أسقط حزمة ضوئيّة ضيقة متوازية بيضاء اللون على أحد وجهي الموشور بحيث تخرج من الوجه الآخر، ماذا أشاهد على الحاجز؟
- أسجّل درجة الحرارة التي يقيسها ميزان الحرارة.
- أضع ميزان الحرارة بعد طلي مستودعه بهباب الفحم في المنطقة الواقعة خارج حدود الطيف المرئي من ناحيّة الضوء الأحمر، وأسجّل درجة الحرارة.
- أفسّر سبب ارتفاع درجة الحرارة.
- أضع ورقة الترشيح المطليّة بكلوريد الفضة الأبيض في المنطقة الواقعة خارج حدود الطيف المرئي من ناحية الضوء البنفسجي.
- ألاحظ ماذا يحدث لكلوريد الفضة الأبيض.

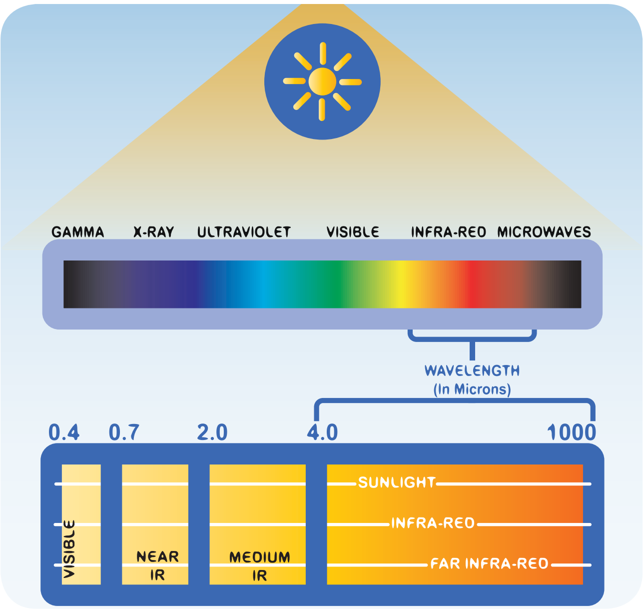
أستنتج

1. **يتحلل الضوء الأبيض بواسطة الموشور إلى طيف مرئي تتدرّج ألوانه من الأحمر إلى البنفسجي وفق الترتيب الآتي: الأحمر – البرتقالي – الأصفر – الأخضر – الأزرق – النيلي – البنفسجي.**
2. **يعزى ارتفاع درجة حرارة الميزان إلى وجود أشعة غير مرئيّة تواتر موجاتها أصغر من تواتر موجة الضوء الأحمر المرئي، تدعى الأشعة تحت الحمراء.**
3. **يسوَدّ كلوريد الفضة الأبيض بعد مدة كافيّة من الزمن نتيجة وجود أشعّة غير مرئيّة تواتر موجاتها أكبر من تواتر موجة الضوء البنفسجي المرئي تدعى الأشعة فوق البنفسجيّة.**

الربط مع علم الأحياء:

الإشعاعات المرئيّة والإشعاعات القريبة منها (الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجيّة) كافية، لتجعل الحياة ممكنة على الأرض، فهي تمدّنا بالطاقة والحرارة، وتمكّن من حدوث التفاعلات الحيويّة عند الكائنات الحيّة.

الأشعة تحت الحمراء:



اكتشفها العالم وليام هرشل عام 1800م عند دراسته طيف ضوء الشمس، حيث وجد أن الإشعاعات في جوار اللون الأحمر تمثل مصدراً للطاقة الحراريّة التي تشعّها الشمس وأطوال موجاتها أكبر $0.75\,\mu m$ وتملك تواترات أصغر من تواترات الضوء المرئي، وتُعدّ جميع الأجسام الساخنة منابع لتوليد الأشعة تحت الحمراء، نذكر بعضاً منها: الشمس ـ الأفران ـ المصابيح الحراريّة ـ جسم الإنسان والحيوان.

