الفيزياء

للصف الثانى الثانوى - الفصل الدراسى الثانى 2025 - 2026

الفيزيـــاء

للصـف الثـــانى الثـــانوى - الفصل الدراسى الثانى 2025 - 2026

إعـــــداد

أ. د. مصطفى كمال محمد يوسف
أ. د. محمد سامح سعيد
د. مصطفى محمد السيد محمد
أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد

لجنة التعديل

أ. يسرى فؤاد سويرس
أ. مجدي فتحي
أ. سعيد محمد علي
أ. أيمن شوقي
أ. محمد سيد محمد
أ. أحمـد ريـــاض أبو السعود
أ. عبد الله مصطفى محمد

شارك فى التعديل والتطوير

إدارة المحتوى التعليمى بشركة GPS للطبع والنشر والتوزيع

مستشار مادة العلوم

د. عزيزة رجب خليفة

إشراف عام

د. أكرم حسن محمد
مساعد الوزير لشئون المناهج التعليمية
والمشرف على الإدارة المركزية لتطوير المناهج

غير مصرح بتداول هذا الكتاب خارج وزارة التربية والتعليم والتعليم الفنى

مقدمة

يمثل هذا الكتاب دعامة من دعائم المنهج المطور فى الفيزياء للصف الثانى الثانوى، إلى جانب الأنشطة والتدريبات، الأمر الذى يعمل على تحقيق أهداف عملية تطوير المناهج لمواجهة تحديات القرن الحادى والعشرين، والذى واكبت بدايته ثورة متسارعة فى المعلومات وتكنولوچيا الاتصالات.

ويهدف المنهج إلى تحقيق التوجهات التالية:

- التبصير بالعلاقة بين العلم والتكنولوچيا فى مجال الفيزياء وانعكاساتها على التنمية.

- التركيز على ممارسة الطلاب للتصرف الواعى والفعال حيال استخدام المخرجات التكنولوچية.

- اكتساب الطلاب منهجية التفكير العلمى، ومن ثم يتاح لهم الانتقال إلى التعلم الذاتى الممتزج بالمتعة والتشويق.

- اعتماد الطلاب على الاستكشاف فى التوصل إلى المعلومات، واكتساب المزيد من الخبرات.

- توفير الفرص لممارسة مهام المواطنة من خلال أساليب التعلم الذاتى، والعمل بروح الفريق للتفاوض والإقناع وتقبل آراء الآخرين وعدم التعصب ونبذ التطرف.

- اكتساب الطلاب المهارات الحياتية، عن طريق زيادة الاهتمام بالجانب العملى والتطبيقى.

- تنمية الاتجاهات البيئية الإيجابية نحو استخدام الموارد البيئية، والحفاظ على التوازن البيئى محليًا وعالميًا.

ويحتوى هذا الكتاب على مجموعة من الوحدات المتكاملة تحقق الأهداف المرجوة من دراسة كل منها، وهى :

(١) الشغل والطاقة فى حياتنا اليومية.

(٢) الموجات.

(٣) الحركة الدائرية.

نسأل الله عزّ وجلّ أن تعم الفائدة من هذا الكتاب، وندعوه سبحانه أن يكون ذلك لبنة من اللبنات التى نضعها فى محراب حب الوطن والانتماء إليه. والله من وراء القصد، وهو يهدى إلى سواء السبيل.

المؤلفون

المحتويات

الوحدة الأولى

الصفحة

الشغل والطاقة فى حياتنا اليومية

الفصل الأول : الشغل والطاقة. 6

الوحدة الثانية

الموجـات

الفصل الثانى : الحركة الموجية. 31

الفصل الثالث : الضوء. 48

الوحدة الثالثة

الحركة الدائرية

الفصل الرابع : قوانين الحركة الدائرية. 78

الفصل الخامس : الجاذبية الكونية
والحركة الدائرية. 93

الوحـــدة

الأولى

الشغل والطاقة فى حياتنا اليومية

‹ **الفصل الأول** : الشغل والطاقة

الفصل

الأول

الشغل والطاقة

نواتج التعلم المتوقعة

فى نهاية هذا الفصل تكون قادرًا على أن:

١- تفسر المعنى العلمى للشغل.

٢- تستنتج أن الشغل كمية غير متجهة.

٣- تستنتج وحدات الطاقة.

٤- تستنتج أن طاقة الوضع عبارة عن شغل مبذول تحول إلى طاقة مختزنة.

٥- تتعرف العلاقة الرياضية لكل من طاقة الحركة وطاقة الوضع.

٦- تقارن بين طاقة الحركة وطاقة الوضع.

٧- تطبق تغيرات طاقة الوضع والحركة عند قذف جسم إلى أعلى، ويعتبر ذلك مثالًا لقانون بقاء الطاقة.

٨- تطبق قانون بقاء الطاقة على بعض الأمثلة فى الحياة العملية.

مصطلحات الفصل

- الشغل Work
- الطاقة Energy
- طاقة الحركة Kinetic Energy
- طاقة الوضع Potential Energy
- قانون بقاء الطاقة Law Of Conservation Of Energy

مقـــدمة

شكل (1)

توجـد الطاقـة فـى الطبيعة فى عدة صور مختلفة مثـل الطاقـة الحرارية والطاقة الكيميائية والطاقة الميكانيكية وغيرها ... وهذه الطاقة يمكن أن تتحول من صورة إلى أخرى، فما المقصود بالطاقة؟

وما علاقتها بالشغل المبذول؟

الشغل Work

يختلف مفهوم الشغل فى الفيزياء عن مفهومه فى حياتنا اليومية، فالشغل فى حياتنا اليومية قد يعنى نشاطًا ذهنيًا أو جسديًا يبذل فيه الإنسان جهدًا لتحقيق هدفًا ما.

أما فى الفيزياء فلكى يبذل شغل على جسم ما، فلابد أن تؤثر **قوة** على الجسم وأن يتحرك **إزاحة** ما كنتيجة لهذه القوة، وإذا لم يتحرك الجسم فإن شغلًا لم يبذل مهما كان مقدار القوة المؤثرة على الجسم.

أى هناك شرطان لوجود شغل (من الناحية الفيزيائية)، وهما :

(1) أن تؤثر قوة معينة على الجسم.

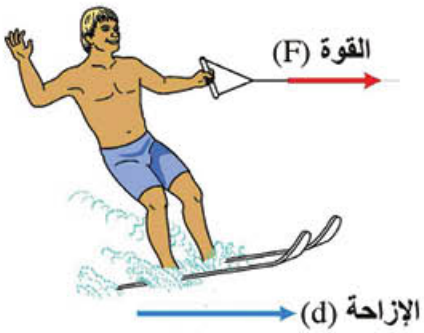
(2) أن يتحرك الجسم إزاحة معينة فى نفس اتجاه القوة.

شكل (2)

ويوضح الشكل (3) مثالًا للشغل :

شكل (3)

اللاعب يبذل شغلًا لرفع الأثقال من الأرض



شكل (4)

ويمكن حساب الشغل المبذول (W) بواسطة قوة ما (F) على جسم لتحركه إزاحة (d) على خط عمل القوة بالضرب القياسى لهما باستخدام العلاقة :

$$W = F.d \qquad (1)$$

وبما أن كلًا من القوة والإزاحة كميتان متجهتان، فإن حاصل ضربهما القياسى يُعطى كمية قياسية (الشغل)، أى أن الشغل كمية غير متجهة. فعند تهذيب أرض منبسطة مزروعة بالحشائش لا يهم فى أى اتجاه تسير آلة قص الحشائش، فتهذيب (5 m) من الشرق إلى الغرب يحتاج إلى الشغل نفسه الذى يحتاجه تهذيب (5 m) من الشمال إلى الجنوب.

شكل (5)
طفل يبذل شغلًا

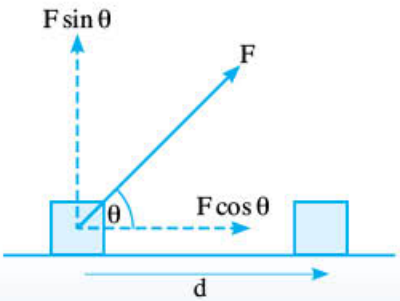
ويقاس الشغل بوحدة نيوتن.متر (N.m)، وقد أعطيت هذه الوحدة اسمًا خاصًا وهو الجول (J) نسبةً إلى العالم چيمس چول، وصيغة أبعاد الشغل هى ML^2T^{-2}

الجول : هو الشغل المبذول بواسطة قوة مقدارها نيوتن واحد لتُحرِّك جسمًا إزاحة مقدارها متر واحد فى اتجاه القوة.

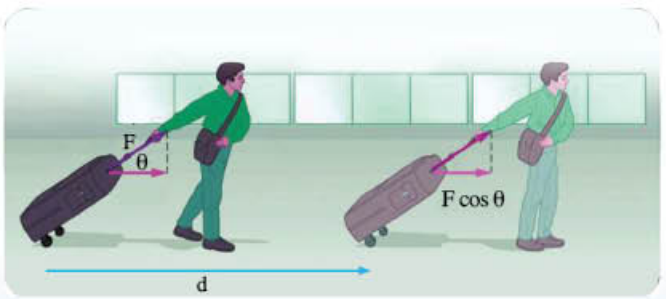
إذا أثرت قوة (F) على جسم فحركته إزاحة (d) بحيث كان اتجاه القوة يميل على اتجاه الإزاحة بزاوية (θ)، يتم تحليل متجه القوة إلى مركبتين متعامدتين، وتعتبر مركبة القوة التى تعمل فى اتجاه إزاحة الجسم هى المسببة للشغل المبذول كما بالشكل (6) ويكون الشغل المبذول كما بالعلاقة :

$$W = (F \cos\theta)\ (d)$$

$$W = Fd \cos\theta \qquad (2)$$

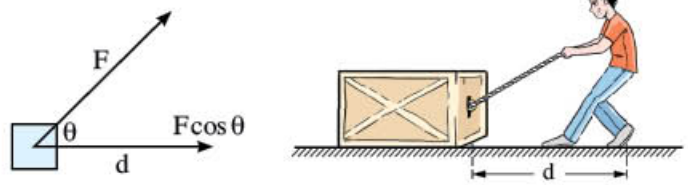
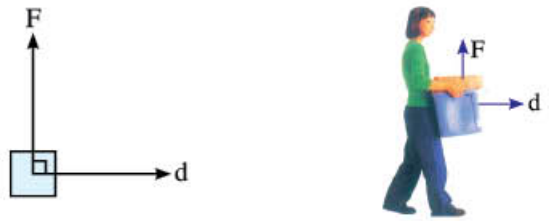
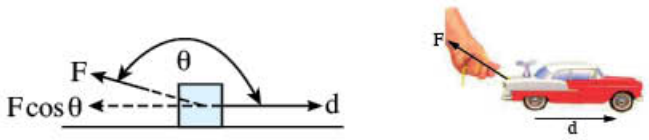


شكل (6 ب)



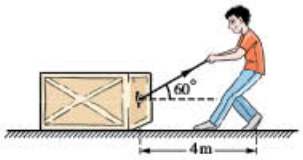
شكل (6 أ)

من المعادلة السابقة يتضح أن الشغل قد يكون موجبًا أو سالبًا أو صفرًا، كما هو موضح بالجدول التالى :

الزاوية θ	الشغل	أمثلة
$0° \le \theta < 90°$	موجب (القوة أو إحدى مركبتيها تؤثر فى اتجاه إزاحة الجسم)	سحب جسم 
$\theta = 90°$	صفر (القوة عمودية على اتجاه إزاحة الجسم)	الحركة الأفقية لجسم محمول 
$180° \ge \theta > 90°$	سالب (القوة أو إحدى مركبتيها تؤثر عكس اتجاه إزاحة الجسم)	شخص يحاول جذب جسم بقوة عكس اتجاه إزاحته 

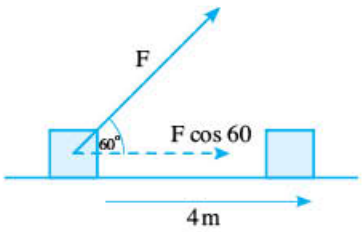
مثـال ١

صندوق كتلته 20 kg يتحرك تحت تأثير قوة شد مقدارها 50 N وتصنع زاوية مقدارها 60° على اتجاه الحركة كما بالشكل الموضح، احسب الشغل المبذول بواسطة قوة الشد إذا تحرك الصندوق إزاحة مقدارها 4 m



شكل (7)

الحـل



شكل (8)

$F = 50\ N \quad , \quad d = 4\ m \quad , \quad \theta = 60°$

$W = Fd \cos\theta = (50)\ (4)\ (\cos 60) = 100\ J$

ماذا لو

قلـت الزاويـة بين اتجاهـى قـوة الشـد والإزاحة مع ثبوت مقدارهما، هل يزداد أم يقل الشغل المبذول على الصندوق بواسطة قوة الشـد ؟

مثـال ٢

احسب الشغل المبذول على دلو كتلته 300 g تحمله طفلة وتتحرك به لمسافة 10 m فى الاتجاه الأفقى، **ثم احسب** الشغل الذى يبذله طفل لرفع دلو له نفس الكتلة لمسافة 10 cm فى الاتجاه الرأسى ($g = 10\ m/s^2$)

شكل (9)

الحل

* الشغل الذى تبذله الطفلة على الدلو :

بما أن القوة التى تحمل بها الطفلة الدلو تكون عمودية على الإزاحة،

فإن الشغل يساوى صفرًا.

* الشغل الذى يبذله الطفل لرفع الدلو :

حساب القوة :

$$F = mg = \frac{300}{1000} \times 10 = 3\ N$$

حساب الشغل :

$$W = Fd \cos \theta$$

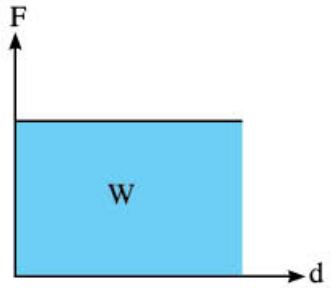
وحيث إن القوة المؤثرة على الدلو وإزاحته فى نفس الاتجاه فإن الزاوية (θ) تساوى صفرًا.

$$W = 3 \times \frac{10}{100} \times \cos 0 = 0.3\ J$$

ويمكن إيجاد الشغل بيانيًا باستخدام منحنى (القوة - الإزاحة) المبين فى الرسم المقابل، حيث يعبر الخط المستقيم عن قوة ثابتة فى المقدار والاتجاه (F) تؤثر على جسم، فتسبب له إزاحة (d) فى نفس اتجاه القوة المؤثرة، وبالرجوع إلى تعريف الشغل وعندما تكون ($\theta = 0°$) فإن :

الشغل = القوة × الإزاحة = الطول × العرض

= المساحة تحت منحنى (القوة - الإزاحة)



شكل (10)

الشغل يساوى المساحة أسفل الخط المستقيم

علماء أفادوا البشرية :

جيمس جول (1818 - 1889 م) : هو عالم إنجليزى كان من أوائل من أدركوا أن الشغل يولد حرارة. ففى أحد تجاربه وجد أن درجة حرارة الماء فى أسفل الشلال أكبر منها فى أعلى الشلال، مما يثبت أن بعضًا من طاقة المياه الساقطة تتحول إلى حرارة.

شكل (11)

جيمس جول

الطاقة Energy

إذا كان الجسم قادرًا على بذل الشغل فإن هذا الجسم يمتلك طاقة، وبمعنى أبسط فإن طاقة الجسم هى قدرته على بذل الشغل، لذلك فوحدات الطاقة هى وحدات الشغل، ومنها الچول.

وسنتناول فيما يلى بالتفصيل صورتين من أهم صور الطاقة، وهما : طاقة الحركة، وطاقة الوضع.

طاقة الحركة (KE)

عندما تؤثر قوة (F) على جسم ساكن كتلته (m) فتحركه إزاحة (d) فى نفس اتجاهها، فإن الشغل (Fd) المبذول على الجسم يتحول إلى صورة من صور الطاقة تعرف باسم طاقة الحركة (KE).

شكل (12)
أمثلة على طاقة الحركة

وبصورة عامة يمكن حساب طاقة حركة جسم سرعته (v) من العلاقة :

$$KE = \frac{1}{2} mv^2 \qquad (3)$$

ومن العلاقة السابقة يتضح أن طاقة الحركة تتناسب طرديًا مع كتلة الجسم ومع مربع سرعته.

وحدة قياس طاقة الحركة هى الچول، وصيغة أبعادها هى ML^2T^{-2}

مثـال

أوجد طاقة حركة سيارة كتلتها 2000 kg تسير بسرعة 72 km/h

الحـل

حساب السرعة بوحدة (m/s) :

$$v = \frac{72 \times 1000}{60 \times 60} = 20 \text{ m/s}$$

حساب طاقة الحركة :

$$KE = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} (2000)\ (20)^2 = 400000 \text{ J} = 4 \times 10^5 \text{ J}$$

تطبيقات حياتية

عند إيقاف سيارة كتلتها (m) تتحرك بسرعة (v) بالضغط على الفرامل تتأثر السيارة بقوة (F) وتتحرك إزاحة (d) من لحظة الضغط على الفرامل وحتى تتوقف، ومن العلاقة ($Fd = \frac{1}{2} mv^2$) يتضح أن الشغل المبذول لإيقاف السيارة يتناسب طرديًا مع مربع سرعتها (v^2)، فإذا كانت هناك سيارة تتحرك بسرعة 60 km/h، ويراد إيقافها عن الحركة بواسطة الضغط على دواسة الفرامل بقوة معينة، فنجد أنها سوف تنزلق مسافة قبل التوقف تساوى أربعة أمثال تلك التى لو كانت تتحرك بسرعة 30 km/h

شكل (13)

معلومة إثرائية (للاطلاع فقط)

شكل (14)

أى جسم متحرك يمتلك طاقة حركة

* إيجاد طاقة الحركة لجسم :

من خلال دراستك فى الرياضيات (الميكانيكا)، بفرض أن لديك سيارة تتحرك من سكون فى خط مستقيم بعجلة منتظمة مقدارها (a) فإن :

$$v_f^2 - v_i^2 = 2\,ad$$

حيث : v_i هى السرعة الابتدائية = صفرًا، v_f هى السرعة النهائية.

$$\therefore v_f^2 = 2\,ad \quad \Rightarrow \quad d = \frac{v_f^2}{2\,a}$$

وبضرب طرفى المعادلة السابقة فى (F)، وهى القوة المؤثرة على السيارة أثناء حركتها فإن :

$$Fd = \frac{1}{2} \frac{F}{a} v_f^2$$

ومن قانون نيوتن الثانى :

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

ومن العلاقتين السابقتين :

$$Fd = \frac{1}{2} mv_f^2 \qquad (4)$$

حيث يمثل المقدار (Fd) فى المعادلة السابقة الشغل المبذول (الطاقة اللازمة لتحريك السيارة)، ويمثل الطرف الأيمن ($\frac{1}{2} mv_f^2$) صورة الطاقة التى تحول إليها الشغل المبذول، والتى تعرف باسم طاقة الحركة (KE).

تجربة عملية لتعيين طاقة حركة جسم متحرك

غرض التجربة :

طاقة الحركة هى الطاقة التى يمتلكها الجسم نتيجة لحركته، وتحسب من العلاقة :

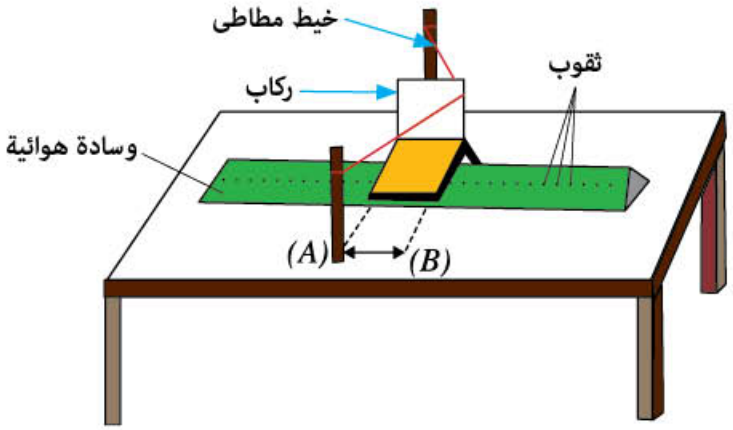
$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

ومن العلاقة السابقة نستنتج أن مربع سرعة الجسم يتناسب عكسيًا مع كتلته، وذلك عند ثبات طاقة الحركة، وهذا ما سنحاول إثباته عمليًا.

المواد والأدوات :

(1) ركاب كتلته m يتحرك على وسادة هوائية.
(2) خيط مرن.
(3) خلية كهروضوئية.
(4) ساعة كهربية أو ساعة إيقاف.

خطوات العمل :



شكل (15)

(1) أزح الركاب من النقطة (A) إلى النقطة (B) كما بالرسم، ثم اتركه يندفع عائدًا إلى موضعه الأصلى.

(2) قس الزمن الذى يستغرقه الركاب أثناء حركته على الوسادة الهوائية باستخدام الساعة الكهربية المتصلة بالخلية الكهروضوئية أو ساعة الإيقاف.

(3) عيِّن سرعة الركاب (v) بقسمة المسافة التى تحركها على الزمن (بالثانية) ثم عيِّن كتلة الركاب (m) بالكيلوجرام.

(4) كرر الخطوات (2) ، (3) عدة مرات مع تغيير كتلة الركاب (m) وتعيين السرعة التى يتحرك بها فى كل مرة (مع ملاحظة تثبيت المسافة (AB) التى يتحركها الركاب فى كل مرة).

5 سجل النتائج فى الجدول التالى :

كتلة الركاب m (kg)	الزمن t (s)	السرعة v (m/s)	$\frac{1}{m}$	v^2
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....

باستخدام الجدول السابق ارسم علاقة بيانية بين مربع السرعة (v^2) على محور الصادات ومقلوب كتلة الركاب ($\frac{1}{m}$) على محور السينات.

تحليل النتائج :

باستخدام الرسم البيانى أجب عن الأسئلة الآتية:

1 ما نوع العلاقة بين مربع سرعة الركاب (v^2) وكتلته (m) ؟ (طردية أم عكسية).

2 ما الذى يمثله ميل الخط المستقيم الذى حصلت عليه ؟

3 احسب طاقة حركة الركاب (KE) من الرسم البيانى.

4 ما وحدة قياس طاقة الحركة ؟

طاقة الوضع (PE)

تستطيع الأجسام أن تختزن طاقة بداخلها نتيجة لمواضعها الجديدة، وهذه الطاقة تسمى طاقة الوضع (PE)، على سبيل المثال انضغاط أو استطالة زنبرك يجعل أجزاءه تختزن طاقة وضع (تسمى طاقة وضع المرونة) ومن ثم يبذل الزنبرك شغلًا حتى يتخلص من هذه الطاقة لكى يعود إلى وضعه المستقر،

ومثال آخر عند رفع جسم ما عن سطح الأرض فإنه يكتسب طاقة وضع (تسمى طاقة وضع تثاقلية)، وهذه الطاقة مرتبطة بموضع الأشياء بالنسبة لسطح الأرض (أى بالنسبة لمجال الجاذبية).

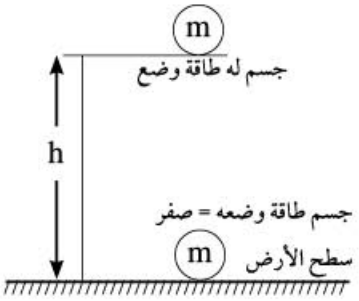
لماذا يتحرك الزنبرك المضغوط عند إزالة القوة المؤثرة عليه؟

لماذا يتحرك الخيط المطاطى المشدود عند إزالة القوة المؤثرة عليه؟

لماذا تنهار الصخور المتآكلة وتسقط لأسفل؟

شكل (16)

إذا رفع جسم ما كتلته (m) إلى ارتفاع (h) عن سطح الأرض، فإن هذا الجسم يكتسب طاقة وضع (PE) نتيجة لموضعه الجديد، وبالتالى فهو يستطيع أن يبذل شغلًا إذا سُمِحَ له بالسقوط، ومن ثم فإن طاقة وضع الجسم فى موقعه الجديد حددت قدرته على بذل شغل، أى أن الشغل المبذول على الجسم لرفعه إلى نقطة ما = طاقة الوضع له عند هذه النقطة.



شكل (17)
رفع جسم كتلته (m) إلى ارتفاع (h)

$$PE = W = Fh$$

وحيث إن أقل قوة (F) لازمة لرفع الجسم لأعلى تساوى وزنه (mg) فإن :

$$PE = Fh = (mg)\,(h) = mgh \qquad (5)$$

ووحدة قياس طاقة الوضع هى الجول، وصيغة أبعادها هى ML^2T^{-2}

تطبيقات حياتية

لرفع صندوق لوضعه فى سيارة يلزم بذل شغل، فمثلًا فى الشكل (18) نحتاج إلى قوة مقدارها 450 N لرفع الصندوق لارتفاع مقداره 1 m رأسيًا، ويمكن أن نرفع نفس الصندوق بقوة أقل تكافىء 150 N باستخدام مستوى مائل أملس لكن سيحتاج إلى إزاحة أكبر مقدارها 3 m

شكل (18)
رفع الصندوق رأسيًا لأعلى يتطلب قوة تكافئ وزن الصندوق، ويكون الشغل المبذول
$W = 450\ N \times 1\ m = 450\ J$

شكل (19)
باستخدام المستوى المائل يتطلب رفع الصندوق قوة أقل من وزنه، لكن هذه القوة لابد وأن تؤثر لإزاحة أكبر
$W = 150\ N \times 3\ m = 450\ J$

المقارنة بين طاقة الحركة وطاقة الوضع التثاقلية لجسم ما :

وجه المقارنة	طاقة الحركة	طاقة الوضع التثاقلية
التعريف	هى الطاقة التى يمتلكها الجسم نتيجة لحركته	هى الطاقة التى يمتلكها الجسم نتيجة لموضعه
العلاقة الرياضية	$KE = \frac{1}{2} mv^2$	$PE = mgh$
العوامل المؤثرة	تتناسب طرديًا مع كل من : - كتلة الجسم (m). - سرعة الجسم (v).	تتناسب طرديًا مع كل من : - كتلة الجسم (m). - الارتفاع عن سطح الأرض (h). - عجلة الجاذبية (g).
وحدة القياس	الجول	الجول
صيغة الأبعاد	ML^2T^{-2}	ML^2T^{-2}

الفيزياء فى خدمة البيئة :

معظم الطاقات التى يستخدمها الإنسان تأتى من مصادر الطاقة غير المتجددة مثل: الفحم الحجرى، والبترول. ومعظم مصادر الطاقة غير المتجددة ينتج عن استخدامها كثير من المواد الضارة بالبيئة وبصحة الإنسان؛ لذا فهناك اتجاه عالمى نحو استخدام المصادر الطبيعية النظيفة للحصول على الطاقة والحفاظ على البيئة فى نفس الوقت، وعلى سبيل المثال استخدام طاقة الرياح (طاقة حركة) ومساقط المياه (طاقة وضع تثاقلية) فى توليد الكهرباء، وتحويلها إلى العديد من صور الطاقة اللازمة للحياة العملية للإنسان.

شكل (20)

شكل (21)

تنمية التفكير الناقد

فتاتان لهما نفس الكتلة تتسابقان على صعود درج، صعدت الفتاة الأولى الدرج فى زمن قدره 5 ثوان، وصعدت الفتاة الثانية الدرج فى زمن قدره 15 ثانية.

- هل يختلف مقدار الشغل الذى تبذله الفتاتين لصعود الدرج؟
- هل يختلف الأمر لو كانت كتلتى الفتاتين مختلفة؟

شكل (22)

قانون بقاء الطاقة Law Of Conservation Of Energy

عرفنا فيما سبق أن الطاقة هى إمكانية بذل شغل، وهناك صور عديدة للطاقة، فالفحم والبنزين وغير ذلك من أنواع الوقود تحتوى على طاقة كيميائية مختزنة (إحدى صور طاقة الوضع)، والتى يمكن أن تتحول بعد أن يحترق الوقود إلى شغل ميكانيكى متمثلة فى حركة السيارات والقطارات وغيرها.

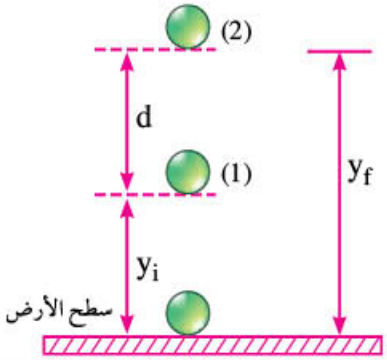
شكل (23)
تحولات الطاقة فى السيارة

وكذلك تتحول الطاقة الكهربائية فى المصباح إلى طاقة حرارية وضوئية، وتتحول طاقة الوضع فى شلال الماء إلى طاقة حركية، وهناك أمثلة عديدة لتحويل الطاقة من صورة إلى أخرى، وتخضع مثل هذه التحولات إلى قانون بقاء الطاقة والذى ينص على أن :

"الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم، ولكن يمكن أن تتحول من صورة إلى أخرى"

قانون بقاء الطاقة الميكانيكية

عند سقوط جسم تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط (مهملين بذلك مقاومة الهواء) يتأثر هذا الجسم بقوة ثابتة مقدارها يساوى وزنه واتجاهها لأسفل، ويطلق على حركة هذا الجسم «السقوط الحر»، ويتحرك الجسم بعجلة منتظمة تسمى عجلة السقوط الحر (g) أو عجلة الجاذبية الأرضية.



شكل (24)

فى حالة قذف جسم كتلته (m) لأعلى عكس اتجاه الجاذبية الأرضية، وكانت سرعته الابتدائية (v_i) عند النقطة (1) وسرعته النهائية (v_f) عند النقطة (2) كما بالشكل (24)، فإن طاقة وضع الجسم تزداد بزيادة الارتفاع، بينما تقل طاقة حركته بتناقص سرعته.

ويكون : مجموع طاقتى الوضع والحركة عند نقطة (1) = مجموع طاقتى الوضع والحركة عند نقطة (2).

أى أن :

$$(PE)_f + (KE)_f = (PE)_i + (KE)_i$$

$$mgy_f + \frac{1}{2} mv_f^2 = mgy_i + \frac{1}{2} mv_i^2$$

$$mgy_f - mgy_i = -(\frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2)$$

$$\Delta PE = -\Delta KE \quad (6)$$

أى أن : النقص فى طاقة الحركة = الزيادة فى طاقة الوضع.

قانون بقاء الطاقة الميكانيكية: عندما يتحرك جسم تحت تأثير قوة من نوع خاص مثل قوة الجاذبية أو قوة المرونة، فإن مجموع طاقتى الوضع والحركة للجسم عند أى نقطة فى مساره يساوى مقدارًا ثابتًا. وبصفة عامة يسمى مجموع طاقتى الوضع والحركة لجسم بالطاقة الميكانيكية.

الطاقة الميكانيكية = طاقة الوضع + طاقة الحركة = مقدار ثابت

ومن العلاقة الأخيرة نستنتج أنه عند حركة جسم تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط كلما زادت طاقة حركة الجسم فإن ذلك يكون على حساب طاقة الوضع، أى أن طاقة الوضع تقل والعكس صحيح.

معلومة إثرائية (للاطلاع فقط)

* إثبات قانون بقاء الطاقة الميكانيكية :

عندما يُقذف جسم رأسيًا لأعلى، فإنه يتحرك بعجلة منتظمة (a)، فيكون : $v_f^2 - v_i^2 = 2\,ad$

وحيث إن الجسم يتحرك لأعلى عكس اتجاه قوة الجاذبية الأرضية فإنه يتحرك بعجلة سالبة، أى أن :

$$a = -g$$

$$v_f^2 - v_i^2 = 2(-g)\,d$$

$$v_f^2 - v_i^2 = -2\,gd$$

بالضرب فى $(\frac{1}{2} m)$، وبالتعويض عن d بالمقدار $(y_f - y_i)$

$$\frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2 = -mg(y_f - y_i)$$

$$\frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2 = -mg\,y_f + mg\,y_i$$

$$mg\,y_f + \frac{1}{2} mv_f^2 = mg\,y_i + \frac{1}{2} mv_i^2$$

$$\therefore (PE)_f + (KE)_f = (PE)_i + (KE)_i \quad (7)$$

شكل (25)

تزداد طاقة الوضع بزيادة الارتفاع بينما تقل طاقة الحركة

تجربة عملية لتحقيق قانون بقاء الطاقة الميكانيكية

غرض التجربة :

التحقق من أن مجموع طاقتى الوضع والحركة لجسم ما يتحرك تحت تأثير قوة الجاذبية عند أى نقطة فى مساره يساوى مقدارًا ثابتًا يُسمى الطاقة الميكانيكية.

المواد والأدوات :

(1) كرة تنس. (2) ميزان رقمى. (3) شريط لاصق.
(4) ساعة إيقاف. (5) شريط مترى.

خطوات العمل :

(1) عيِّن كتلة كرة التنس باستخدام الميزان الرقمى بوحدة الجرام، ثم حولها إلى الكيلوجرام.

$m = \ldots\ldots\ldots\ldots g = \ldots\ldots\ldots\ldots kg$

(2) الصق قطع من الشريط اللاصق على الحائط على ارتفاع (1 m ، 2 m ، 2.5 m)

(3) أمسك كرة التنس على ارتفاع متر واحد من سطح الأرض (h = 1 m) ثم دعها تسقط إلى الأرض وعيِّن الزمن الذى تستغرقه الكرة للوصول إلى سطح الأرض.

(4) كرر المحاولة السابقة عدة مرات.

(5) كرر الخطوات (3) ، (4) للارتفاعات الأخرى (2 m ، 2.5 m) عدة مرات.

(6) سجِّل النتائج التى حصلت عليها فى الجدول التالى :

النتائج :

الارتفاع h (m)	الزمن t (s)			
	المحاولة الأولى	المحاولة الثانية	المحاولة الثالثة	المتوسط
1	.....	.....	.....	.....
2	.....	.....	.....	.....
2.5	.....	.....	.....	.....

(1) احسب طاقة الوضع (PE) عند الارتفاعات المختلفة باستخدام العلاقة :

$$PE = mgh$$

علمًا بأن : $g = 9.8\ m/s^2$

(2) باعتبار أن الكرة سقطت من سكون فتكون السرعة الابتدائية v_i تساوى صفرًا، فيمكن حساب السرعة النهائية v_f للكرة لحظة اصطدامها بالأرض باستخدام المعادلة الآتية :

$$v_f = gt$$

(3) بمعلومية v_f يمكن حساب طاقة الحركة (KE) لكرة التنس لحظة اصطدامها بالأرض باستخدام العلاقة :

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

سجِّل النتائج فى الجدول التالى :

الارتفاع	1 m	2 m	2.5 m
طاقة الوضع PE	.....	.....	.....
طاقة الحركة KE	.....	.....	.....

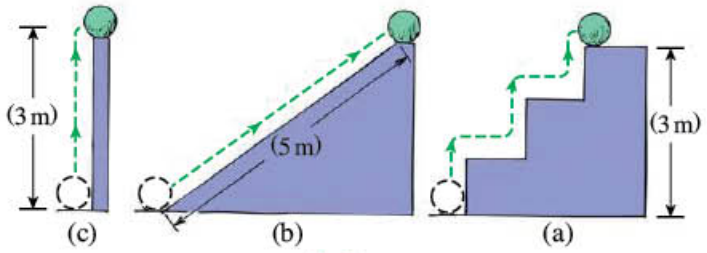
تحليل النتائج :

1. بمقارنة نتائج الجدول لكل من (PE ، KE)، ماذا تلاحظ ؟
2. هل النتائج العملية التى حصلت عليها متفقة مع توقعاتك ؟
3. فى حالة اختلاف النتائج العملية عن توقعاتك، فما الأسباب المحتملة لذلك ؟ وكيف يمكن ضبطها ؟

تفكير ناقد

تخيل أن لديك ثلاثة مسارات مختلفة يمكن أن تسلكها كرة ساكنة موجودة عند سطح الأرض لتصل إلى ارتفاع ثابت، فى أى مسار يكون الشغل المبذول لرفع الكرة أكبر ما يكون؟

- المسار a
- المسار b
- المسار c
- جميعها متساوية.



شكل (26)

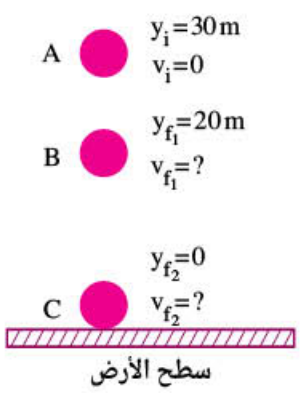
مثـال

جسم ساكن على ارتفاع 30 m من سطح الأرض له طاقة وضع 1470 J ، فإذا سقط الجسم لأسفل، بإهمال مقاومة الهواء، **احسب :**

(أ) كتلة الجسم.

(ب) طاقة حركة الجسم وطاقة وضعه عند ارتفاع 20 m من سطح الأرض.

(جـ) سرعة الجسم لحظة اصطدامه بالأرض. $(g = 9.8\ m/s^2)$



شكل (27)

الحـل

(أ) عند النقطة A :

$$PE = mgh = 1470\ J$$

$$m \times 9.8 \times 30 = 1470\ J$$

$$m = 5\ kg$$

(ب) بتطبيق قانون بقاء الطاقة الميكانيكية عند النقطتين A ، B :

$$PE_f + KE_f = PE_i + KE_i$$

$$mg\ y_f + KE_f = PE_i + KE_i$$

$$(5 \times 9.8 \times 20) + KE_f = 1470 + 0$$

$$KE_f = 490\ J$$

∴ طاقة حركة الجسم عند ارتفاع 20 m هى 490 J

طاقة وضع الجسم عند ارتفاع 20 m هى : $PE_f = 1470 - 490 = 980\ J$

طريقة أخرى : $PE_f = mgy_f = 5 \times 9.8 \times 20 = 980\ J$

(جـ) لحساب سرعة الجسم لحظة اصطدامه بالأرض :

بتطبيق قانون بقاء الطاقة الميكانيكية عند النقطتين A ، C :

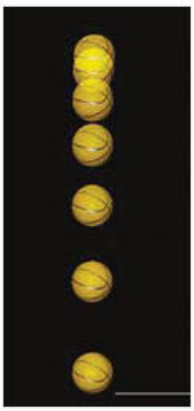
$$(5 \times 9.8 \times 30) + 0 = 0 + (\frac{1}{2} \times 5 \times v_f^2) \qquad \therefore v_f = 24.25\ m/s$$

ماذا لو

قُذف الجسم رأسيًا لأسفل من نفس الارتفاع بدلًا من السقوط الحر من السكون، أى القيم المحسوبة بالمثال تتغير ؟

قانون بقاء الطاقة فى الحياة العملية :

عندما تقذف جسمًا لأعلى فى الهواء، فإنك ترى مثالًا لقانون بقاء الطاقة، أو التحول المتبادل لطاقة الحركة وطاقة الوضع. فعندما نقذف كرة إلى أعلى من سطح الأرض تكون طاقة الوضع مساوية للصفر، وتكون طاقة الحركة نهاية عظمى، وعندما تبدأ الكرة فى الحركة لأعلى تتزايد طاقة وضعها على حساب طاقة حركتها، وهكذا يستمر التحول من طاقة الحركة إلى طاقة الوضع إلى أن تصل إلى أقصى ارتفاع لها، وفى هذه الحالة تصبح طاقة حركتها تساوى صفرًا، فى حين تكون طاقة الوضع نهاية عظمى، بعد ذلك تبدأ الكرة فى العودة إلى الأرض، فتزداد طاقة الحركة تدريجيًا مع تناقص طاقة الوضع إلى أن تصل إلى سطح الأرض مرة أخرى، وتصبح طاقة وضعها تساوى صفرًا.



شكل (28)

التحول المتبادل بين طاقتى الوضع والحركة فى الجسم المقذوف لأعلى

وتوجد أمثلة كثيرة لتحول طاقة الحركة إلى طاقة وضع أو العكس كما هو موضح بالأشكال التالية :

شكل (29)
التحول المتبادل بين طاقتى الوضع والحركة أثناء الوثب بالزانة فى ألعاب القوى

شكل (30)
التحول المتبادل بين طاقتى الوضع والحركة أثناء قذف السهم من القوس

شكل (31)
التحول المتبادل بين طاقتى الوضع والحركة فى عربة الملاهى

تنمية التفكير الناقد

قفز الدلافين خارج الماء :

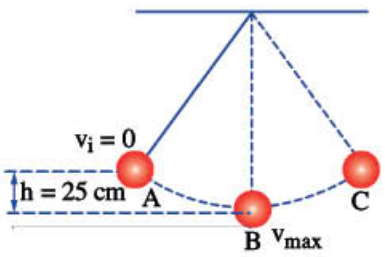
- ما تحولات الطاقة الميكانيكية الحادثة منذ بدء القفزة وحتى عودة الدولفين للماء ؟
- هل يمكن حساب سرعة ارتطام الدولفين بالماء بعد انتهاء قفزته بمعلومية الارتفاع الذى وصل إليه ؟
- اقترح تجربة بسيطة لمحاكاة قفزة الدولفين وذلك باستخدام كرة بلاستيكية صغيرة وإناء عميق به ماء.

شكل (32)

مثـال

يبين الشكل المقابل كرة معلقة بخيط، تتأرجح بشكل حُر فى مستوى رأسى محدد، فإذا كانت كتلة الكرة m ومقاومة الهواء مهملة، فما أقصى سرعة تبلغها الكرة أثناء تأرجحها؟

(علمًا بأن : $g = 9.8\ m/s^2$).



شكل (33)

الحـل

أقصى سرعة تبلغها الكرة أثناء تأرجحها يكون عند النقطة B،

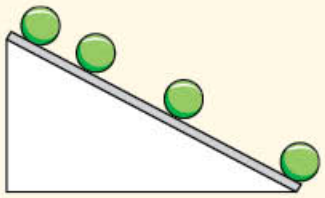
وبتطبيق قانون بقاء الطاقة الميكانيكية عند النقطتين A ، B :

$$mgh + 0 = 0 + \frac{1}{2} mv_f^2$$

$$m \times 9.8 \times 25 \times 10^{-2} = \frac{1}{2} \times m \times v_f^2$$

$$v_f = 2.2\ m/s$$

تصورات غير صحيحة



شكل (34)

يعتقد البعض أنه كلما زادت كتلة الكرة التى تتدحرج من قمة مستوى مائل أملس، فإنها تصل إلى نهايته بسرعة أكبر.

والصحيح أن زيادة كتلة الكرة التى تتدحرج من قمة مستوى مائل أملس يزيد من طاقة حركتها عند نهاية المستوى ، بينما تظل سرعتها عند نهاية المستوى كما هى فى الحالة الأولى.

تلخيص

أولًا : التعاريف والمفاهيم الأساسية

- الشغل : هو حاصل الضرب القياسى للقوة المؤثرة على جسم وإزاحته، وهو كمية قياسية، وتقاس بوحدة الجول (J).
- الجول : الشغل المبذول بواسطة قوة مقدارها نيوتن واحد لتحريك جسم إزاحة مقدارها متر واحد فى اتجاه القوة.
- الطاقة : هى القدرة على بذل شغل.
- طاقة الحركة : هى الطاقة التى يمتلكها الجسم نتيجة لحركته.
- طاقة الوضع : هى الطاقة التى يمتلكها الجسم نتيجة لموضعه، وهى طاقة مختزنة داخله.

ثانيًا : القوانين الأساسية

- قانون بقاء الطاقة : الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم، ولكن يمكن أن تتحول من صورة لأخرى.
- قانون بقاء الطاقة الميكانيكية : مجموع طاقتى الوضع والحركة لجسم يتحرك تحت تأثير قوة الجاذبية عند أى نقطة فى مساره يساوى مقدارًا ثابتًا.