أنواع الأشعة تحت الحمراء:

النوع	الطول الموجي (μm)	الخاصيات
تحت الأحمر القريب	$(0.75 - 2.5)$	تُشبه في خواصّها خواصّ الضوء المرئي.
تحت الأحمر المتوسط	$(2.5 - 10)$	تصدرها الأجسام الساخنة $(20^\circ C - 100^\circ C)$
تحت الأحمر البعيد	$(10 - 300)$	يمتصّه بخار الماء في الغلاف الجوي

استخداماتها:

- تستخدم في التصوير أثناء الظلام ومن خلال الضّباب، ولو إلى مسافات بعيدة وفي المنظار الليلي.
- في الأجهزة الكهربائيّة التي تستخدم نظام التحكم عن بُعد حيث كل مفتاح من مفاتيح الجهاز يُرسل نبضات معينة مختلفة عن بقيّة المفاتيح عند الضغط عليه، وهذه النبضات عبارة عن الأشعة تحت الحمراء، فيستقبل معالج التلفاز هذه الموجات ويحولها إلى أمر، مثل: أن يغيّر القناة أو يرفع الصوت وهكذا.......
- وفي الطب لتعقيم أدوات الجراحة وقتل البكتريا، ومعالجة بعض الأمراض الجلديّة وآلام العضلات وتنشيط الدورة الدمويّة.
- وفي الصناعة للقيام بعمليّة التلحيم والطلاء الجاف للجلود والمعادن والأوراق والأقمشة.
- في الأرصاد الجويّة والتقاط الصور بالأقمار الصناعيّة.
- في صناعة الدارات الإلكترونيّة.
- في أجهزة المحمول حيث تستخدم لنقل البيانات عن طريق الموجات الكهرطيسيّة دون استخدام أي أسلاك أو أدوات توصيل بين جهازين إلكترونيين.

هل تعلم: أن الأفعى ترى في الظلام بفضل قدرتها على تحسّس الأشعة تحت الحمراء.
هل تعلم: أن هناك الأشعة الميكرومتريّة طول موجتها أكبر من الأشعة تحت الحمراء تستخدم في الميكرويف, وفي الهاتف النقّال, وفي أجهزة الاستشعار عن بعد, وفي أجهزة الرادار.

أجرّب وألاحظ:

أدوات التجربة:

جهاز التحكم عن بُعد – كاميرا (موبايل)

خطوات التجربة:

1. أضغط على مفتاح جهاز التحكم.
2. أنظر إلى مصباح جهاز التحكم أثناء الضغط على أحد مفاتيحه. هل تشاهد الضوء الصادر عن الجهاز؟
3. استخدم كاميرا الموبايل للنظر إلى مصباح جهاز التحكم أثناء الضغط على أحد مفاتيحه. هل ماذا ألاحظ؟

الأشعة فوق البنفسجيّة:

اكتشفها العالم جوهان ريتر عام 1801 حيث لاحظ تحوّل لون كلوريد الفضّة الأبيض إلى الأسود في منطقة الطيف المرئيّ (البنفسجي)، ويسودّ أكثر عند وضعه في منطقة ما بعد البنفسجيّ خارج حدود تلوّن الطيف المرئي، ممّا يدلّ على وجود إشعاعات غير مرئيّة أطوال موجاتها أصغر من $0.4\,\mu m$ تسمى الأشعة فوق البنفسجيّة، وهي إشعاعات تصدرها الشّمس وبعض النجوم، ويمكن أن تنتج اصطناعياً من مصابيح القوس الكهربائيّ.

أنواع الأشعّة فوق البنفسجيّة:

النوع	الرمز	الطول الموجي (μm)	الخاصيات
الطويلة	UVA	$(0.40 - 0.35)$	تخترق طبقة الأوزون وتصل إلى الأرض، تساعد الجسم على امتصاص فيتامين D الضروريّ لتثبيت الكالسيوم على العظام. ولكن زيادة التعرض لها أكثر من اللازم تعطي أثر سلبيّاً، حيث تؤدّي إلى تدمير بنيّة الـ (DNA) والإصابة بمرض السرطان.
المتوسطة	UVB	$(0.35 - 0.28)$	تمتصّ طبقة الأوزون مُعظمها، ويزداد نفوذها إلى الأرض مع زيادة سطوع الشمس، لذلك يُنصح بعدم التعرض لأشعة الشمس في أيام الصيف الحارّة وخاصّة فترة الظهيرة حتى لا يُصاب الشخص بضربة شمس.
القصيرة	UVC	$(0.28 - 0.10)$	تمتصها طبقة الأوزون والغلاف الجوي بشكل كامل، قاتلة للجراثيم، وهذه الأشعة خطيرة جداً على صحة الإنسان وتسبب سرطان الجلد في حال التعرض المباشر لها.
القصوى	EUV	$(0.10 - 0.01)$	يمتصها الغلاف الجوي بشكل كامل، ولها القدرة على تأيين الذرات والجزيئات بشكل كامل.