ثالثًا : العلاقات الأساسية

- الشغل المبذول : $W = Fd \cos \theta$
- طاقة الحركة : $KE = \frac{1}{2} mv^2$
- طاقة الوضع التثاقلية : $PE = mgh$
- الطاقة الميكانيكية : $E = PE + KE$

أسئلة وتمارين

أولًا: اختر الإجابة الصحيحة

1. يدفع شخص عربة تحمل صناديق، وتؤثر على العربة القوى الآتية :

(I) قوة دفع الشخص (II) قوة الاحتكاك

(III) قوة جذب الأرض (IV) قوة رد فعل سطح الأرض

أى زوج من هذه القوى لا يبذل شغلًا على العربة عند تحركها إزاحة (d) ؟

(أ) القوتين (I) ، (II) (ب) القوتين (III) ، (IV)

(جـ) القوتين (I) ، (IV) (د) القوتين (II) ، (III)

2. جسم طاقة حركته 4 J ، كم تكون طاقة حركته إذا زادت سرعته إلى الضعف ؟

(أ) 8 J (ب) 16 J (جـ) 4 J (د) 0.8 J

3. وصل رجل إلى شقته صعودًا على السلم مرة، وباستخدام المصعد مرة ثانية، أى العبارات التالية صحيحة؟

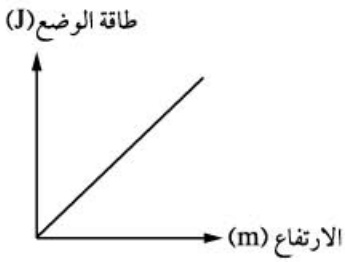
(أ) طاقة وضع الرجل أكبر عند صعوده السلم

(ب) طاقة وضع الرجل أكبر عند استخدام المصعد

(جـ) لا توجد طاقة وضع للرجل عند استخدام المصعد

(د) طاقة وضع الرجل متساوية فى الحالتين

4. ميل الخط المستقيم فى الشكل البيانى المقابل يمثل .....



(أ) كتلة الجسم

(ب) وزن الجسم

(جـ) إزاحة الجسم

(د) سرعة الجسم

5. جسم كتلته 2 kg ويقع على ارتفاع 5 m فوق سطح الأرض، فإن طاقة وضعه هى ..... $(g = 9.8\ m/s^2)$

(أ) 98 J (ب) 10 J (جـ) 2.5 J (د) 9.8 J

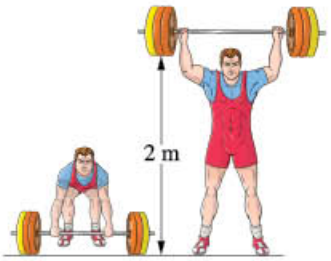
6. الطاقة المختزنة فى زنبرك مضغوط هى .....

(أ) طاقة حركة (ب) طاقة وضع (جـ) طاقة نووية (د) طاقة حرارية

7. إذا قُذف جسم رأسيًا لأعلى فأى الكميات الفيزيائية الآتية تساوى صفرًا عند أقصى ارتفاع يصل إليه ؟

(أ) وزنه (ب) عجلة تحركه (جـ) طاقة وضعه (د) سرعته

8. الشكل المقابل يوضح رافع أثقال يرفع كتلة مقدارها 100 kg، فيكون الشغل المبذول بواسطة رافع الأثقال ليرفع تلك الكتلة من الأرض لارتفاع 2 m هو ..... (علمًا بأن : $g = 10\ m/s^2$)



أ) 100 J　　ب) 200 J

جـ) 1000 J　　د) 2000 J

9. الطاقة الميكانيكية لجسم تساوى .....

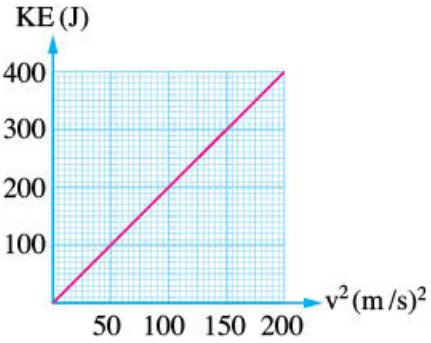
أ) الفرق بين طاقتى الحركة والوضع　　ب) مجموع طاقتى الحركة والوضع

جـ) النسبة بين طاقتى الحركة والوضع　　د) حاصل ضرب طاقتى الحركة والوضع

10. فى الشكل المقابل كرة كتلتها 12 kg تسقط سقوطًا حرًا من السكون، فإذا كانت طاقتها الميكانيكية عند منتصف المسافة بين موضع سقوطها وسطح الأرض 150 J، فإن سرعتها لحظة اصطدامها بسطح الأرض تساوى .....

أ) 5 m/s　　ب) 25 m/s　　جـ) 50 m/s　　د) 100 m/s

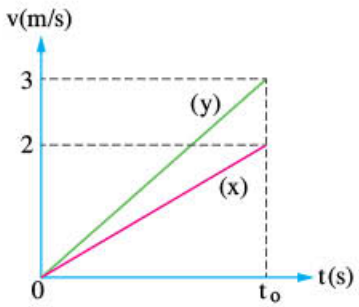
11. الشكل البيانى المقابل يوضح العلاقة بين طاقة الحركة (KE) لجسم يسقط من ارتفاع 10 m فوق سطح الأرض ومربع سرعته (v^2) أثناء السقوط، فتكون طاقة وضعه على ارتفاع 2 m هى .....
(علمًا بأن : $g = 10\ m/s^2$)



أ) 20 J　　ب) 40 J

جـ) 60 J　　د) 80 J

12. جسمان (x) ، (y) لهما نفس الكتلة ويتحرك كل منهما من السكون على سطح أفقى بتأثير قوة محصلة أفقية مختلفة فى المقدار، والشكل البيانى المقابل يمثل العلاقة بين السرعة (v) لكل من الجسمين والزمن (t)، فإن النسبة بين مقدارى الشغل المبذول على الجسمين $\left(\frac{W_x}{W_y}\right)$ بواسطة القوة المحصلة :



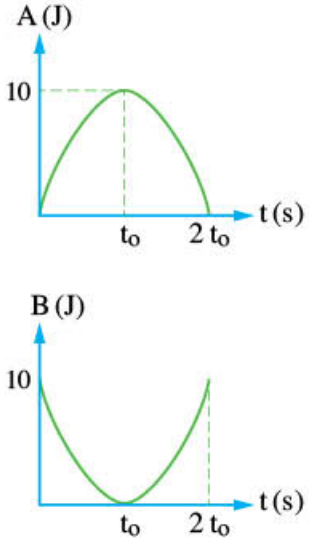
(أ) عندما يقطعا نفس الإزاحة تساوى .....

أ) $\frac{2}{3}$　　ب) $\frac{3}{2}$　　جـ) $\frac{4}{9}$　　د) $\frac{9}{4}$

(ب) خلال الفترة من 0 إلى t_o الممثلة بالشكل البيانى تساوى .....

أ) $\frac{2}{3}$　　ب) $\frac{3}{2}$　　جـ) $\frac{4}{9}$　　د) $\frac{9}{4}$

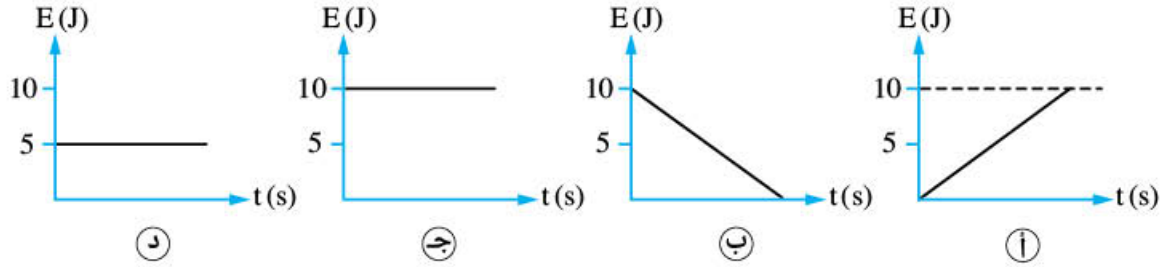
13. يوضح كل من الشكلين البيانيين المقابلين العلاقة بين أحد الكميات الفيزيائية لجسم مقذوف رأسيًا لأعلى والزمن (t) :



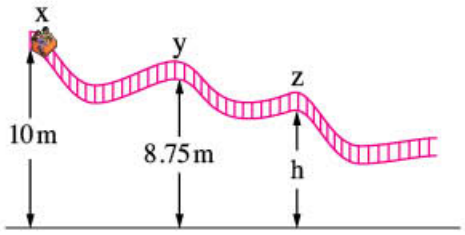
(أ) أى الاختيارات الآتية يمثل الكمية A والكمية B الممثلتين على المحور الرأسى فى الشكلين البيانيين ؟

	الكمية (A)	الكمية (B)
أ	طاقة الوضع	طاقة الحركة
ب	طاقة الحركة	طاقة الوضع
جـ	الطاقة الميكانيكية	طاقة الحركة
د	الطاقة الميكانيكية	طاقة الوضع

(ب) أى الأشكال البيانية التالية يمثل العلاقة بين الطاقة الميكانيكية (E) للجسم والزمن (t) ؟



14. فى الشكل المقابل جسم كتلته 1 kg يبدأ فى الانزلاق من السكون على منحنى أملس مبتدءًا من النقطة x : $(g = 10\ m/s^2)$



(أ) فإن سرعة الجسم عند النقطة y تساوى .....

أ 3 m/s ب 5 m/s

جـ 6 m/s د 6.5 m/s

(ب) إذا كانت سرعة الجسم عند النقطة z تساوى 7 m/s، فيكون ارتفاع النقطة z عن سطح الأرض يساوى .....

أ 8.45 m ب 7.55 m جـ 7.25 m د 6.85 m

15. جسمان A ، B لهما نفس الكتلة قُذفا من سطح الأرض رأسيًا لأعلى بسرعة v ، 2 v على الترتيب، فتكون النسبة بين الطاقة الميكانيكية التى اكتسبها كل منهما $(\frac{E_A}{E_B})$ هى .....

أ $\frac{4}{1}$ ب $\frac{1}{1}$ جـ $\frac{1}{2}$ د $\frac{1}{4}$

ثانيًا: أسئلة المقال

1. علل لما يأتى :

(أ) الشغل كمية قياسية.

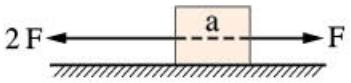
(ب) طاقة وضع الماء أعلى الشلال أكبر من طاقة وضعه عند قاع الشلال.

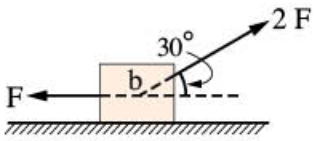
(جـ) عندما يحمل شخص حقيبة ويسير أفقيًا على سطح الأرض فإنه لا يبذل شغلًا على الحقيبة.

2. هل طاقة الحركة كمية فيزيائية متجهة أم قياسية ؟ ولماذا ؟

3. عندما تدفع حائطًا ثابتًا بقوة مقدارها 100 N ، هل تبذل شغلًا فيزيائيًا ؟ ولماذا ؟

4. فى الشكلين الموضحين جسمان a ، b موضوعان على سطح أفقى أملس، فإذا أثرت على كل منهما قوتان F ، 2 F فتحرك كل منهما إزاحة أفقية مقدارها d، أى الجسمين يُبذل عليه شغلًا أكبر بواسطة القوة المحصلة المؤثرة على كل منهما ؟





5. جسم كتلته 4 kg يسقط سقوطًا حرًا من ارتفاع 20 m فوق سطح الأرض، أكمل الفراغات الموجودة بالجدول التالى معتبرًا عجلة الجاذبية الأرضية $10\ m/s^2$ ومتغاضيًا عن مقاومة الهواء،

	إزاحة الجسم بالمتر من نقطة السقوط	طاقة الوضع بالجول	سرعة الجسم	طاقة الحركة بالجول	الطاقة الميكانيكية للجسم بالجول
أ	0	.....	.....	.....	.....
ب	.....	.....	5 m/s	.....	.....
جـ	.....	400 J	.....	.....	.....
د	.....	.....	.....	800 J	.....

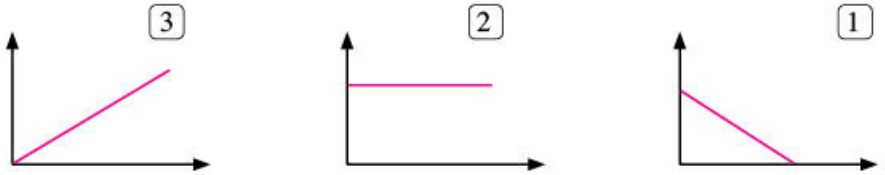
من النتائج التى توصلت إليها، حدد موضع النقطة أثناء السقوط التى تكون عندها :

(أ) الطاقة الميكانيكية للجسم مساوية لطاقة حركته.

(ب) الطاقة الميكانيكية للجسم مساوية لطاقة الوضع له.

(جـ) طاقة الحركة للجسم مساوية لطاقة الوضع.

6. قُذف جسم رأسيًا إلى أعلى حتى وصل إلى أقصى ارتفاع له، ولديك ثلاثة أشكال بيانية : [1] ، [2] ، [3] للتعبير عن العلاقة بين بعض الكميات الفيزيائية له.



حدد أيها يعبر عن العلاقة بين كل من :

(أ) طاقة الوضع للجسم (PE) وارتفاعه عن الأرض (h).

(ب) طاقة الحركة للجسم (KE) وارتفاعه عن الأرض (h).

(جـ) الطاقة الميكانيكية للجسم (E) وارتفاعه عن الأرض (h).

ثالثًا : التمارين

1. احسب الشغل المبذول عند دفع عربة مسافة أفقية 3.5 m بواسطة قوة مقدارها 20 N فى اتجاه حركة العربة. (70 J)

2. تؤثر قوة مقدارها 100 N على جسم. أوجد الشغل الذى تبذله هذه القوة إذا تحرك الجسم إزاحة مقدارها 2.5 m فى الحالات الآتية :

(أ) إذا كانت القوة فى نفس اتجاه حركة الجسم.

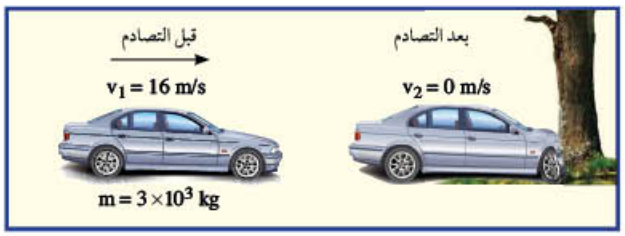
(ب) إذا كانت القوة تميل بزاوية 60° على اتجاه الحركة.

(جـ) إذا كانت القوة عمودية على اتجاه حركة الجسم. (250 J, 125 J, 0 J)

3. تدفع أم عربة طفلتها بسرعة ثابتة على طريق مستقيم أفقى بقوة تصنع مع الأفقى زاوية 60°، فإذا كانت العربة تتعرض لقوة احتكاك مقدارها 20 N، احسب الشغل المبذول بواسطة الأم على العربة لتقطع مسافة 5 m (100 J)

4. أوجد طاقة حركة سيارة كتلتها 2000 kg تسير بسرعة 60 km/h (2.78×10^5 J)

5. اصطدمت سيارة كتلتها 3×10^3 kg وسرعتها 16 m/s بشجرة، فلم تتحرك الشجرة وتوقفت السيارة، كما بالشكل التالى :



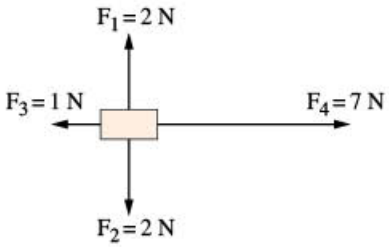
(أ) ما مقدار الشغل المبذول على الشجرة عندما ترتطم مقدمة السيارة بالشجرة ؟

(ب) ما مقدار التغير فى طاقة حركة السيارة ؟

(جـ) احسب متوسط القوة التى أثرت فى مقدمة السيارة لتتقوس للداخل مسافة 50 cm

(0 J, 3.84×10^5 J, 7.68×10^5 N)

6. يوضح الشكل منظر علوى لمقدار واتجاه كل من أربع قوى أفقية تؤثر على جسم موضوع على سطح أفقى، احسب التغير فى طاقة حركة الجسم أثناء إزاحته 4 m



(24 J)

7. تسلق رياضى وزنه 700 N جبلًا إلى ارتفاع 200 m من سطح الأرض، أوجد أقل شغل يمكن أن يبذله الرجل ضد الجاذبية ليصل إلى ذلك الارتفاع. $(1.4 \times 10^5$ J)

8. لديك صندوقان (أ) و (ب) وزن كل منهما 40 N و 60 N على الترتيب، الصندوق (أ) موضوع على الأرض، بينما الصندوق (ب) موضوع على ارتفاع 2 m فوق الأرض، ما الارتفاع الذى يرفع إليه الصندوق (أ) حتى يصبح له طاقة وضع الصندوق (ب) ؟ (3 m)

9. احسب كتلة جسم طاقة وضعه عند نقطة على ارتفاع 5 m من سطح الأرض تساوى 980 J
(علمًا بأن : عجلة الجاذبية الأرضية 9.8 m/s^2) (20 kg)

10. احسب الشغل المبذول لرفع جسم كتلته 50 kg من سطح الأرض لارتفاع 2.2 m ($g = 10$ m/s^2)

(1100 J)

11. قُذفت كرة كتلتها 0.5 kg رأسيًا لأعلى، فكانت سرعتها 3 m/s عند ارتفاع 4 m، فما مقدار الشغل المبذول لقذف الكرة إذا كانت عجلة الجاذبية الأرضية 10 m/s^2 (22.25 J)

12. قُذف جسم كتلته 0.2 kg رأسيًا لأعلى بسرعة 20 m/s، بإهمال مقاومة الهواء واعتبار أن عجلة الجاذبية الأرضية 10 m/s^2، احسب :

(أ) أقصى ارتفاع يصل إليه الجسم.

(ب) مقدار سرعة الجسم عند ارتفاع 10 m من سطح الأرض. (20 m, 14.14 m/s)

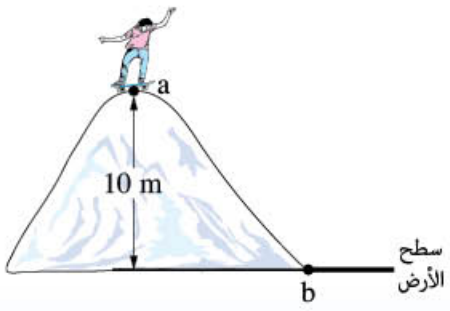
13. الشكل المقابل يوضح متزلج وزنه 500 N، فإذا كان المتزلج ساكن عند النقطة (a)، أوجد كل من :

(أ) طاقة وضع المتزلج عند النقطة a

(ب) طاقة وضع المتزلج عند النقطة b

(جـ) الطاقة الميكانيكية للمتزلج عند نقطة b

(5000 J, 0 J, 5000 J)



الوحـــــدة

الثانية

الموجـــــات

- **الفصل الثانى :** الحركة الموجية
- **الفصل الثالث :** الضوء

الفصل

الثانى

الحركة الموجية

نواتج التعلم المتوقعة

فى نهاية هذا الفصل تكون قادرًا على أن :

١- تشرح المقصود بالحركة الاهتزازية، وبعض الكميات الفيزيائية المرتبطة بها، مثل : الإزاحة، سعة الاهتزازة، الاهتزازة الكاملة، التردد، الزمن الدورى.

٢- تمثل إزاحة جسم مهتز بيانيًا.

٣- تتعرف الحركة التوافقية البسيطة مع ذكر أمثلة عليها.

٤- تذكر العلاقة الرياضية بين التردد والزمن الدورى.

٥- توضح متطلبات حدوث الموجات الميكانيكية.

٦-تقارن بين الموجات الكهرومغناطيسية والموجات الميكانيكية.

٧- تقارن بين الموجات المستعرضة والموجات الطولية.

٨- تذكر تعريفًا لبعض المفاهيم مثل : الحركة الموجية، تردد الموجة، الطول الموجى، سرعة الموجة.

٩- توضح العلاقة بين التردد والطول الموجى وسرعة انتشار الموجات.

١٠- تحل مسائل على العلاقة بين التردد والطول الموجى وسرعة الموجة.

مصطلحات الفصل

- الموجة Wave
- الموجات الميكانيكية Mechanical Waves
- الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Waves
- الحركة الاهتزازية Oscillatory Motion
- الإزاحة Displacement
- السعة Amplitude
- الاهتزازة الكاملة Complete Oscillation
- الزمن الدورى Periodic Time
- التردد Frequency
- الموجة الطولية Longitudinal Wave
- الموجة المستعرضة Transverse Wave
- الطول الموجى Wavelength

مقـــدمة

يجد بعضنا متعته فى مراقبة الموجات تتهادى فوق سطح الماء، تداعب عوامة صغيرة لشص (سنارة) يستخدم فى صيد السمك، أو تضرب بخفة قاربًا صغيرًا فيتأرجح القارب ويهتز، ويجد بعضنا الآخر متعته فى الجلوس على شاطئ بحيرة أو بركة يلقى فى الماء - من آن لآخر - حصاة صغيرة، فيكون تصادم كل حصاة مع سطح الماء بمثابة مصدر اضطراب ينتشر فوق سطح الماء على هيئة دوائر منتظمة، مركزها موضع سقوط تلك الحصاة شكل (1) وهو ما اصطلحنا على تسميته بالموجات. فما الموجة ؟ وما أنواعها ؟

الموجة : هى اضطراب ينتقل وينقل الطاقة.

شكل (1)
انتشار موجة على سطح الماء

ليست موجات الماء هى وحدها الموجات التى نألفها، فكثيرًا ما يطرق آذاننا كل صباح صوت المذيع، معلنًا: هنا القاهرة إذاعة القاهرة تحييكم وتبدأ إرسالها لكم على موجة متوسطة طولها 366.7 m مثلًا. وأيضًا التليفزيون ينقل الصوت والصورة، حيث تتحول إلى موجات تنتشر فى الهواء ويستقبلها الهوائى (الإيريال) فتتحول هذه الموجات إلى إشارات كهربية فى جهاز الاستقبال، حيث يتم تحويلها إلى صوت وصورة. كذلك فإن التليفون المحمول يتعامل مع موجات تنقل الصوت من المرسل إلى المُستقبل، حيث تتحول الذبذبات الصوتية إلى إشارات كهربية، ومنها إلى إشارات كهرومغناطيسية تنتشر فى الهواء أو الفراغ، ويستقبلها هوائى التليفون المحمول لدى المستقبل، فتتحول إلى إشارة كهربية ثم إلى صوت.

موجات الماء نراها، ولكن الموجات المستخدمة فى الراديو والتليفزيون والتليفون المحمول ندركها من آثارها، موجات الماء موجات ميكانيكية Mechanical Waves وكذلك موجات الصوت والموجات المنتشرة فى الأوتار أثناء اهتزازها، لكن الموجات التى يستقبلها هوائى الراديو والتليفزيون والتليفون المحمول تسمى موجات كهرومغناطيسية Electromagnetic Waves

من هذه الموجات الكهرومغناطيسية - أيضًا - موجات الضوء وموجات الأشعة السينية (X-rays) التى تستخدم فى التشخيص الطبى الإشعاعى وغيرها، والموجات الميكانيكية تتطلب وسطًا ماديًا تنتشر فيه، بينما الموجات الكهرومغناطيسية لا تتطلب ضرورة وجود مثل هذا الوسط إذ يمكنها الانتشار فى الفراغ.

الموجات الميكانيكية Mechanical Waves

تتطلب الموجات الميكانيكية وجود :

1. مصدر اهتزاز أو متذبذب.
2. نوع من الاضطراب ينتقل من المصدر إلى الوسط.
3. الوسط الذى يحمل الاهتزاز (الاضطراب).

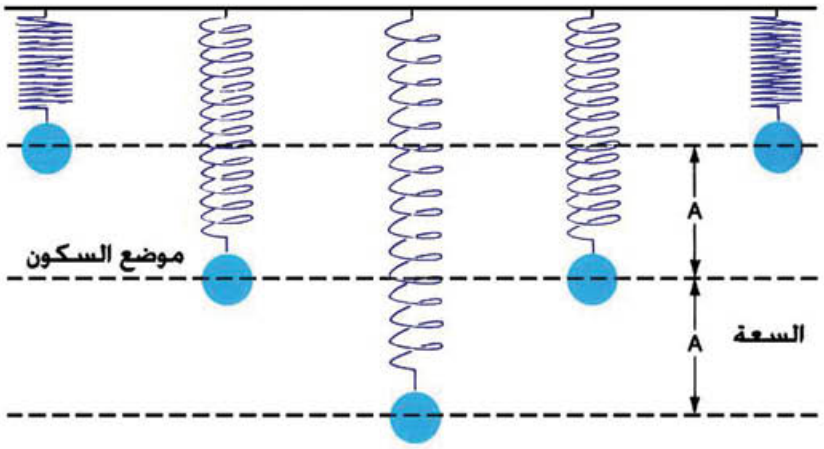
والمصادر المهتزة كثيرة ومتنوعة منها :

1. البندول البسيط المهتز، مثل بندول الساعة شكل (2).
2. الشوكة الرنانة المهتزة شكل (3).
3. الوتر المهتز شكل (4).
4. ثقل معلق فى ملف زنبركى أثناء اهتزازه وهو ما يعرف باليويو Yoyo شكل (5).

شكل (2)
بندول الساعة

شكل (3)
الشوكة الرنانة

شكل (4)
الوتر المهتز



شكل (5)

ثقل معلق فى ملف زنبركى (اليويو)

وترتبط بالحركة الاهتزازية بعض الكميات الفيزيائية الضرورية مثل :

الإزاحة Displacement (d) : هى بُعد الجسم المهتز فى أى لحظة عن موضع سكونه أو اتزانه الأصلى، وهى كمية متجهة، ووحدة قياسها المتر (meter).

سعة الاهتزازة Amplitude (A) : هى أقصى إزاحة للجسم المهتز عن موضع سكونه أو هى المسافة بين نقطتين فى مسار حركته تكون سرعته عند إحداهما أقصاها وعند الأخرى منعدمة، ووحدة قياسها المتر (meter).

الاهتزازة الكاملة Complete Oscillation : هى الحركة التى يعملها الجسم المهتز فى الفترة الزمنية التى تمضى بين مروره بنقطة واحدة فى مسار حركته مرتين متتاليتين و فى اتجاه واحد، أى يكون له نفس الطور Phase بالنسبة لنقطة بداية هذه الفترة.

التردد Frequency (υ) : هو عدد الاهتزازات الكاملة التى يحدثها الجسم المهتز فى الثانية الواحدة، ووحدة قياسه الهيرتز (Hz) وتكافئ (s^{-1})، ويمكن إيجاد تردد جسم مهتز من العلاقة :

$$\upsilon = \frac{N}{t} \quad (1)$$

حيث : (N) عدد الاهتزازات الكاملة التى يحدثها الجسم المهتز، (t) زمن حدوث هذه الاهتزازات.

الزمن الدورى Period (T) : هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز فى عمل اهتزازة كاملة ، أو هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز ليمر بنقطة واحدة فى مسار حركته مرتين متتاليتين فى اتجاه واحد، ووحدة قياسه الثانية (second)، والعلاقة بين الزمن الدورى والتردد هى :

$$\upsilon = \frac{1}{T} \quad (2)$$

تنمية التفكير الناقد

إذا قمت بإزاحة أرجوحة بعيدًا عن موضع اتزانها،

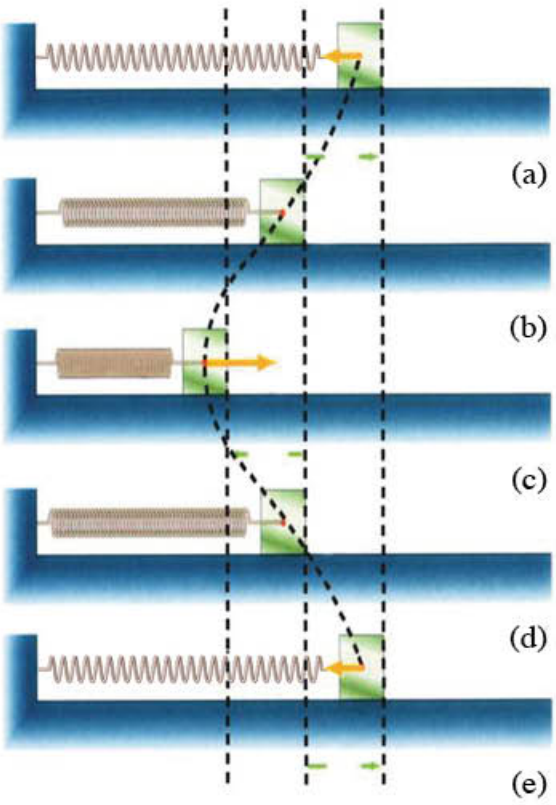
ثم تركتها لتتأرجح :

- ما تحولات الطاقة الحادثة خلال دورة كاملة ؟
- لماذا تتوقف الأرجوحة بعد فترة إذا لم تتدخل لدفعها ؟

شكل (6)

الحركة التوافقية البسيطة Simple Harmonic Motion

إذا تخيلنا ثقلاً موضوعًا فوق سطح أفقى أملس ومثبت فى أحد طرفى زنبرك طرفه الآخر مثبت فى حائط رأسى، ثم جذبنا الثقل فى اتجاه محور الزنبرك ليختزن طاقة وضع. عند ترك الثقل يتحرك حول موضع استقراره حركة ترددية نحو الحائط وبعيدًا عنه، فإذا رسمنا المنحنى الذى يتحرك بموجبه مركز ثقل الجسم عن وضع استقراره بالنسبة للزمن نحصل على منحنى بيانى هو منحنى الجيب Sine Wave شكل (7) وتُعرف مثل هذه الحركة بالحركة التوافقية البسيطة.



شكل (7)

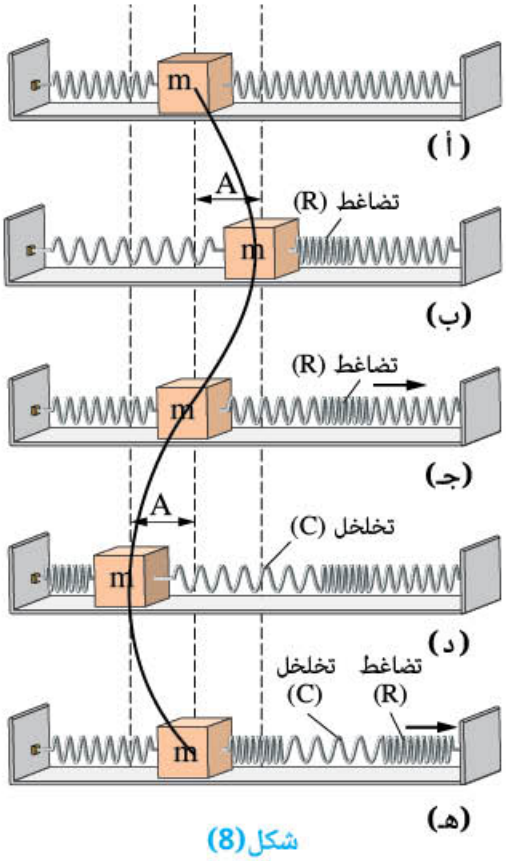
منحنى الجيب يمثل الحركة التوافقية البسيطة

المصدر المتذبذب الذى يصنع حركة توافقية بسيطة يمكن أن يولد موجة ميكانيكية تنتشر فى وسط ما بسرعة v، حيث يقوم كل جزء من أجزاء الوسط بدوره بحركة توافقية بسيطة حول موضع اتزانه.

ويمكن تصنيف الموجات الميكانيكية إلى موجات طولية وموجات مستعرضة.

أولًا الموجات الطولية Longitudinal Waves

- ضع ثقل (m) فوق سطح أفقى أملس مثبت من أحد جانبيه فى زنبرك طويل ومن الجانب الآخر فى زنبرك قصير وكل من الزنبركين مثبت فى حائط (شكل 8 أ).
- اجذب الثقل مسافة A جهة اليمين فينضغط جزء الزنبرك المجاور للثقل جهة اليمين مكونًا نبضة تضاغط (شكل 8 ب).
- اترك الثقل حرًا فيعود إلى موضع الاتزان الأصلى بتأثير القوة التى تولدت فى الزنبرك، بينما تنتقل نبضة التضاغط خلال الزنبرك جهة اليمين من الثقل (شكل 8 جـ).
- يتخطى الثقل موضع الاتزان الأصلى متحركًا جهة اليسار مكونًا تخلخلًا فى حلقات الزنبرك جهة اليمين (شكل 8 د).
- تتكرر حركة الثقل إلى اليمين وكذلك تنتقل نبضة التخلخل جهة اليمين (شكل 8 هـ).

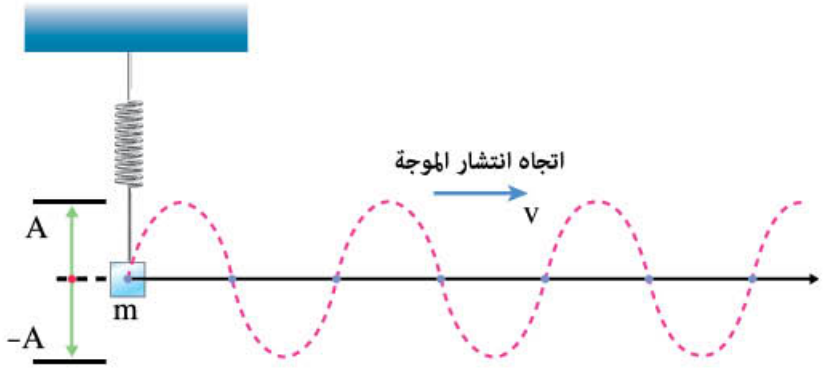


شكل (8)
موجة طولية

وتمثل هذه المجموعة من التضاغطات والتخلخلات موجة ناشئة عن تذبذب جسيمات الوسط (الذى يمثله هذا الزنبرك) فى حركة توافقية بسيطة، ولكن اتجاه انتشار الموجة هو نفسه اتجاه انتقال الاضطراب، وتسمى هذه الموجة بالموجة الطولية حيث تنتقل التضاغطات والتخلخلات على طول الزنبرك، ومثال على ذلك موجات الصوت الطولية التى تنتشر فى الهواء.

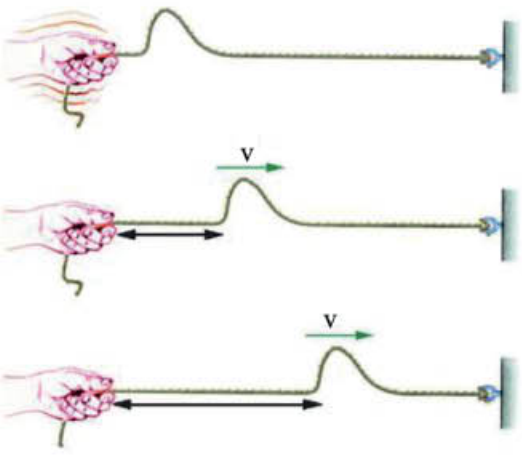
ثانيًا الموجات المستعرضة Transverse Waves

إذا تصورنا أن الكتلة m مثبتة فى زنبرك رأسى ومثبت بها طرف حبل طويل أفقى مشدود، و مثبت طرفه البعيد فى حائط رأسى، فعندما تقوم الكتلة m بعمل حركة توافقية بسيطة فى الاتجاه الرأسى، وتبعًا لذلك يقوم طرف الحبل المثبت بها بنفس الحركة وهذا يؤدى إلى تذبذب الأجزاء التى تلى هذا الجزء من الحبل بصورة متتابعة، جزء يلى الآخر، وهكذا تنتقل الحركة على طول الحبل على هيئة موجة فى اتجاه أفقى بسرعة v ، بينما تتحرك أجزاء الحبل حركة توافقية بسيطة فى اتجاه رأسى وهذه الموجة تسمى موجة مستعرضة شكل (9).



شكل (9)
موجة مستعرضة

ويمكنك إجراء مثل هذه التجربة بنفسك باستخدام حبل طويل مشدود ، مثبت أحد طرفيه (الطرف البعيد) بحائط رأسى، بينما طرفه الآخر مشدود بيدك، وعندما تحرك يدك رأسيًا لأعلى ولأسفل على شكل نبضة Pulse، تلاحظ انتشار موجة على شكل نبضة ، تنتشر على طول الحبل، وتسمى هذه الموجة موجة مرتحلة Travelling Wave شكل (10).



شكل (10)
نبضة مرتحلة

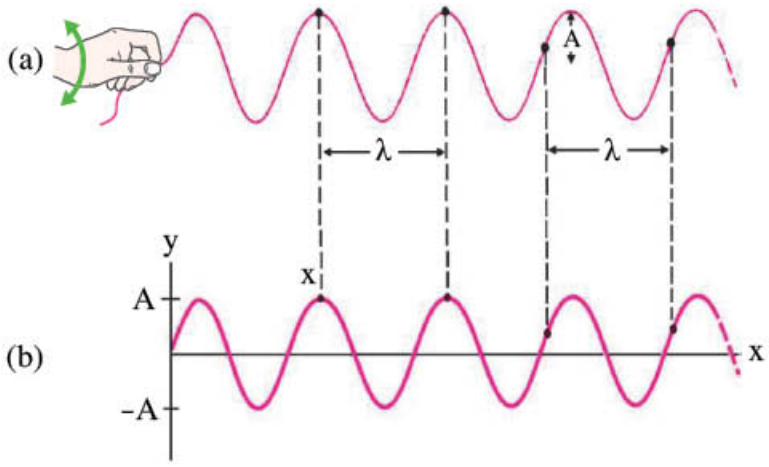
معلومة إثرائية (للاطلاع فقط)

يُعبر عن الموجات التى تنتقل فى اتجاه معين بالموجات المرتحلة تمييزًا لها عن الموجات الموقوفة التى تنتج عن تراكب موجتين متماثلتين مثل الموجة المنعكسة من الطرف المثبت للحبل والموجة الساقطة عليه، كما يحدث فى أوتار الآلات الموسيقية.

شكل (11)
موجة موقوفة

وبديهى أن الشغل الذى يبذله المصدر المهتز على الحبل ينتقل على هيئة طاقة وضع تتمثل فى شد الحبل، وطاقة حركة تتمثل فى اهتزاز الحبل وتسمى النقاط التى تمثل النهايات العظمى للإزاحة فى الاتجاه الموجب باسم القمم (مفردها قمة Crest) بينما تسمى النقاط التى تمثل النهايات العظمى للإزاحة فى الاتجاه السالب باسم القيعان (مفردها قاع Trough)، وبملاحظة أى جزء من أجزاء الحبل أثناء اهتزازه بدءًا من موضع اتزانه، نجد أنه يحدث قمة وقاعًا متتاليين خلال اهتزازة كاملة، أى أن الموجة المستعرضة تشتمل على قمم وقيعان متتالية.

وتكون هذه الموجة متواصلة (قطارًا من الموجات المرتحلة)، طالما ظلت الحركة التوافقية البسيطة مستمرة شكل (12)



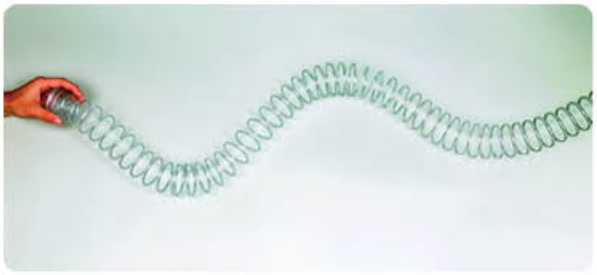
شكل (12)

قطار من الموجات ينتشر فى حبل مشدود نتيجة حركة توافقية بسيطة عند أحد طرفيه

وعند استبدال الحبل المشدود بملف زنبركى يمكن توليد موجة طولية شكل (13) أو مستعرضة شكل (14) وكما نرى، فإنه عندما يهتز المصدر تهتز جزيئات الوسط المحيط بنفس الكيفية، إذ ينتقل الاهتزاز – أولًا – من المصدر إلى جزيئات الوسط المجاورة له أو المتصلة به، ومنها إلى جزيئات الوسط التى تليها، وهكذا ينتشر هذا الاهتزاز أو هذا الاضطراب فى الوسط على هيئة حركة موجية، فالموجة كما سبق أن ذكرنا ما هى إلا اضطراب ينتقل وينقل الطاقة.

شكل (13)

موجة طولية فى ملف زنبركى



شكل (14)

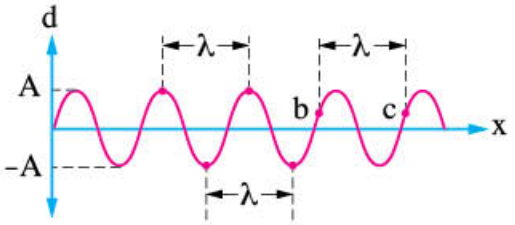
موجة مستعرضة فى ملف زنبركى

التمثيل البيانى للموجات الميكانيكية :

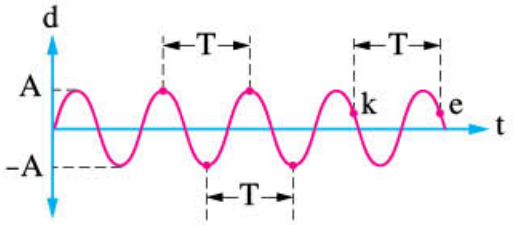
تمثل الموجة المستعرضة أو الطولية من خلال التمثيل البيانى للعلاقة بين :

(1) إزاحة جزيئات الوسط (d) عند لحظة معينة والمسافة (x) التى قطعتها الموجة شكل (15).

(2) إزاحة أحد جزيئات الوسط (d) والزمن (t) شكل (16).



شكل (15)



شكل (16)

أفكار لتنشيط الإبداع

ابحث فى شبكة الإنترنت عن استخدام الحيتان للموجات الميكانيكية فى التواصل فيما بينها فى الماء، وكيف تستفيد من تلك الموجات فى تحديد موقعها بالنسبة للأجسام من حولها فى أعماق المحيط ؟

شكل (17)

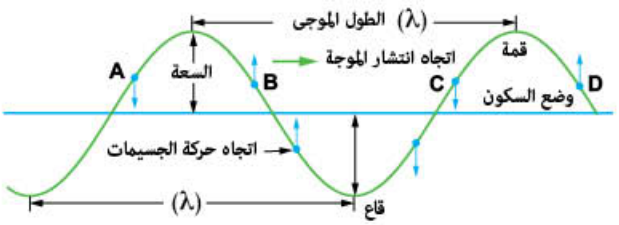
وهكذا تصنف الموجات الميكانيكية إلى نوعين، هما :

(1) **الموجات المستعرضة Transverse Waves :** هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها فى اتجاه عمودى على اتجاه انتشار الحركة الموجية.

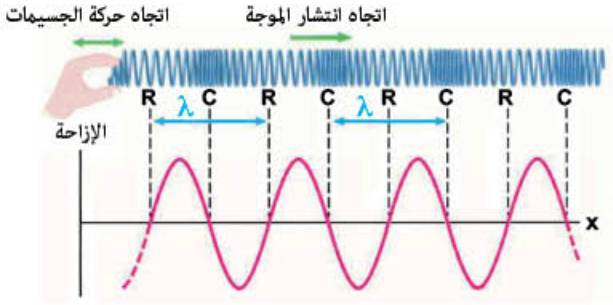
(2) **الموجات الطولية Longitudinal Waves :** هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها على نفس خط انتشار الحركة الموجية.