استخداماتها:

- تستخدم هذه الأشعّة لدراسة مستويات الطاقة للذّرات المختلفة، كما تستخدم لتحديد المسافات بين المجرّات والنجوم.
- تستخدم هذه الأشعة في تأيين الذرّات والجزيئات لأنّها تحمل طاقة عالية وبالتالي تستطيع إثارة بعض التفاعلات الكيميائيّة وزيادة في درجة حرارتها.
- تستخدم هذه الأشعّة في معالجة بعض الأمراض الجلديّة، كما تستخدم في تجفيف وتصليب حشوات الأسنان الخزفيّة.
- تستخدم في تطهير الأطعمة من البكتريا وتعقيم المعدّات والتجهيزات الطبيّة وكذلك تعقيم المياه.
- تستخدم في قتل الحشرات من خلال مصائد الأشعّة فوق البنفسجيّة ذات اللون البنفسجيّ، والتي تعمل على جذب الحشرات إليها، فتقتلها بالصعقة الكهربائيّة.
- تؤثّر هذه الأشعة على الإنسان الذي يتعرّض لها بكثرة حيث تسبّب حروقاً في الجلد، وكذلك آلاماً في العين (يجب وضع نظّارات واقية)، وقد تسبّب سرطان الجلد عند التعرّض لها لمدة طويلة.
- أما التعرّض لها في ساعات الصباح الأولى يفيد في إكساب الجسم فيتامين (D) الضروري لتثبيت الكالسيوم على العظام.
- تستخدم في الكشف عن التزوير في جوازات السفر وفي العملات الورقيّة.
- إنّ ما يحمي الكائنات الحيّة من الأشعة فوق البنفسجيّة طبقة الأوزون الموجودة في الغلاف الجوي حيث تمتص 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 ينصح أن تكون المسافة الوقائيّة من هذه الأشعّة هي خمسة أضعاف قطر الشاشة.
- رجال الشرطة تستخدم مسحوقاً متفلوراً يتوهج عند امتصاصه الأشعة فوق البنفسجيّة فيساعد في إظهار بصمات الأصابع.
- بعض الحشرات تبصر بالأشعة فوق البنفسجيّة كالنحل.

الربط مع علم الأحياء:

يزداد مقدار الميلانين في الجلد (وهو الصباغ البني) بعد التعرض للأشعة فوق البنفسجيّة، وهذا ما يُعرف بالاسمرار الشمسي ويُعدُ الميلانين واقياً ممتازاً من الضوء، فهو يمتص الأشعة فوق البنفسجيّة ويبدّد الطاقة على شكل حراري غير مؤذٍ، واقياً للبشرة.

تعلّمتُ

- تتكوّن الإشعاعات الضوئيّة من إشعاعات مرئيّة وإشعاعات غير مرئيّة.
- تقع على جانبي الإشعاعات المرئيّة إشعاعات أخرى غير مرئيّة تدعى الإشعاعات تحت الحمراء والإشعاعات فوق البنفسجيّة.
- الأشعة تحت الحمراء هي أمواج كهرطيسيّة تواتراتها أصغر من تواتر الضوء الأحمر المرئي، وأطوال موجاتها أكبر من $0.75\,\mu m$.
- تحمل الأشعة تحت الحمراء طاقة حراريّة أكبر من الطاقة التي يحملها الضوء المرئي.
- الأشعة فوق البنفسجيّة هي أمواج كهرطيسيّة تواتراتها أكبر من تواتر الضوء البنفسجي المرئي، وأطوال موجاتها أصغر من $0.4\,\mu m$.

أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكلّ ممّا يأتي:

1. يكشف عن الأشعّة تحت الحمراء:

   a. بميزان حرارة مطليّ مستودعه بفحم الهباب.
   b. بورقة ترشيح مطليّة براسب كلوريد الفضة.
   c. بورقة ترشيح مطليّة براسب كبريتات الباريوم.
   d. بمقياس غلفاني مناسب.

2. يُكشف عن الأشعّة فوق البنفسجيّة:

   a. بميزان حرارة طلي مستودعه بهباب الفحم.
   b. بورقة ترشيح مطليّة براسب كلوريد الفضة.
   c. بورقة ترشيح مطليّة براسب كبريتات الباريوم.
   d. بمقياس غلفاني مناسب.

3. الأشعة تحت الحمراء:

   a. تهيج التفاعل التخريبي بين الميتان والكلور.
   b. ليس لها أفعال كيميائيّة تذكر.
   c. تزيل التألّق.
   d. تستعمل في التجفيف السريع.