الطول الموجى Wavelength والتردد Frequency

يعبر عن المسافة بين أى قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين فى الموجة المستعرضة بالطول الموجى لها شكل (18)، كما يعبر عن المسافة بين مركزى أى تضاغطين متتاليين أو مركزى أى تخلخلين متتاليين فى الموجة الطولية بالطول الموجى لها شكل (19)



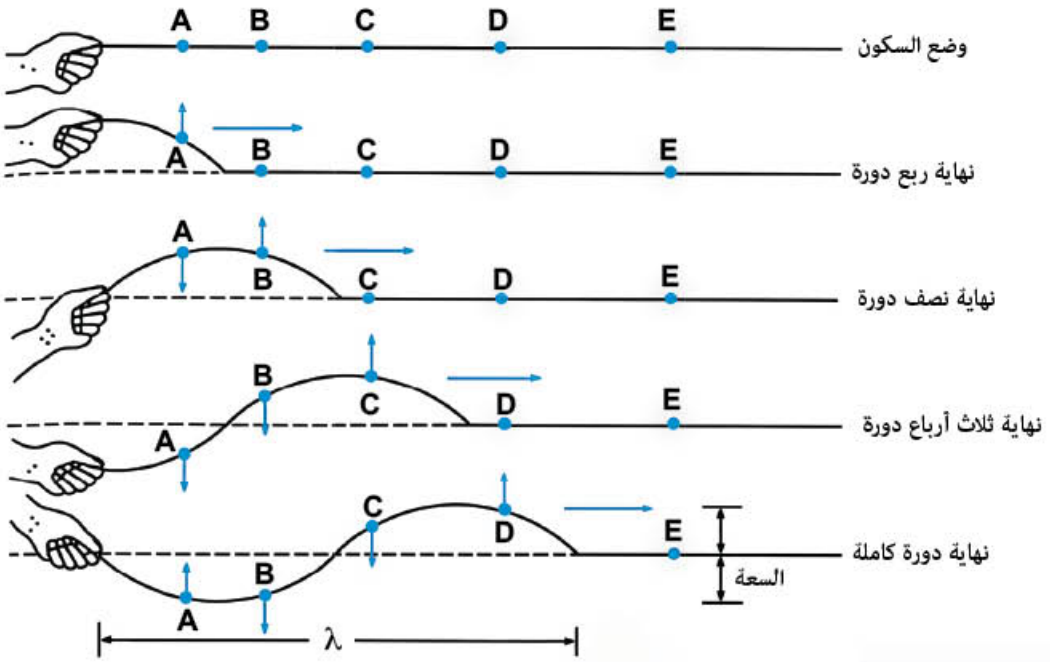
شكل (18)
الطول الموجى فى موجة مستعرضة



شكل (19)
الطول الموجى فى موجة طولية

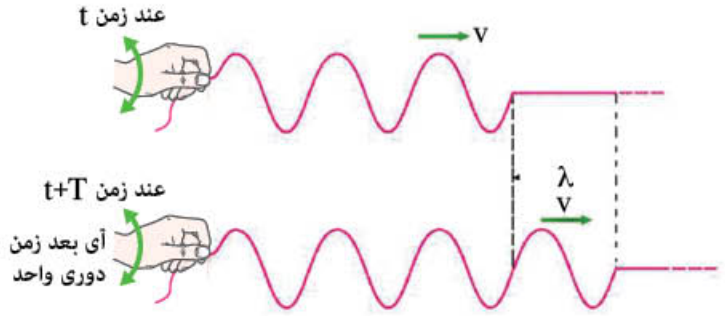
وعلى هذا، يمكن أن يُمثل الطول الموجى بإحدى المسافتين (AC) ، (BD) كما فى الشكل (18) ويلاحظ أن كل نقطتين متتاليتين (A ، C) ، (B ، D) تتحركان فى وقت واحد، بكيفية واحدة، وفى اتجاه واحد، يكون لهما نفس الطور Phase (أى لهما نفس الإزاحة والاتجاه)

∴ **الطول الموجى :** هو المسافة بين أى نقطتين متتاليتين لهما نفس الطور شكل (20)



شكل (20)
الطول الموجى هو المسافة بين نقطتين متتاليتين لهما نفس الطور

ويعرف الطول الموجى أيضًا بأنه المسافة التى تقطعها الموجة خلال زمن دورى واحد شكل (21)



شكل (21)

الطول الموجى يعادل المسافة التى تقطعها الموجة خلال زمن دورى واحد

ويطلق على عدد الموجات التى تمر بنقطة معينة فى مسار الحركة الموجية فى زمن قدره واحد ثانية اسم التردد.

العلاقة بين التردد والطول الموجى وسرعة انتشار الموجات

إذا انتقلت موجة بسرعة v من مكان إلى آخر يبعد مسافة تعادل الطول الموجى λ فإن الموجة تستغرق زمنًا قدره الزمن الدورى T

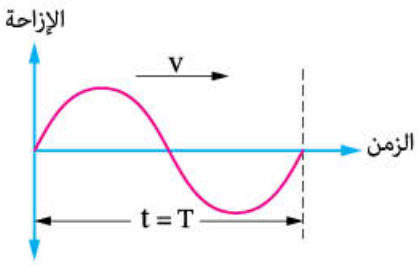
$$v = \frac{\lambda}{T}$$

ونظرًا لأن

$$T = \frac{1}{\upsilon} \quad \text{أو} \quad \upsilon = \frac{1}{T}$$

فإن

$$v = \lambda \upsilon \qquad (3)$$



شكل (22)

وهذه علاقة عامة لانتشار جميع أنواع الموجات سواء كانت قطارًا من موجات أو نبضة واحدة.

والتردد : هو عدد الاهتزازات للمصدر فى الثانية الواحدة، أو هو عدد الأطوال الموجية التى تقطعها الموجة المنتشرة فى اتجاه معين فى ثانية واحدة.

مثـال ١

إذا كان طول الموجة الصوتية التى يصدرها قطار ساكن 0.6 m وترددها 550 Hz، **فما** سرعة انتشار الموجات الصوتية فى الهواء ؟

الحـل

$v = \lambda \upsilon$ ، $v = 0.6 \times 550 = 330$ m/s

ماذا لو

كان تردد الموجة الصوتية الصادرة عن القطار أكبر،
هل يغير ذلك من سرعة انتشار الموجة فى الهواء ؟

مثال ٢

إذا كان عدد موجات الماء التى تمر بنقطة معينة فى زمن قدره واحد ثانية هو 12 موجة وكان طول الموجة الواحدة 0.1 m احسب سرعة انتشار الموجات.

الحل

$v = \lambda \upsilon$ ، $v = 12 \times 0.1 = 1.2$ m/s

مثال ٣

تنتشر موجات الضوء فى الفضاء بسرعة تساوى 3×10^8 m/s، فإذا كان طول موجة الضوء 5000 Å، فما تردد هذا الضوء ؟ (1 Angstrom (Å) $= 10^{-10}$ m)

الحل

$c = \lambda \upsilon$ ، $\lambda = 5 \times 10^3 \times 10^{-10} = 5 \times 10^{-7}$ m ، $v = c = 3 \times 10^8$ m/s

$\upsilon = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^{-7}} = 6 \times 10^{14}$ Hz ، $3 \times 10^8 = 5 \times 10^{-7} \times \upsilon$

تصورات غير صحيحة

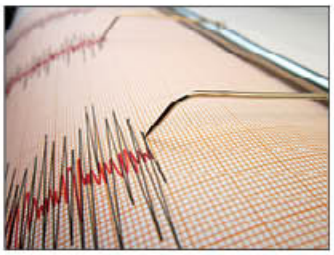
يعتقد البعض أن زيادة سرعة اهتزاز وتر كجسم مهتز تؤدى إلى زيادة سرعة النغمة الصوتية فى الهواء.

والصحيح أن زيادة سرعة اهتزاز الوتر كجسم مهتز تزيد من تردد النغمة الصوتية، ولا تؤثر على سرعة النغمة فى الهواء حيث تعتمد سرعة الموجة فى وسط على خصائص الوسط.

شكل (23)

أفكار لتنشيط الإبداع

- لماذا نشعر أحيانًا أن الأرض تهتز أسفل أقدامنا أثناء مرور قطار بسرعة بجوارنا ؟
- هل يساعد ذلك فى تفسير لماذا يشعر كثيرون بالزلزال بالرغم من بُعد مناطقهم عن مركز حدوثه ؟
- مستعينًا بشبكة الإنترنت، وضح كيف أن دراسة الموجات الميكانيكية تساعد فى الاستعداد للزلازل والحد من أثارها السلبية.



شكل (24)
السيزموجراف
(جهاز قياس الزلازل)

شكل (25)

تلخيص

أولًا : التعاريف والمفاهيم الأساسية

- الموجة : هى اضطراب ينتقل وينقل الطاقة.
- الإزاحة : هى بُعد الجسم المهتز فى أى لحظة عن موضع سكونه (أو اتزانه) الأصلى.
- سعة الاهتزازة (A) : هى أقصى إزاحة للجسم المهتز عن موضع سكونه أو هى المسافة بين نقطتين فى مسار حركة الجسم المهتز تكون سرعته عند إحداهما أقصاها وعند الأخرى منعدمة.
- الاهتزازة الكاملة : هى الحركة التى يعملها الجسم المهتز (مثل البندول البسيط) فى الفترة الزمنية التى تمضى بين مروره بنقطة معينة فى مسار حركته مرتين متتاليتين فى اتجاه واحد.
- التردد (υ) لجسم مهتز : هو عدد الاهتزازات الكاملة التى يحدثها الجسم المهتز فى الثانية الواحدة.
- التردد (υ) لموجة : هو عدد الموجات التى تمر بنقطة معينة فى مسار الحركة الموجية فى زمن قدره واحد ثانية.
- الزمن الدورى (T) : هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز فى عمل اهتزازة كاملة، أو هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز (مثل البندول البسيط) ليمر بنقطة معينة فى مسار حركته مرتين متتاليتين فى اتجاه واحد.
- هناك نوعان من الموجات :

(1) الموجات الكهرومغناطيسية : هى موجات تنتشر فى الأوساط المادية والفراغ، مثل موجات الراديو وموجات الضوء.

(2) الموجات الميكانيكية : هى موجات تنتشر فى الأوساط المادية فقط، مثل موجات الماء وموجات الصوت.

- الموجات الميكانيكية نوعان :

(1) الموجات المستعرضة : هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها، فى اتجاه عمودى على اتجاه انتشار الحركة الموجية، وتتكون من قمم وقيعان متتالية.

(2) الموجات الطولية : هى تلك الموجات التى تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها، على نفس خط انتشار الحركة الموجية، وتتكون من تضاغطات وتخلخلات متتالية.

- الطول الموجى : هو المسافة بين أى نقطتين متتاليتين فى اتجاه انتشار الموجة لهما نفس الطور (نفس الإزاحة ، ونفس الاتجاه)

ثانيًا : العلاقات الأساسية

- التردد : $\upsilon = \frac{N}{t}$
- الزمن الدورى : $T = \frac{t}{N} = \frac{1}{\upsilon}$
- سرعة انتشار الموجة : $v = \lambda \upsilon$

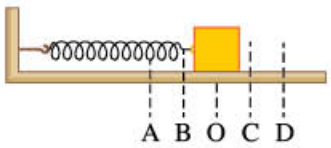
أسئلة وتمارين

أولًا: أكمل العبارات التالية

1. إزاحة الجسم المهتز هى .....
2. سعة الاهتزازة هى .....
3. الاهتزازة الكاملة هى .....
4. الزمن الدورى هو .....
5. تردد الموجة هو .....

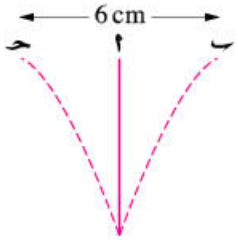
ثانيًا: اختر الإجابة الصحيحة

1. الشكل المقابل يمثل جسم متصل بزنبرك ويهتز بين النقطتين A، D، فإن أقل قيمة لطاقة وضع الجسم تكون عند .....



(أ) النقطة A أو النقطة D
(ب) النقطة O
(جـ) النقطة B
(د) النقطة C

2. فى الشكل المقابل، ساق مرنة مهتزة تستغرق زمنًا قدره 0.01 s لتتحرك من النقطة (أ) إلى النقطة (ب)، فإن :



(أ) الزمن الدورى لحركة الساق يساوى .....

(أ) 0.02 s
(ب) 0.04 s
(جـ) 0.06 s
(د) 0.08 s

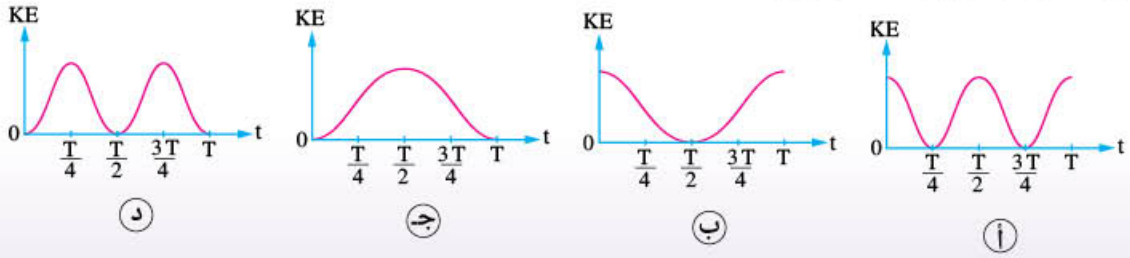
(ب) سعة اهتزاز طرف الساق تساوى .....

(أ) 3 cm
(ب) 6 cm
(جـ) 9 cm
(د) 12 cm

(جـ) مقدار السرعة المتوسطة لطرف الساق أثناء حركتها من النقطة (ب) إلى النقطة (حـ) يساوى .....

(أ) 600 cm/s
(ب) 300 cm/s
(جـ) 150 cm/s
(د) 75 cm/s

3. بندول بسيط يتحرك حركة توافقية بسيطة حيث يبدأ حركته من أقصى إزاحة له عن موضع اتزانه الأصلى عند t = 0 ويتم اهتزازة كاملة خلال زمن T، فأى الأشكال البيانية الآتية يمثل العلاقة بين طاقة حركة ثقل البندول (KE) والزمن (t) ؟



4. الموجات المستعرضة هى موجات تتكون من .....

(أ) تضاغطات وتخلخلات وتتحرك فيها جزيئات الوسط حول مواضع سكونها فى اتجاه عمودى على اتجاه انتشارها

(ب) قمم وقيعان وتتحرك فيها جزيئات الوسط حول مواضع سكونها على نفس خط انتشارها

(جـ) قمم وقيعان وتتحرك فيها جزيئات الوسط حول مواضع سكونها فى اتجاه عمودى على اتجاه انتشارها

(د) تضاغطات وتخلخلات وتتحرك فيها جزيئات الوسط حول مواضع سكونها على نفس خط انتشارها

5. العلاقة بين سرعة انتشار الموجات (v) فى وسط مادى وترددها (υ) ، وطولها الموجى (λ) هى .....

(أ) $v = \lambda \times \upsilon$ (ب) $v = \frac{\upsilon}{\lambda}$

(جـ) $v = \frac{\lambda}{\upsilon}$ (د) $v = (\lambda \times \upsilon)^2$

6. إذا كان طول الموجة الصوتية التى يصدرها مصدر صوتى هو 0.5 m وتردد النغمة 666 Hz تكون سرعة انتشار الصوت فى الهواء .....

(أ) 338 m/s (ب) 333 m/s

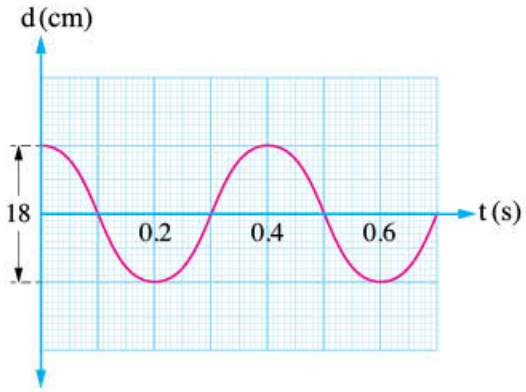
(جـ) 330 m/s (د) 346 m/s

7. تنتشر نغمة ترددها 225 Hz فى الهواء، إذا علمت أن سرعة الصوت فى الهواء 340 m/s ، فإن الطول الموجى للنغمة يساوى .....

(أ) 1.33 m (ب) 0.75 m

(جـ) 2 m (د) 1.51 m

8. الشكل البيانى المقابل يمثل العلاقة بين الإزاحة (d) لأحد جزيئات وسط تنتقل به موجة والزمن (t)، فإن :



(أ) سعة الموجة تساوى .....

(أ) 9 cm (ب) 17.5 cm

(جـ) 18 cm (د) 35 cm

(ب) تردد هذه الموجة يساوى .....

(أ) 1.7 Hz (ب) 2.5 Hz

(جـ) 3.3 Hz (د) 5 Hz

(جـ) الزمن الدورى للحركة الموجية يساوى .....

(أ) 0.4 s (ب) 0.6 s (جـ) 0.7 s (د) 0.8 s

9. ضوء طوله الموجى 6000 Å ينتشر فى الفضاء بسرعة 3×10^5 km/s، فيكون تردده هو .....

أ) 4×10^{10} Hz　　ب) 4×10^{14} Hz

جـ) 5×10^{14} Hz　　د) 5×10^{12} Hz

10. موجتان ترددهما 512 Hz ، 256 Hz تنتشران فى وسط معين ، تكون النسبة بين طوليهما الموجيين على الترتيب هى .....

أ) $\frac{2}{1}$　　ب) $\frac{1}{2}$

جـ) $\frac{3}{1}$　　د) $\frac{1}{3}$

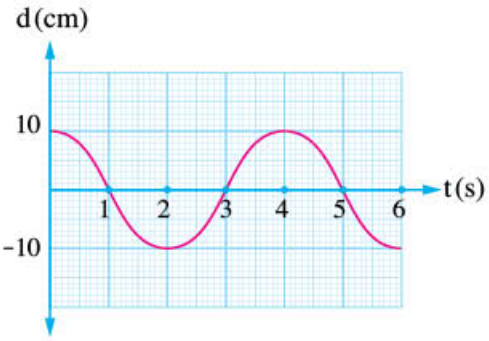
ثالثًا: أسئلة المقال

1. صف تحولات كل من طاقة الوضع وطاقة الحركة الحادثة للأرجوحة الموضحة بالشكل المقابل خلال اهتزازة كاملة بدءًا من موضع الاتزان.
2. استنتج العلاقة بين التردد والطول الموجى وسرعة انتشار الموجات.
3. عرِّف كل من :

(أ) الموجة.　　(ب) الموجة المستعرضة.

(جـ) الموجة الطولية.　　(د) طول الموجة.

رابعًا : التمارين



1. الشكل البيانى المقابل يمثل العلاقة بين الإزاحة (d) لجسم يتحرك حركة توافقية بسيطة والزمن (t)، احسب :

(أ) سعة اهتزازة الجسم.

(ب) الزمن الدورى لحركة الجسم.

(10 cm, 4 s)

2. إذا كانت المسافة بين القمة الثانية والقمة السابعة لموجة مستعرضة 20 m والزمن الذى يمضى بين مرور القمة الأولى والقمة الخامسة بنقطة ثابتة فى مسار حركة الموجة يساوى 0.1 s، احسب :

(أ) الطول الموجى للموجة.

(ب) سرعة انتشار الموجة.　　(4 m, 160 m/s)

3. أُلقى حجر فى بحيرة فتكون على سطح الماء 50 موجة دائرية بعد 5 ثوان من اصطدام الحجر بالماء وكان نصف قطر الدائرة الخارجية 2 m، احسب :

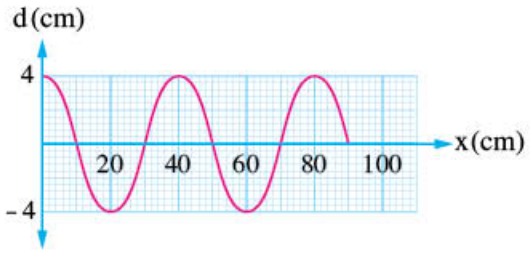
(أ) الطول الموجى للموجة الحادثة.

(ب) تردد الموجة.

(جـ) سرعة انتشار الموجة. (0.04 m, 10 Hz, 0.4 m/s)

4. محطـة إرسـال لاسلكى على الأرض ترسل موجات كهرومغناطيسية نحو قمر صناعى بسرعة 3×10^8 m/s، وبعد مضى 0.03 s استقبلت المحطة الموجات المنعكسة من القمر الصناعى، احسب المسافة بين محطة الإرسال والقمر الصناعى. $(4.5 \times 10^6$ m)

5. الشكل البيانى المقابل يمثل العلاقة بين الإزاحة (d) لجزيئـات وسـط تنتقـل بـه موجـة عنـد لحظـة معينة والمسافة (x) التى تقطعها الموجة فى اتجاه انتشارها، فإذا استغرق أحد جزيئات الوسط زمن t لتكون إزاحته 4 cm من موضـع اتزانـه، فمـا المسافـة التـى تقطعها الموجة خلال الزمن t ؟ (10 cm)



الفصـــل

الثالث

الضـــوء

نواتج التعلم المتوقعة

فى نهاية هذا الفصل تكون قادرًا على أن :

١- توضح الطبيعة الموجية للضوء.

٢- تطبق قانونا الانعكاس فى الضوء.

٣- تتحقق من قانونا الانكسار فى الضوء وتحل مسائل باستخدامهما.

٤- تتعرف العلاقة بين خصائص الضوء فى الوسط ومعامل الانكسار المطلق لوسط.

٥- تطبق قانون «سنل» للضوء.

٦- توضح ظاهرتى تداخل وحيود الضوء.

٧- توضح المقصود بالانعكاس الكلى والزاوية الحرجة.

٨- تناقش بعض تطبيقات الانعكاس الكلى.

٩- تحدد العوامل التى تؤثر على انحراف الضوء فى المنشور الثلاثى.

١٠- تعين مسار شعاع ضوئى خلال منشور ثلاثى وتستنتج قوانين المنشور عمليًا.

١١- تحدد شروط وضع النهاية الصغرى للانحراف فى المنشور الثلاثى.

مصطلحات الفصل

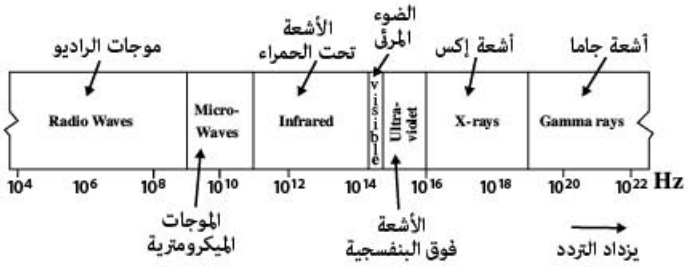
- الطيف الكهرومغناطيسى Electromagnetic Spectrum
- الانعكاس Reflection
- الانكسار Refraction
- قانون سنل Snell's Law
- التداخل Interference
- الحيود Diffraction
- الانعكاس الكلى Total Reflection
- الزاوية الحرجة Critical Angle
- الألياف الضوئية Optical Fibers
- السراب Mirage
- تفريق الضوء Dispersion of Light

مقـــدمة

الضوء جزء من مدى واسع من الموجات الكهرومغناطيسية تنتشر جميعها بسرعة ثابتة فى الفراغ قدرها 3×10^8 m/s، وتتباين فيما بينها فى التردد والطول الموجى، مكونة ما يسمى بالطيف الكهرومغناطيسى Electromagnetic Spectrum شكل (1).

فما الطيف الكهرومغناطيسى ؟ وما خصائصه ؟

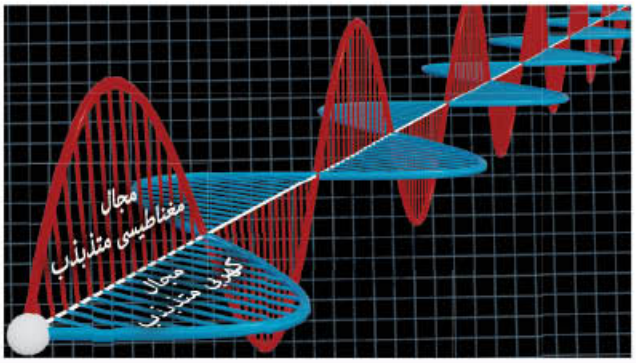
يشمل الطيف الكهرومغناطيسى موجات الراديو Radio Waves، والموجات الميكرومترية Microwaves، وموجات الأشعة تحت الحمراء Infrared، وموجات الضوء المنظور Visible Light، وموجات الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet، وموجات الأشعة السينية X-rays، وموجات أشعة جاما Gamma rays



شكل (1)

الطيف الكهرومغناطيسى

الموجة الكهرومغناطيسية تتكون من مجالين، أحدهما كهربى والآخر مغناطيسى يهتزان بتردد υ ومتفقان فى الطور ومتعامدان بعضهما على بعض من ناحية، ومتعامدان على اتجاه انتشارها من ناحية أخرى شكل (2) فهى بذلك موجة مستعرضة.



شكل (2)

الموجة الكهرومغناطيسية تتكون من مجال كهربى ومجال مغناطيسى متعامدان على بعضهما وعلى اتجاه انتشار الموجة

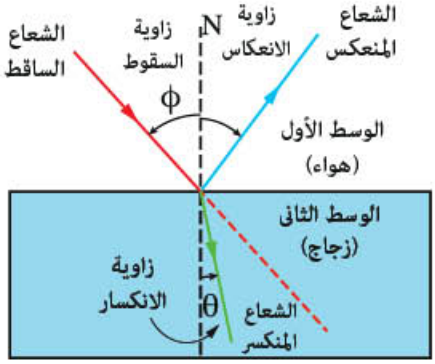
انعكاس الضوء وانكساره

ينتشر الضوء فى جميع الاتجاهات فى خطوط مستقيمة ما لم يصادفه وسط عائق، فإذا صادفه عائق فإنه يعانى انعكاسًا أو انكسارًا أو امتصاصًا بنسب مختلفة حسب طبيعة الوسط العائق.

عند سقوط شعاع ضوئى على سطح فاصل بين وسطين مختلفين فى الكثافة الضوئية فإن جزءًا من الضوء ينعكس، والجزء الآخر ينكسر مع إهمال الجزء الممتص.

ونلاحظ من الشكل المقابل ما يلى :

يقع كل من الشعاع الساقط والمنعكس والمنكسر والعمود المقام (N) على السطح الفاصل من نقطة السقوط فى مستوى واحد عمودى على السطح الفاصل.



شكل (3)
انعكاس وانكسار الضوء

• فى حالة الانعكاس :

زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

• فى حالة الانكسار :

النسبة بين جيب زاوية السقوط فى الوسط الأول إلى جيب زاوية الانكسار فى الوسط الثانى كالنسبة بين سرعة الضوء فى الوسط الأول إلى سرعة الضوء فى الوسط الثانى،

أى أن :
$$\frac{\sin\phi}{\sin\theta} = \frac{v_1}{v_2}$$

والنسبة $\left(\frac{v_1}{v_2}\right)$ هى نسبة ثابتة لهذين الوسطين ويطلق عليها اسم معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول إلى الوسط الثانى، ويرمز له بالرمز ${}_1n_2$

أى أن :
$$\frac{\sin\phi}{\sin\theta} = \frac{v_1}{v_2} = {}_1n_2 \qquad (1)$$

أفكار لتنشيط الإبداع

كيف يمكن استغلال خاصية انعكاس الموجات الكهرومغناطيسية ومنها الضوء فى الفضاء لدعم الاتصالات وتوليد الكهرباء على سطح الأرض ؟

شكل (4)
مرآة زانياما الفضائية

نتائج هامة

(1) تعد سرعة الضوء فى الفراغ من الثوابت الكونية وتساوى 3×10^8 m/s ، وسرعة الضوء فى الفراغ أكبر من سرعته فى أى وسط مادى، وإذا رمزنا لسرعة الضوء فى الفراغ بالرمز c، ولسرعة الضوء فى الوسط المادى بالرمز v فإن النسبة $\frac{c}{v}$ تسمى معامل الانكسار المطلق لهذا الوسط ويرمز له بالرمز n وقيمته دائمًا أكبر من الواحد الصحيح.

الوسط المادى	معامل الانكسار له n
الهواء	1.000293
الماء	1.33300
البنزين	1.50100
رابع كلوريد الكربون	1.46100
الكحول الإيثيلى	1.36100
الزجاج التاجى	1.52000
الزجاج الصخرى	1.66000
الكوارتز	1.48500
الماس	2.41900

«معاملات انكسار بعض المواد»

$$n = \frac{c}{v} \qquad (2)$$

(2) من العلاقة (2) يتضح أن :

$$v = \frac{c}{n}$$

أى أن :

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

ومنها يكون

$$_1n_2 = \frac{n_2}{n_1} \qquad (3)$$

وبالتعويض من (3) فى (1)

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \phi}{\sin \theta}$$

أى أن :

$$n_1 \sin \phi = n_2 \sin \theta \qquad (4)$$

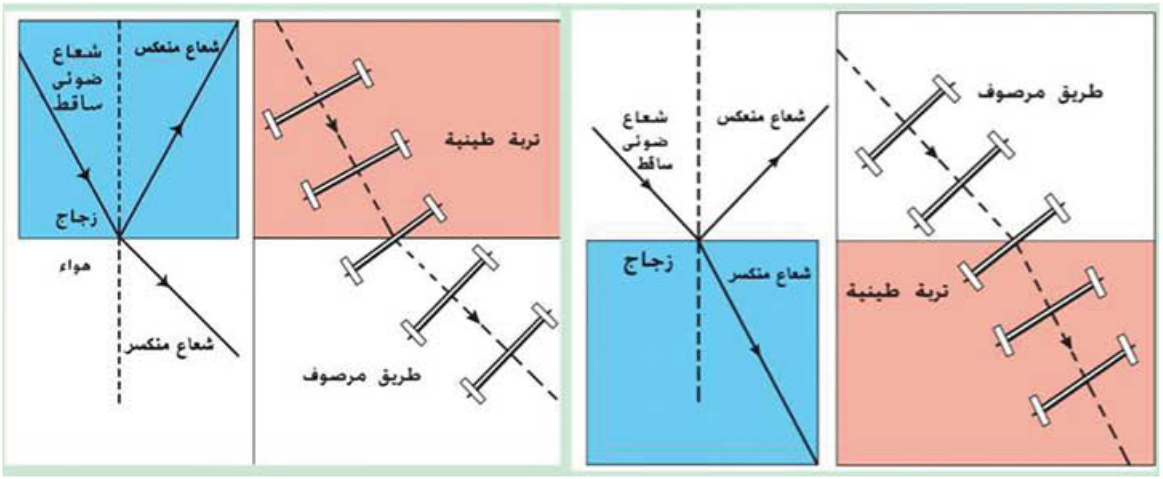
وهذا ما يعرف بقانون سنل Snell's Law

أى أن : حاصل ضرب معامل الانكسار المطلق لوسط السقوط فى جيب زاوية السقوط يساوى حاصل ضرب معامل الانكسار المطلق لوسط الانكسار فى جيب زاوية الانكسار.

(3) يمكن استخدام الانكسار فى تحليل حزمة ضوئية إلى مكوناتها ذات الأطوال الموجية المختلفة حيث يختلف معامل الانكسار المطلق للوسط الواحد تبعًا للطول الموجى للطيف المار خلاله، وبذلك يتشتت الضوء الأبيض إلى مكوناته (أطيافه)، ويمكن ملاحظة ذلك فى ظهور قوس القزح بعد هطول الأمطار.

تفسير الانكسار :

إذا سقط الضوء من وسط أقل كثافة ضوئية إلى وسط أعلى كثافة ضوئية اقترب الشعاع المنكسر من العمود ويماثل ذلك عربة تدخل إحدى عجلاتها فى منطقة طينية تبطئها ، بينما العجلة الأخرى تكون فى طريق مرصوف فتكون أسرع، فيحدث انحناء فى المسار شكل (5)، والعكس حين ينتقل الضوء من منطقة أعلى فى الكثافة الضوئية إلى منطقة أقل فى الكثافة الضوئية فإنه ينكسر مبتعدًا عن العمود شكل (6).



شكل (5)
انكسار من وسط أقل كثافة ضوئية إلى وسط أكبر كثافة ضوئية

شكل (6)
انكسار من وسط أكبر كثافة ضوئية إلى وسط أقل كثافة ضوئية

مثـال ١

إذا سقط شعاع ضوئى من الهواء على سطح لوح زجاجى معامل انكساره 1.5 بزاوية سقوط 30°، **فاحسب** زاوية الانكسار.

الحـل

بصفة عامة فى جميع المسائل الواردة بهذا المحتوى الدراسى يعتبر معامل الانكسار المطلق للهواء يساوى 1

$$\because n = \frac{\sin \phi}{\sin \theta} \qquad \therefore 1.5 = \frac{\sin 30}{\sin \theta}$$

$$\therefore \sin \theta = \frac{0.5}{1.5} = 0.333 \quad , \quad \therefore \theta = 19.5^{\circ}$$

ماذا لو

زادت زاوية سقوط الشعاع إلى 60°،
ما أثر ذلك على معامل انكسار الزجاج وزاوية انكسار الشعاع ؟

مثـال ٢

إذا كان معامل الانكسار المطلق للماء $\frac{4}{3}$ ومعامل الانكسار المطلق للزجاج $\frac{3}{2}$

فأوجد :

(أ) معامل الانكسار النسبى من الماء إلى الزجاج.

(ب) معامل الانكسار النسبى من الزجاج إلى الماء.

الحـل

(أ) معامل الانكسار النسبى من الماء إلى الزجاج :

$$_1n_2 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{3}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{8}$$

(ب) معامل الانكسار النسبى من الزجاج إلى الماء :

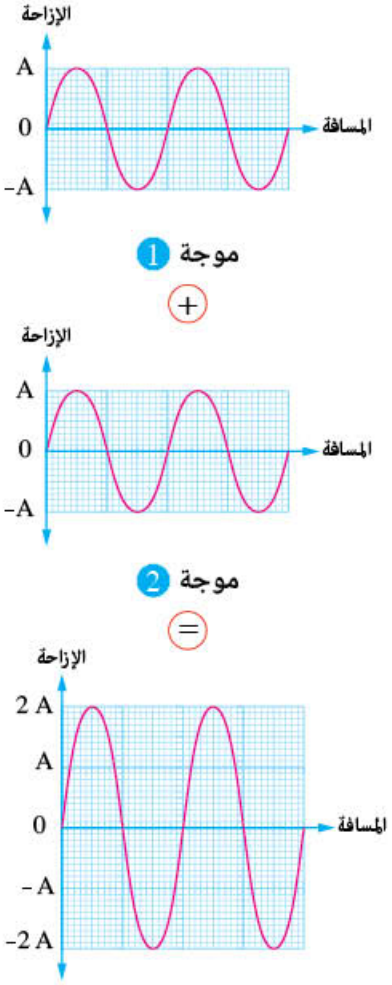
$$_2n_1 = \frac{n_1}{n_2} = \frac{4}{3} \times \frac{2}{3} = \frac{8}{9}$$

ومن هذا المثال نتبين أن : $_1n_2 = \frac{1}{_2n_1}$، وهى نتيجة هامة.

تداخل الضوء Light Interference

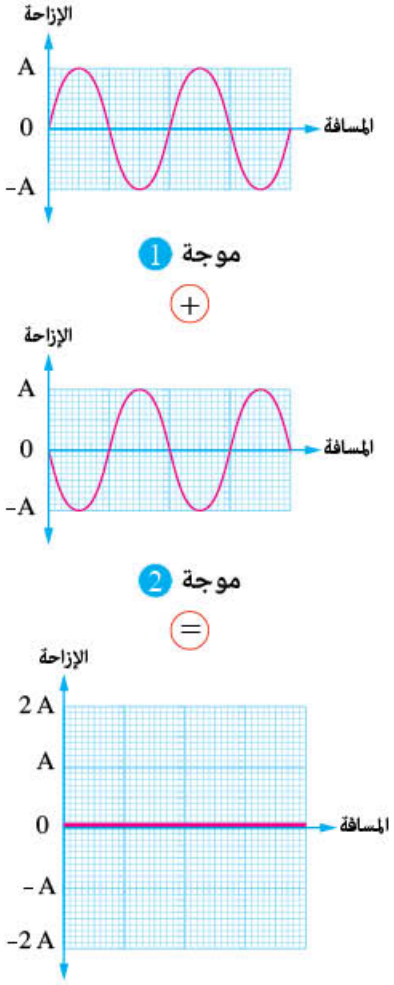
تتميز الموجات بقدرتها على التداخل، فمثلاً عند تقابل موجتان لهما نفس التردد والسعة وتنتشران فى اتجاه واحد، مثل موجتان صادرتان عن مصدرين مترابطين (مصادر يصدر عنها موجات متماثلة لها نفس الطور) فإنهما تتراكبان **وينتج عن ذلك :**

1. **تقوية** لشدة الموجتين عند بعض المواضع **نتيجة** تقابل قمة من إحدى الموجتين مع قمة من الموجة الأخرى، أو قاع من إحدى الموجتين مع قاع من الموجة الأخرى ويسمى ذلك **تداخل بناء** شكل (7).
2. **انعدام** لشدة الموجتين عند مواضع أخرى **نتيجة** تقابل قمة من إحدى الموجتين مع قاع من الموجة الأخرى ويسمى ذلك **تداخل هدام** شكل (8).



محصلة التداخل البناء

شكل (7)

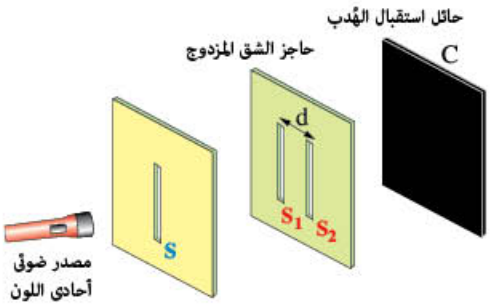


محصلة التداخل الهدام

شكل (8)

أجرى توماس يونج Young تجربة لدراسة ظاهرة التداخل فى الضوء فيما يعرف باسم تجربة الشق المزدوج Double - Slit Experiment، وهى موضحة بالشكل (9). فى هذا الشكل مصدر ضوئى أحادى اللون Monochromatic Source، أى أن للطول الموجى λ قيمة واحدة ثابتة، ويقع على بُعد مناسب من حاجز به فتحة مستطيلة ضيقة S تمر خلالها موجات أسطوانية نحو حاجز به فتحتان مستطيلتان ضيقتان S_1 , S_2 تعملان كشق مزدوج، ويضبط الحاجز ذو الشق المزدوج بحيث تقع الفتحتان S_1 , S_2 على نفس صدر الموجة الأسطوانية، لذلك يكون للموجات التى تصدر عنهما نفس الطور، حيث تسلك الفتحتان المستطيلتان سلوك المصادر المترابطة، وهى تلك المصادر التى تكون موجاتها متساوية التردد والسعة ولها نفس الطور.

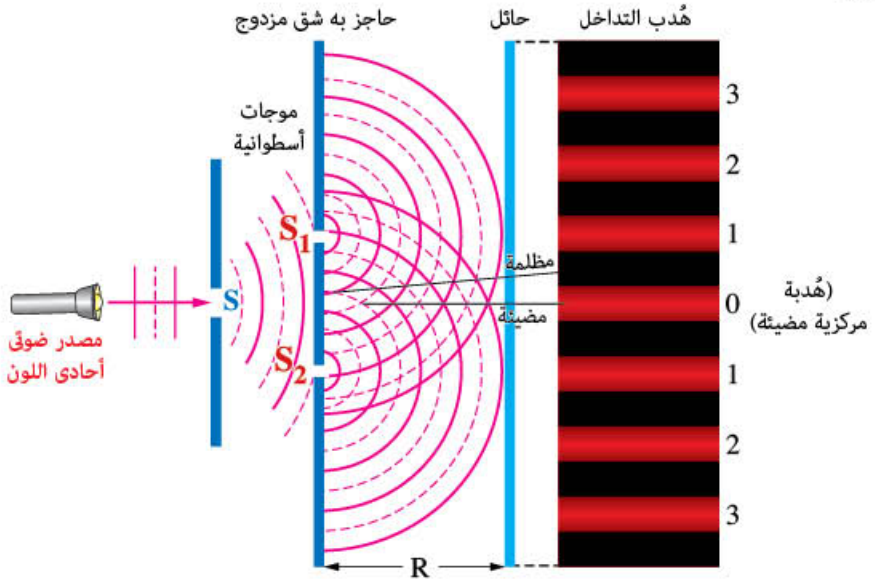
وعلى الحائل C تتراكب موجات الحركتين الموجيتين القادمتين إليه من S_1 , S_2



شكل (9)

تجربة يونج قبل تشغيل المصدر الضوئى

ونتيجة لهذا التراكب تظهر مناطق مضيئة تتخللها أخرى مظلمة تعرف باسم هُدب التداخل Interference Fringes، كما فى الشكل (10)،



شكل (10)
رسم تخطيطى لتجربة يونج

تتعين المسافة بين مركزى أى هُدبتين متتاليتين Δy من نفس النوع من العلاقة :

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d} \qquad (5)$$

حيث : λ طول موجة الضوء أحادى اللون المستخدم،

R المسافة بين الشق المزدوج والحائل المُعد لاستقبال الهُدب،

و d المسافة بين S_1 , S_2،

لذلك تستخدم هذه التجربة لتعيين الطول الموجى لأى ضوء أحادى اللون.

مثـال

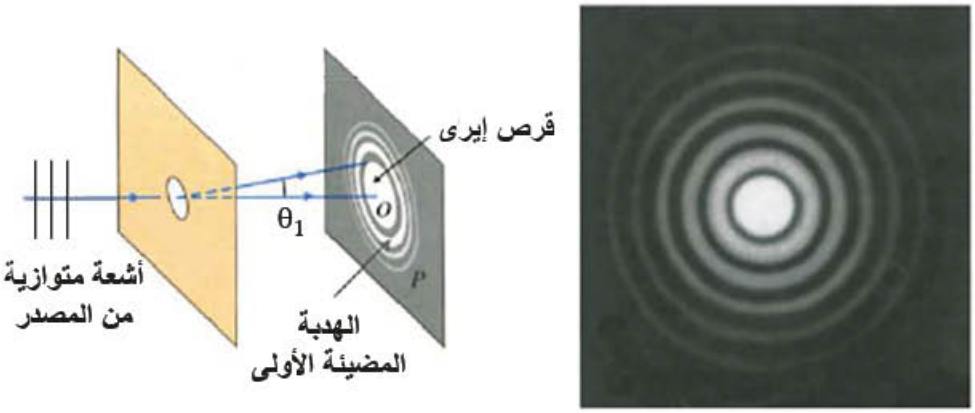
فى تجربة الشق المزدوج، إذا كانت المسافة بين الفتحتين المستطيلتين الضيقتين 1.5×10^{-4} m، وكانت المسافة بين الشق والحائل المُعد لاستقبال الهُدب 0.75 m، وكانت المسافة بين مركزى هُدبتين مضيئتين متتاليتين هى 3 mm، احسب الطول الموجى للضوء الأحادى اللون المستخدم بالأنجستروم.