4. الأشعة 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 الآتيّة:

1. حدد مكان وجود كلّ من الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجيّة بالنسبة للطيف المرئي.
2. كيف يمكن الكشف عن الأشعّة تحت الحمراء والأشعّة فوق البنفسجيّة؟
3. هل الغلاف الجوي يسمح بمرور كلّ الأشعّة؟ ما دور طبقة الأوزون؟
4. عدد بعض استعمالات الأشعّة تحت الحمراء في الطب.

تفكير ناقد

رياضة السباحة مفيدة جداً لجسم الإنسان، ولكن لا ينصح بها وقت الظهيرة في المنطقة المعرّضة لأشعة الشمس فسر ذلك.

أبحث أكثر

تُستخدم الأشعة فوق البنفسجية في تعقيم مياه الشرب والمعدات الطبية ابحث في مكتبتك المدرسية أو في الشابكة عن ذلك.

مصطلحات باللغة الإنكليزية تم الترتيب وفق الترتيب الأبجدي للكلمات الإنكليزية.

Momentum	**كمية الحركة**
Momentum change	تغير كمية الحركة
Consenvation of momentum	مصونية كمية الحركة
Elastic Collision	الصدم المرن
Inelastic Collision	الصدم اللّين
Final	نهائيّ
Initial	بدائيّ
Ballistics	**حركة القذائف**
Projectile	القذيفة
Trajectory of a projectile	مسار القذيفة
Angle of projection	زاوية القذف
Range	المدى
Maximum height	الذروة
Initial	السرعة الابتدائية
Circular motion	**الحركة الدائريّة**
Circular distance	الفاصلة الدائرية
Angular distance	الفاصلة الزاوية
Angular velocity	السرعة الزوية
Angular acceleration	التسارع الزاوي
Tangential acceleration	التسارع المماسي
Centripetal acceleration	التسارع الناظمي
Torsion	ميل الطريق
Centripetal force	القوة الجاذبة المركزية
period	الدور
frequency	التواتر
Dynamic of rotation	**التحريك الدورانيّ**
Restoring torque	مزدوجة الفتل
Moment of inertia	عزم العطالة

Huygens Theory	نظرية هايغنز
Angular momentum	العزم الحركي
Angular acceleration theory	نظرية التسارع الزاوي
Spring tension force	**قوّة توتّر النابض**
Tensions force	قوة التوتر
Spring constant	ثابت صلابة نابض
potential energy of a spring	الطاقة الكامنة المرونية
Gravitational interaction	**الأفعال المتبادلة في حقل الجاذبية**
Gravity	قوة الجذب
Gravity constant	ثابت الجاذبية
Law of universal gravitation	قانون الجاذبيّة
Earth's gravitational field	حقل الجاذبية الأرضية
Kepler's Laws	**قوانين كبلر**
Elliptic orbit	المدار الاهليلجي
Period	الدور
Astronomical Unit (U.A)	الواحدة الفلكية a)U.A)
The satellite	القمر الصنعي
Orbital Speed	السرعة المدارية
Period of satellite movement	دور حركة القمر الصنعي
Air resistance	مقاومة الهواء
Air viscosity	لزوجة هواء.
Friction Force	قوى احتكاك.
Pressure Force	قوى ضغط
Apparent Area	سطح الظاهري
Terminal Velocity	سرعة حدية
Capacitance of a conductor	سعة ناقل
Farad	الفاراد
Potential of equilibrium	كمون التوازن

Capacitors	**المكثفات**
capacitance	سعة المكثّفة
Charging of a Capacitor	شحن المكثّفة
discharging of a Capacitor	تفريغ المكثّفة
Semi condutor	نصف ناقل
Extrinsic Semicondutor	نصف ناقل هجين
Electric conductivity	ناقليّة كهربائية
Holes mobility	ناقليّة ثقوبيّة
Diode	الديود
p-n Junction	الوصلة $p-n$
Transistor	الترانستور
Vibration and wave propagation	الحركة الاهتزازية وانتشار الأمواج
Amplitude	السعة
Displacement	المطال
Battement	النبض
Reflection and refraction of waves	**انعكاس وانكسار الأمواج**
Wave reflection	انعكاس موجه
Fixed End	نهاية مقيدة
Free End	نهاية طليقة
refraction of wave	انكسار موجة
Descartes' law	قانونا ديكارت
Relative refractive index	معامل الانكسار النسبي
Snell law in refraction	قانون سنل في الانكسار.
Interference and diffraction	**التداخل والانعراج**
Interference	التداخل
Constructive interference	التداخل البنّاء
Destructive interference	التداخل الهدّام
Diffraction	الانعراج
Polarization of light	استقطاب الضوء.