الحـل

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d} \quad , \quad 3 \times 10^{-3} = \frac{0.75 \times \lambda}{1.5 \times 10^{-4}}$$

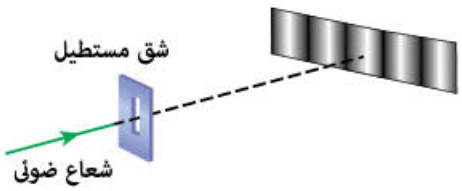
$$\lambda = \frac{1.5 \times 10^{-4} \times 3 \times 10^{-3}}{0.75} = 6 \times 10^{-7} \text{ m} \quad , \quad \lambda = 6 \times 10^{-7} \times 10^{10} = 6000 \text{ Å}$$

يتغير اتجاه انتشار الموجات (تحيد عن اتجاهها) عند سقوطها على فتحة ضيقة أو حافة حادة أو مدببة، فمثلًا عندما يسقط ضوء أحادى اللون على فتحة دائرية فى حاجز، فإننا نتوقع تبعًا لمعلوماتنا عن انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة أن تتكون على الحائل الموضح فى الشكل بقعة دائرية مضيئة محددة، لكن دراسة البقعة المضيئة عن قرب، أى دراسة توزيع الإضاءة على الحائل تظهر وجود هُدب مضيئة وأخرى مظلمة كما فى الشكل (11)، وتسمى الهدبة المضيئة المركزية بقرص إيرى Airy's Disk

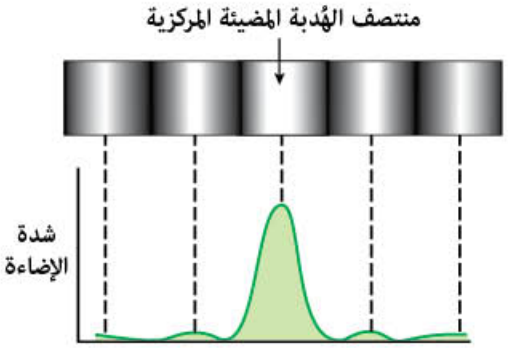


شكل (11)
الحيود خلال فتحة دائرية

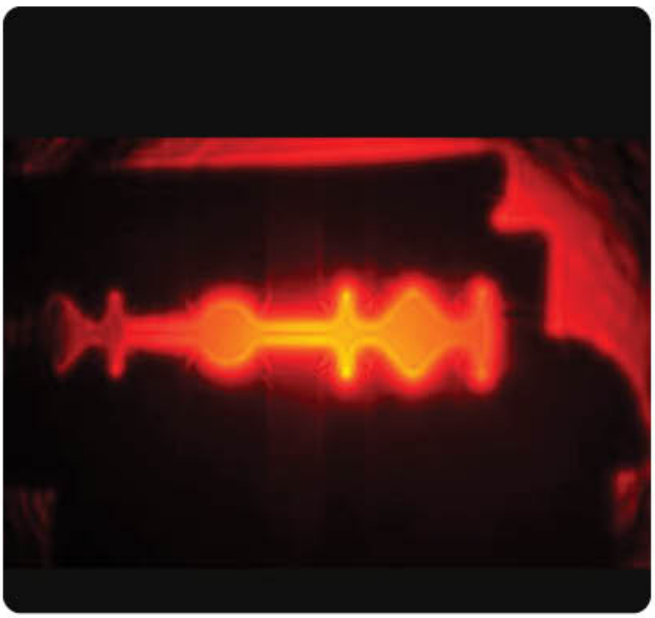
ويوضح الشكل (12) الحيود خلال فتحة مستطيلة، وبصفة عامة يظهر الحيود بوضوح إذا كان الطول الموجى مقاربًا لأبعاد فتحة العائق والعكس صحيح.



شكل (12)
الحيود خلال فتحة مستطيلة



شكل (13)
توزيع شدة الإضاءة على الحائل مع تتابع الهُدب الناشئة من الحيود خلال فتحة مستطيلة



شكل (14)
حيود الضوء على حافة حادة

وجدير بالذكر إنه لا يوجد فرق جوهرى بين نموذجى التداخل والحيود ، فكل منهما ينشأ من تراكب موجات.

الضوء حركة موجية

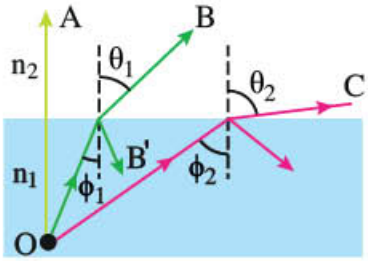
يتضح لنا من الفقرات السابقة أن الضوء :

1. ينتشر فى خطوط مستقيمة.
2. ينعكس عندما يقابل سطح عاكس وفقًا لقانونى الانعكاس.
3. ينكسر عندما يقابل سطح فاصل بين وسطين شفافين وفقًا لقانونى الانكسار.
4. يتداخل الضوء وينشأ عن التداخل تقوية فى شدة الضوء عند بعض المواضع (هُدب مضيئة) وانعدام فى شدة الضوء عند بعض المواضع الأخرى (هُدب مظلمة).
5. يحيد الضوء عن مساره عند مروره خلال فتحة أبعادها مقاربة للطول الموجى للضوء أو حافة حادة أو مدببة.

وهذه هى نفس الخصائص العامة للموجات، وبالتالى يكون انتشار الضوء على هيئة حركة موجية.

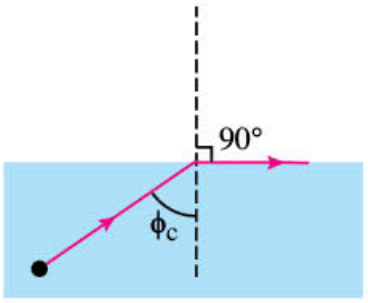
الانعكاس الكلى والزاوية الحرجة

عندما ينتقل شعاع ضوئى من وسط أكبر كثافة ضوئية كالماء (أو الزجاج) إلى وسط أقل كثافة ضوئية كالهواء، فإن الشعاع المنكسر يبتعد عن العمود كما يوضحه مسار الشعاع (B) فى الشكل (15)، ومع زيادة قيمة زاوية السقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية (معامل انكساره المطلق كبير) تزداد قيمة زاوية الانكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية (معامل انكساره المطلق صغير)، كما يوضحه مسار الشعاع (C) فى الشكل (15)،



شكل (15)

وعندما تبلغ زاوية السقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية قيمة معينة ϕ_c، عندها تبلغ زاوية الانكسار فى الوسط الأقل كثافة أكبر قيمة لها وتساوى 90°، وعندها يخرج الشعاع المنكسر منطبقًا على السطح الفاصل،وتسمى زاوية السقوط فى هذه الحالة الزاوية الحرجة ϕ_c، وهى زاوية سقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية تقابلها زاوية انكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية تساوى 90°



شكل (16)

بتطبيق قانون سنل فى هذه الحالة : $n_1 \sin \phi_c = n_2 \sin 90$

ومنها

$$\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1} = {}_1n_2 \qquad (6)$$

حيث : n_1 معامل انكسار الوسط الأكبر كثافة ضوئية، n_2 معامل انكسار الوسط الأقل كثافة ضوئية، ϕ_c الزاوية الحرجة بين الوسطين.

وعندما يكون الوسط الأقل كثافة ضوئية هو الهواء يكون $n_2 = 1$، وعندئذ تكتب العلاقة السابقة على الصورة :

$$\sin \phi_c = \frac{1}{n_1} \qquad (7)$$

حيث : ϕ_c تمثل الزاوية الحرجة للوسط الأكبر كثافة ضوئية، و n_1 معامل الانكسار المطلق له،

وبذلك يمكن حساب معامل انكسار الوسط بمعرفة الزاوية الحرجة له، وإذا زادت قيمة زاوية السقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية عن الزاوية الحرجة فإن الشعاع الضوئى لا ينفذ إلى الوسط الثانى الأقل كثافة ضوئية، وإنما ينعكس انعكاسًا كليًا فى نفس الوسط، على خلاف أى زاوية سقوط أخرى أقل من الزاوية الحرجة ، حيث ينفذ جزء من الضوء وينعكس جزء آخر كما فى شكل (17).

شكل (17)
الانعكاس الكلى

مثـال

إذا كان معاملا انكسار الزجاج والماء هما 1.6 و 1.33 على الترتيب، **فاحسب :**

(أ) الزاوية الحرجة للزجاج. (ب) الزاوية الحرجة للماء.

(جـ) الزاوية الحرجة بين الزجاج والماء.

الحـل

(أ) $\sin \phi_c = \frac{1}{n_1} = \frac{1}{1.6} = 0.625$

ومنها : $\phi_c = 38.68°$

(ب) $\sin \phi_c = \frac{1}{n_2} = \frac{1}{1.33} = 0.7519$

ومنها : $\phi_c = 48.76°$

(جـ) $\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1.33}{1.6} = 0.8313$

ومنها : $\phi_c = 56.23°$

ماذا لو

سقط شعاع ضوئى بزاوية سقوط 57° من الماء على الزجاج،
هل يحدث للشعاع انعكاس كلى ؟

تطبيقات الانعكاس الكلى

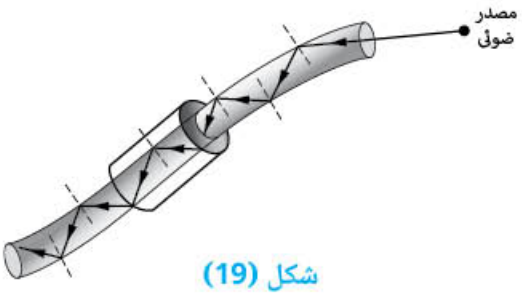
1 الألياف الضوئية (البصرية) Fiber Optics (Optical Fibers)

إذا كان لدينا أنبوبة مجوفة، ونظرنا من أحد طرفيها لنرى جسمًا مضيئًا فى الطرف الآخر، فإنه يمكن رؤيته. أما إذا حدث انثناء للأنبوبة المجوفة، فلا يمكن رؤية الجسم المضىء.

فكيف يمكن رؤيته فى هذه الحالة ؟ بافتراض أننا وضعنا مرايا عاكسة عند مواضع ارتطام الشعاع الضوئى بجدار الأنبوبة الداخلى فإننا نستطيع فى هذه الحالة رؤية الجسم المضىء. وبالمثل يمكن استخدام الألياف الضوئية عند سقوط شعاع ضوئى بزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة فإنه يحدث انعكاسات كلية ليخرج الشعاع بكامل طاقته من الطرف الآخر رغم انثناء هذه الألياف.

شكل (18)
ألياف ضوئية

الليفة الضوئية هى قضيب مصمت رفيع من مادة شفافة. إذا دخل الضوء من أحد طرفيها ليسقط على جدارها الداخلى بزوايا سقوط أكبر من الزاوية الحرجة فإنه يعانى انعكاسات كلية متتالية حتى يخرج من طرفها الآخر شكل (19).



شكل (19)

ويوضح الشكل (20) حزمة مكونة من الآف الألياف معًا ومرنة بحيث تكون قابلة للانثناء فتصل إلى أماكن يصعب الوصول إليها ويمكن استخدامها فى نقل الضوء بدون فقد يذكر فى شدته.

شكل (20)

وتلقى الألياف الضوئية الآن اهتمامًا كبيرًا، فالألياف الضوئية أو البصرية تستخدم الآن فى الفحوص الطبية مثل المناظير الطبية Endoscopes شكل (21) والتى تستخدم فى التشخيص كما تستخدم فى إجراء العمليات الجراحية باستخدام شعاع الليزر، كما تستخدم الألياف الضوئية والليزر فى الاتصالات عن طريق تحويل الإشارات الكهربية إلى ومضات ضوئية يمكن نقلها بكفاءة عالية خلال كابل من الألياف الضوئية.

شكل (21)
إجراء عمليات جراحية
باستخدام المناظير الطبية

أفكار لتنشيط الإبداع

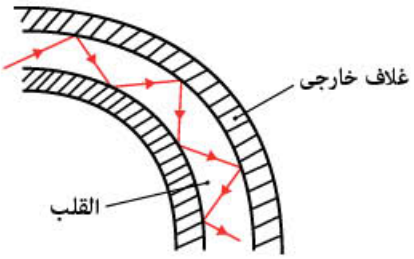
إلى جانب استخدام الألياف الضوئية فى مجالى الاتصالات والطب، هل يمكن أن تستخدم الألياف البصرية فى مجالات أخرى ؟

شكل (22)

معلومة إثرائية (للاطلاع فقط)

أثناء انتقال الضوء داخل الليفة الضوئية قد تسقط الأشعة الضوئية على جدار الليفة بزاوية سقوط أقل من الزاوية الحرجة، فتنكسر وتتسرب خارج الليفة، مما يقلل كفاءة نقل الضوء.

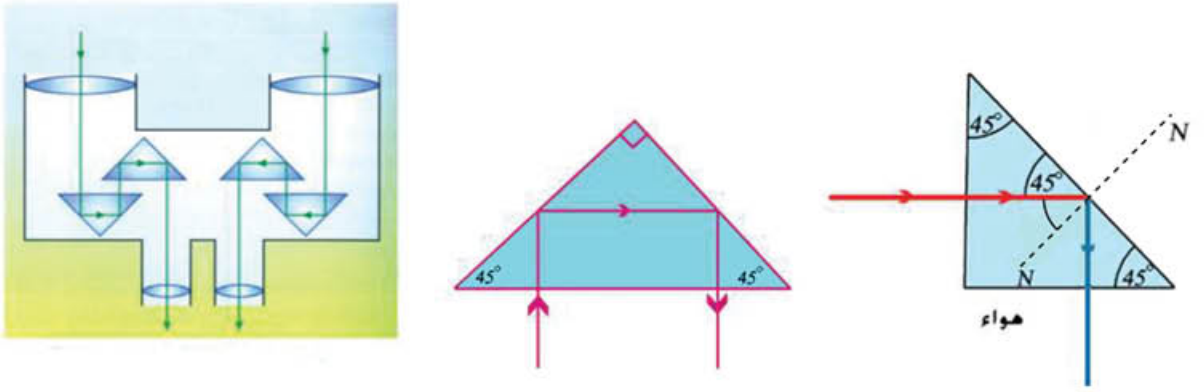
لذلك تُصنع الليفة الضوئية من طبقتين (داخلية وخارجية)، بحيث يكون معامل انكسار الطبقة الخارجية أقل من معامل انكسار الطبقة الداخلية، مما يساعد على زيادة نسبة حدوث الانعكاس الكلى فتزداد كفاءة نقل الضوء.



شكل (23)

2 المنشور العاكس Reflecting Prism

نظرًا لأن الزاوية الحرجة بين زجاج معامل انكساره المطلق (1.5) والهواء حوالى 42° فإن منشورًا ثلاثيًا من الزجاج زواياه (90° ، 45° ، 45°) يستخدم فى تغيير مسار حزمة ضوئية بمقدار 90° أو 180°، ومثل هذا المنشور يستخدم فى بعض الأجهزة البصرية مثل البيروسكوب Periscope الذى يستخدم فى الغواصات البحرية وفى مناظير الميدان Binoculars شكل (24).



أ. المنشور العاكس يغير مسار الضوء 90°

ب. المنشور العاكس يغير مسار الضوء 180°

جـ. استخدام المنشور فى منظار الميدان

شكل (24)
المنشور العاكس

واستخدام المنشور لهذا الغرض أفضل من استخدام السطح المعدنى العاكس (أو المرآة).

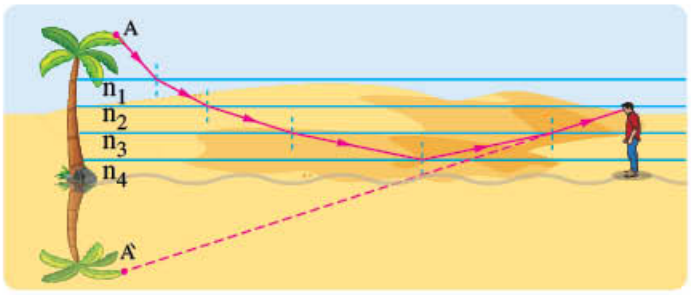
(1) لأن الضوء ينعكس فى المنشور انعكاسًا كليًا، ومن النادر أن يتواجد السطح المعدنى العاكس الذى تبلغ كفاءته 100 %

2 قد يتعرض السطح المعدنى لفقد بريقه أو لمعانه، فتقل قابليته لعكس الضوء، ولا يحدث مثل هذا فى المنشور. عمليًا يفقد جزء من الضوء أو نسبة منه عند دخوله أو خروجه من المنشور، ولكن يمكن تجنبها بتغطية السطح الذى يدخل منه الضوء أو يخرج منه بغشاء رقيق غير عاكس مثل فلوريد الألومنيوم وفلوريد الماغنيسيوم (معامل انكساره أقل من معامل انكسار الزجاج).

3 السراب Mirage

السراب ظاهرة مألوفة فى الأيام القائظة (شديدة الحرارة)، ويمكن رؤيتها صيفًا على الطرق حيث يبدو الطريق لراكب السيارة كما لو كان مغطى بالماء شكل (25 أ)، وكما يمكن ملاحظتها فى الصحارى حيث ترى للنخيل أو التلال صورًا مقلوبة شبيهة بتلك الصور التى تحدث بالانعكاس عن سطح الماء، وعندئذ يظن المراقب وجود الماء شكل (25 ب).

شكل (25 أ)
الطرق الممهدة تبدو مبللة



شكل (25 ب)
رؤية صورة النخلة فى الصحراء يوحى بوجود ماء

وتفسر هذه الظاهرة كما يلى :

فى الأيام الشديدة الحرارة ترتفع درجة حرارة الطبقات الهوائية الملاصقة لسطح الأرض فتقل كثافتها عن كثافة الطبقات التى تعلوها، ويترتب على ذلك أن تكون معاملات انكسار طبقات الهواء العليا أكبر من تلك التى تحتها، لذلك إذا تتبعنا شعاعًا ضوئيًا صادرًا من قمة نخلة مثلاً فإن هذا الشعاع عند انتقاله من الطبقة العليا إلى الطبقة التى تقع تحتها ينكسر مبتعدًا عن العمود المقام عند السطح الفاصل بين الطبقتين.

وعند انتقاله من تلك الطبقة إلى الطبقة التى تليها يزداد انحرافه، وهكذا يزداد انحراف الشعاع أثناء انتقاله خلال طبقات الهواء المتتالية، متخذًا مسارًا منحنيًا. وعندما تصبح زاوية سقوطه فى إحدى الطبقات أكبر من الزاوية الحرجة بالنسبة للطبقة التى تحتها، فإن الشعاع الضوئى ينعكس انعكاسًا كليًا، متخذًا مسارًا منحنيًا إلى أعلى حتى يصل إلى العين التى ترى صورة قمة النخلة على امتداد الشعاع الذى يصلها، وهذا يفسر رؤية صورتها مقلوبة (شكل 25 ب) فيظن المراقب أن هناك ماء.

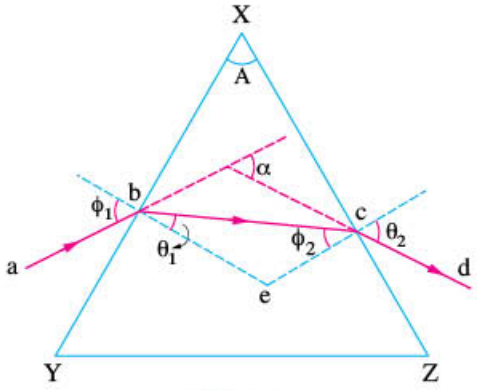
انحراف الضوء فى المنشور الثلاثى

عندما يسقط شعاع ضوئى مثل الشعاع (ab) على الوجه (XY) لمنشور ثلاثى فإن هذا الشعاع ينكسر داخل المنشور متخذًا المسار (bc) حتى يسقط على الوجه (XZ) كما فى الشكل (26) فيخرج إلى الوسط الأول فى الاتجاه (cd).

ومن هذا الشكل نتبين أن الشعاع الضوئى فى المنشور الثلاثى ينكسر مرتين، إحداهما عند الوجه الأول (XY) والأخرى عند الوجه الثانى (XZ) ونتيجة لذلك ينحرف الشعاع عن مساره بزاوية معينة هى زاوية الانحراف α

زاوية الانحراف Angle of Deviation : هى الزاوية الحادة المحصورة بين امتدادى الشعاع الساقط والشعاع الخارج ويرمز لها هنا بالرمز α

وإذا كانت زاوية السقوط هى ϕ_1، وزاوية الانكسار عند الوجه الأول هى θ_1، وزاوية السقوط على الوجه الثانى هى ϕ_2، وزاوية الخروج هى θ_2، وزاوية رأس المنشور A، فإننا نتبين من هندسة الشكل (26) ما يلى :



شكل (26)
مسار شعاع الضوء فى منشور ثلاثى

$$\alpha = (\phi_1 - \theta_1) + (\theta_2 - \phi_2)$$

$$\alpha = (\phi_1 + \theta_2) - (\theta_1 + \phi_2)$$

$$e + A = 180^\circ$$

$$e + \theta_1 + \phi_2 = 180^\circ$$

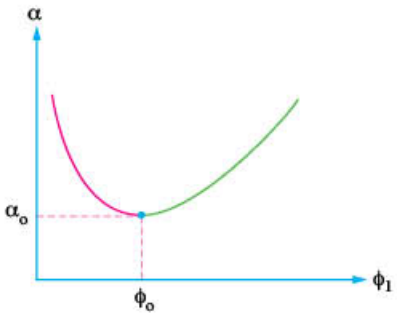
$$\therefore \boxed{A = \theta_1 + \phi_2} \qquad (8)$$

وبالتعويض من المعادلة (8) نجد أن :

$$\boxed{\alpha = \phi_1 + \theta_2 - A} \qquad (9)$$

ومن هذه العلاقة يتبين أن زاوية الانحراف فى منشور ثلاثى زاوية رأسه A تعتمد على زاوية السقوط ϕ_1،

ويمكن عمليًا بيان أن زاوية الانحراف تتناقص تدريجيًا مع ازدياد زاوية السقوط حتى تصل زاوية الانحراف إلى حد معين يعرف بالنهاية الصغرى للانحراف (α_o)، بعده تأخذ زاوية الانحراف فى الازدياد تدريجيًا مع ازدياد زاوية السقوط كما فى الشكل (27).



شكل (27)
العلاقة البيانية بين زاوية الانحراف وزاوية السقوط فى المنشور الثلاثى

وفى وضع النهاية الصغرى للانحراف يمكن علميًا ونظريًا إثبات أن :

$$\phi_1 = \theta_2 = \phi_o$$

$$\theta_1 = \phi_2 = \theta_o$$

وتصبح العلاقتان (8) و (9) كما يلى :

$$A = 2\,\theta_o$$

ومنها $$\theta_o = \frac{A}{2}$$

ومنها $$\alpha_o = 2\,\phi_o - A$$

$$\phi_o = \frac{\alpha_o + A}{2}$$

وفى حالة أن يكون المنشور الثلاثى محاطًا بالهواء، فإن معامل انكسار مادته :

$$n = \frac{\sin \phi_o}{\sin \theta_o}$$

بالتعويض عن ϕ_o ، θ_o نجد أن معامل الانكسار لمادة المنشور فى وضع النهاية الصغرى للانحراف يتعين من العلاقة :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} \qquad (10)$$

تجربة عملية لتعيين مسار شعاع ضوئى خلال منشور ثلاثى

الأدوات المطلوبة :

1. منشور من الزجاج زاوية رأسه $60°$
2. دبابيس
3. منقلة
4. مسطرة

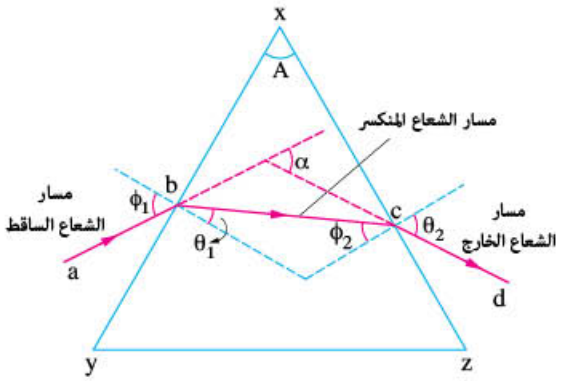
خطوات العمل :

1. ضع المنشور على ورقة بيضاء وحدد قاعدته المثلثة، ثم ابعد المنشور وارسم خطًا (ab) مائلًا على أحد وجهى المنشور يمثل شعاعًا ساقطًا بزاوية سقوط معينة.
2. ضع المنشور فى موضعه، ثم انظر من الجانب المقابل، وحدد موضع الشعاع الخارج (cd) بالاستعانة بالدبابيس، أو بوضع مسطرة والنظر بحيث تصبح حافة المسطرة على امتداد صورة الشعاع الساقط (ab) ثم ارسم خطًا (cd) فى محاذاة حافة المسطرة.

③ ارفع المنشور ثم صل (bc) فيكون مسار الشعاع الضوئى هو (abcd) من الهواء إلى الزجاج إلى الهواء ثانية.

④ مد الشعاع الخارج (cd) على استقامته حتى يقابل امتداد الشعاع الساقط (ab) فتكون الزاوية الحادة المحصورة بينهما هى زاوية الانحراف α شكل (28).

⑤ قس كلًا من زاوية السقوط ϕ_1، وزاوية الانكسار θ_1، وزاوية السقوط الداخلية ϕ_2، وزاوية الخروج θ_2، وزاوية الانحراف α



شكل (28)
مسار شعاع الضوء فى منشور ثلاثى

⑥ كرر العمل السابق عدة مرات بتغيير زاوية السقوط وضع النتائج فى جدول كالتالى :

زاوية رأس المنشور A	زاوية السقوط ϕ_1	زاوية الانكسار θ_1	زاوية السقوط الداخلية ϕ_2	زاوية الخروج θ_2	زاوية الانحراف α
.....	.....	.....	.....	.....	.....

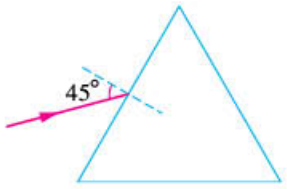
استخدم المعادلتين (8) و (9) لحساب قيمتى α، A، وطابق النتائج بالقيم المقاسه عمليًا.

مثـال

الشكل المقابل يمثل شعاع ضوئى يسقط بزاوية 45° على أحد أوجه منشور ثلاثى متساوى الأضلاع معامل انكسار مادته 1.5، احسب :

(أ) زاوية خروج الشعاع الضوئى من المنشور.

(ب) زاوية انحراف الشعاع الضوئى.



شكل (29)

الحـل

(أ) * بتطبيق قانون سنل :

$\because \sin \phi_1 = n \sin \theta_1$

$\therefore \sin \theta_1 = \frac{\sin 45}{1.5}$ $\quad \therefore \theta_1 = 28.13°$

$\because A = \theta_1 + \phi_2$

$\therefore \phi_2 = A - \theta_1 = 60 - 28.13 = 31.87°$

$\because \sin \phi_c = \frac{1}{n} = \frac{1}{1.5}$

$\therefore \phi_c = 41.81°$

* بمقارنة زاوية السقوط الثانية (ϕ_2) بالزاوية الحرجة لمادة المنشور نجد أن : $\phi_2 < \phi_c$

∴ ينفذ الشعاع من وجه المنشور ويطبق قانون سنل.

$\because \sin\theta_2 = n \sin\phi_2 = 1.5 \sin 31.87$ $\quad \therefore \theta_2 = 52.37°$

(ب) $\because \alpha = \phi_1 + \theta_2 - A$ $\quad \therefore \alpha = 45 + 52.37 - 60 = 37.37°$

ماذا لو

زادت زاوية السقوط (ϕ_1) تدريجيًا إلى 52.37°،
ما أثر ذلك على زاوية انحراف الشعاع ؟

تصورات غير صحيحة

يعتقد البعض أن زاوية انحراف الضوء (α) فى المنشور الثلاثى تزداد بزيادة زاوية السقوط (ϕ_1) تبعًا للعلاقة ($\alpha = \phi_1 + \theta_2 - A$)

والصحيح أن العلاقة بين الكميتين ليست بسيطة كما تبدو حيث تتغير قيمة (θ_2) أيضًا بتغير زاوية السقوط (ϕ_1).

تفريق الضوء بواسطة المنشور الثلاثى Dispersion

استنتجنا فى الفقرة السابقة إنه فى وضع النهاية الصغرى للانحراف يتعين معامل انكسار مادة المنشور المحاط بالهواء من العلاقة :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

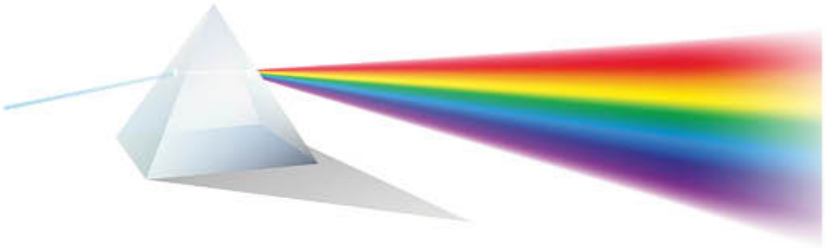
حيث : n معامل الانكسار لمادة المنشور، α_o هى زاوية النهاية الصغرى للانحراف، A زاوية رأس المنشور.

ونظرًا لأن زاوية رأس المنشور ثابتة، يتضح أن تغير معامل الانكسار لمادة المنشور يتبعه تغير فى قيمة زاوية النهاية الصغرى للانحراف، فبزيادة معامل الانكسار تزداد زاوية النهاية الصغرى للانحراف والعكس صحيح.

ونظرًا لأن معامل الانكسار n يتوقف على الطول الموجى للضوء المار خلال المنشور، فإن زاوية النهاية الصغرى للانحراف تتوقف بدورها على الطول الموجى لهذا الضوء.

لذلك إذا سقطت حزمة ضوء أبيض على منشور ثلاثى مهيأ فى وضع النهاية الصغرى للانحراف، فإن الضوء الخارج من المنشور يتفرق إلى ألوان الطيف المعروفة كما فى الشكل (30)،

ومن الشكل نتبين أن أشعة الضوء البنفسجى تكون أكثر أشعة الضوء المرئى انحرافًا (معامل انكسار مادة المنشور أكبر للضوء البنفسجى)، وأن أشعة الضوء الأحمر تكون أقلها انحرافًا (معامل انكسار مادة المنشور أقل للضوء الأحمر)، وترتيب ألوان الطيف المرئى التى يتفرق إليها الضوء الأبيض، من جهة رأس المنشور إلى قاعدته هى : الأحمر - البرتقالى - الأصفر - الأخضر - الأزرق - النيلى - البنفسجى.



شكل (30)
المنشور يفرق ألوان الطيف

معلومة إثرائية (للاطلاع فقط)

* **تفسير ظاهرة قوس قزح :**

عندما تمر أشعة الشمس داخل قطرات الماء المعلقة فى الجو بعد سقوط المطر، يحدث ما يلى داخل كل قطرة :

شكل (31)

1. ينكسر الضوء عند دخول الشعاع من الهواء إلى الماء.
2. يتفرق الضوء حيث تنكسر ألوان الضوء المختلفة بزوايا مختلفة، لأن كل لون له طول موجى مختلف وبذلك يختلف معامل انكسار الماء تبعًا لكل طول موجى.
3. ينعكس الضوء كليًا على السطح الداخلى للقطرة عند سقوطه بزوايا سقوط أكبر من الزاوية الحرجة.
4. ينكسر الضوء مرة ثانية عندما يخرج من القطرة إلى الهواء من جديد، ويصل لأعيننا فنرى ألوان الطيف السبعة.

تنمية التفكير الناقد

يقوم المنشور الثلاثى بتفريق الضوء إلى مكوناته. وكذلك تفعل فقاعات الصابون، وأقراص DVD، وقطيرات الماء فى الجو، وطبقة الكيروسين الطافية فوق سطح الماء. **فهل** تتفق جميعها فى كيفية تفريقها للضوء ؟

شكل (32)
تفريق الضوء على سطح قرص DVD

شكل (33)
تفريق الضوء فى فقاعة صابون

تلخيص

أولًا : التعاريف والمفاهيم الأساسية

- قانونا انعكاس الضوء :

(1) زاوية السقوط = زاوية الانعكاس.

(2) الشعاع الضوئى الساقط، والشعاع الضوئى المنعكس، والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس تقع جميعها فى مستوى واحد عمودى على السطح العاكس.

- يغير الضوء من اتجاه انتشاره عند سقوطه بزاوية حادة على السطح الفاصل بين وسطين شفافين بسبب اختلاف سرعة الضوء فى الوسط الثانى v_2 عن سرعته فى الوسط الأول v_1، ويخضع الضوء فى انكساره لما يلى :

(1) نسبة جيب زاوية السقوط فى الوسط الأول إلى جيب زاوية الانكسار فى الوسط الثانى نسبة ثابتة لهذين الوسطين، تسمى معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول إلى الوسط الثانى، ويرمز لها بالرمز $_1n_2$ وتساوى أيضًا نسبة سرعة الضوء v_1 فى الوسط الأول إلى سرعة الضوء v_2 فى الوسط الثانى.

(2) الشعاع الضوئى الساقط والشعاع الضوئى المنكسر والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل تقع جميعها فى مستوى واحد عمودى على السطح الفاصل.

- معامل الانكسار المطلق لوسط هو نسبة سرعة الضوء فى الفراغ إلى سرعة الضوء فى الوسط.

- قانون سنل للضوء ينص على : حاصل ضرب معامل الانكسار المطلق لوسط السقوط فى جيب زاوية السقوط يساوى حاصل ضرب معامل الانكسار المطلق لوسط الانكسار فى جيب زاوية الانكسار.

- التداخل : ظاهرة تراكب موجات الضوء الصادرة عن مصدرين مترابطين والتى ينتج عنها تقوية فى شدة الضوء فى بعض المواضع (هُدب مضيئة) وانعدام لشدة الضوء فى مواضع أخرى (هُدب مظلمة).

- الحيود : تغير اتجاه انتشار الموجات عند سقوطها على فتحة ضيقة أو حافة حادة أو مدببة.

- ينتشر الضوء كحركة موجية حيث إن موجات الضوء يحدث لها انعكاس وانكسار وتداخل وحيود.

- الزاوية الحرجة : هى زاوية سقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية تقابلها زاوية انكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية مقدارها $90°$

- معامل الانكسار المطلق لوسط يساوى مقلوب جيب الزاوية الحرجة له عند انتقال الضوء من هذا الوسط إلى الهواء أو الفراغ.

• الانعكاس الكلى : عندما تكون زاوية سقوط الضوء فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية أكبر من الزاوية الحرجة، فإن الضوء لا ينفذ إلى الوسط الأقل كثافة ضوئية وإنما ينعكس عند السطح الفاصل انعكاسًا كليًا.

• من تطبيقات الانعكاس الكلى (ظاهرة السراب - المنشور العاكس - الألياف الضوئية).

• زاوية الانحراف α هى الزاوية الحادة المحصورة بين امتدادى الشعاعين الساقط والخارج.

ثانيًا : القوانين والعلاقات الأساسية

• معامل الانكسار النسبى بين وسطين :

$$_1n_2 = \frac{\sin\phi}{\sin\theta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

• معامل الانكسار المطلق لوسط :

$$n = \frac{c}{v}$$

• قانون سنل :

$$n_1 \sin\phi = n_2 \sin\theta$$

• فى تجربة الشق المزدوج المسافة بين مركزى أى هُدبتين متتاليتين من نفس النوع :

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d}$$

• الزاوية الحرجة لوسط :

$$\sin\phi_c = \frac{1}{n}$$

• زاوية رأس المنشور الثلاثى :

$$A = \theta_1 + \phi_2$$

• زاوية انحراف الضوء فى منشور ثلاثى :

$$\alpha = \phi_1 + \theta_2 - A$$

• فى وضع النهاية الصغرى للانحراف للمنشور الثلاثى :

$$\phi_1 = \theta_2 = \phi_o$$

$$\theta_1 = \phi_2 = \theta_o$$

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha_o + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

أسئلة وتمارين

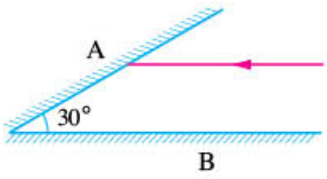
أولًا : أكمل العبارات التالية

1. فى تجربة يونج، تتعين المسافة بين مركزى هُدبتين متتاليتين من نفس النوع من العلاقة .....

2. قانون سنل ينص على .....

ثانيًا : اختر الإجابة الصحيحة

1. فى الشكل المقابل، سقط شعاع ضوئى علـــى المـرآة A بحيث كان موازيًا للمرآة B، فعندما :



(أ) ينعكس الشعاع عن المرآة A ويسقط على المرآة B تكون زاوية السقوط هى .....

أ) 90° ب) 60°

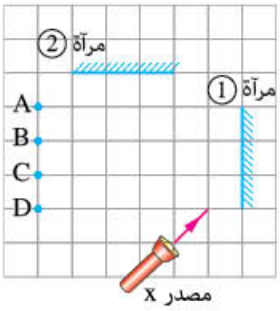
جـ) 30° د) 0°

(ب) يسقط الشعاع المنعكس عن المرآة B مرة أخرى على المرآة A تكون زاوية السقوط هى .....

أ) 90° ب) 45°

جـ) 30° د) 0°

2. الشـكل المقابل يوضح بمقياس رسـم معين سقوط شعاع ليزر من مصدر x نحو المرآة ① ، فإن الشعاع بعد انعكاسه عن المرآة ② يمر بالنقطة .....



أ) A ب) B

جـ) C د) D

3. نسبة جيب زاوية السقوط فى الوسط الأول إلى جيب زاوية الانكسار فى الوسط الثانى تسمى .....

أ) معامل الانكسار المطلق للوسط الأول

ب) معامل الانكسار المطلق للوسط الثانى

جـ) معامل الانكسار النسبى من الوسط الثانى إلى الوسط الأول

د) معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول إلى الوسط الثانى

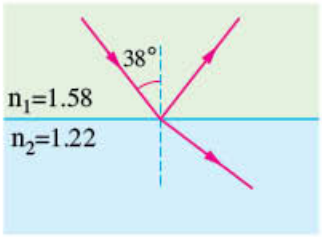
4. شعاع ضوئى يسقط على سطح يفصل بين وسطين، فإذا كانت زاوية السقوط فى الوسط الأول 60° وزاوية الانكسار فى الوسط الثانى 30°، فإن معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول إلى الوسط الثانى هو .....

أ) $\sqrt{3}$ ب) $\frac{1}{2}$ جـ) $\sqrt{2}$ د) 2

5. شعاع ضوئى يسقط بزاوية 48.6° على أحد أوجه متوازى مستطيلات من الزجاج معامل انكسار مادته 1.5، فتكون زاوية انكساره فى الزجاج هى .....

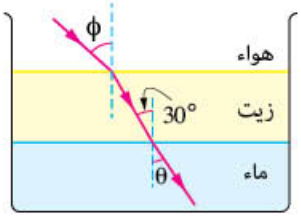
أ) 20° ب) 30° جـ) 35° د) 40°

6. شعاع ضوئى يسقط على السطح الفاصل بين وسطين معاملا انكسارهما كما بالشكل المقابل، فتكون قيمتى زاوية الانعكاس وزاوية الانكسار هما .....



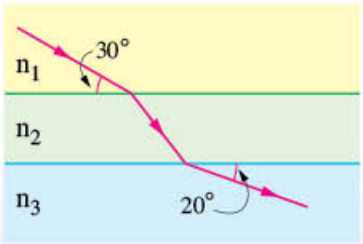
	زاوية الانعكاس	زاوية الانكسار
أ	38°	68.38°
ب	52.88°	38°
جـ	28.38°	38°
د	38°	52.88°

7. الشكل المقابل يوضح انتقال شعاع ضوئى من الهواء إلى الزيت ثم إلى الماء، فإذا كان معامل الانكسار المطلق للزيت 1.48 وللماء 1.33، فإن قيمتى ϕ ، θ هما .....



	ϕ	θ
أ	41.6°	33.81°
ب	41.6°	41.6°
جـ	47.73°	33.81°
د	47.73°	41.6°

8. الشكل المقابل يوضح انتقال شعاع ضوئى خلال ثلاثة أوساط شفافة مختلفة، فتكون العلاقة بين :



(أ) معاملات الانكسار المطلقة لهذه الأوساط هى .....

أ) $n_3 > n_1 > n_2$ ب) $n_1 > n_2 > n_3$

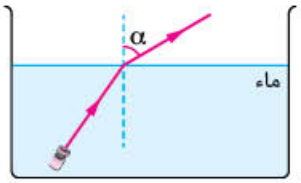
جـ) $n_2 > n_1 > n_3$ د) $n_2 > n_3 > n_1$

(ب) سرعة الضوء فى الأوساط الثلاثة هى .....

أ $v_1 > v_2 > v_3$ ب $v_2 < v_1 < v_3$

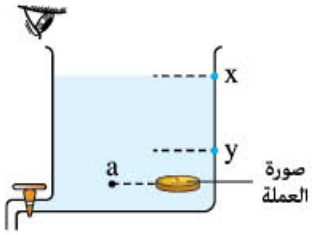
جـ $v_1 > v_3 > v_2$ د $v_3 < v_1 < v_2$

9. فى الشكل المقابل، عبر شعاع ضوئى من الماء للهواء وخرج بزاوية α، فإذا تم إضافة سائل شفاف لا يمتزج بالماء كثافته أقل من كثافة الماء ببطء بحيث يطفو على سطح الماء، فإن زاوية خروج الشعاع إلى الهواء تكون .....



أ أكبر من α ب أصغر من α جـ مساوية لـ 90° د مساوية لـ α

10. شخص ينظر بثبات إلى عملة معدنية موضوعة عند قاع إناء به ماء يصل إلى المستوى x فتبدو له العملة عند موضع معين (a) كما بالشكل المقابل فإذا تم فتح الصنبور ليخرج الماء تدريجيًا من الإناء حتى وصل سطحه إلى المستوى y، فإن الشخص يرى صورة العملة .....



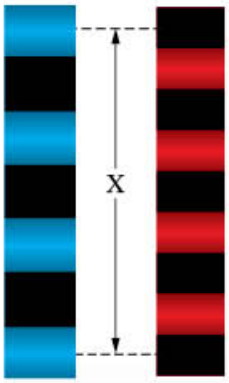
أ ترتفع تدريجيًا إلى أعلى ب تنخفض تدريجيًا إلى أسفل

جـ عند قاع الإناء د تظل ثابتة عند موضعها (a)

11. فى تجربة الشق المزدوج، إذا كانت المسافة بين الشقين 10^{-4} m، والمسافة بين مركزى هُدبتين متتاليتين من نفس النوع 3.75 mm، وكان حائل استقبال هُدب التداخل على بُعد 0.75 m من حاجز الشقين، فإن الطول الموجى للضوء المستخدم يساوى .....

أ 5000 Å ب 5400 Å جـ 6000 Å د 6400 Å

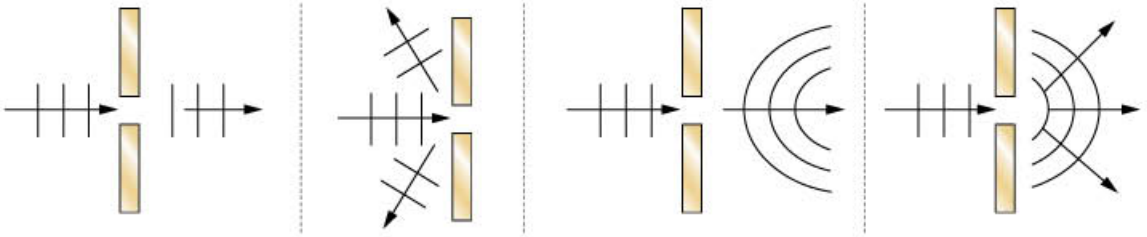
12. أُجريت محاولتان لإجراء تجربة الشق المزدوج، المحاولة الأولى باستخدام ضوء أحمر أحادى اللون والمحاولة الثانية باستخدام ضوء أزرق أحادى اللون مع ثبوت المسافة بين الشقين، والشكل المقابل يمثل هُدب التداخل المتكونة فى المحاولتين، فإذا كانت المسافة بين الحائل وحاجز الشق المزدوج فى الحالتين R_r، R_b على الترتيب، فإن النسبة $\left(\frac{R_r}{R_b}\right)$ .....



أ أكبر من الواحد الصحيح ب أقل من الواحد الصحيح

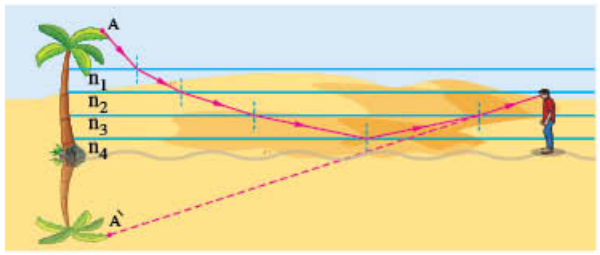
جـ تساوى الواحد الصحيح د لا يمكن تحديدها

13. أى الأشكال التالية يعبر بشكل صحيح عن حيود الضوء عند سقوطه على حاجز به فتحة صغيرة ؟



أ ب جـ د

14. الشكل المقابل يمثل حدوث ظاهرة السراب،



فـإن الترتيـب الصحيـح لمعاملات انكسـار طبقات الهواء هو .....

أ $n_3 < n_2 < n_1$

ب $n_1 < n_2 < n_3$

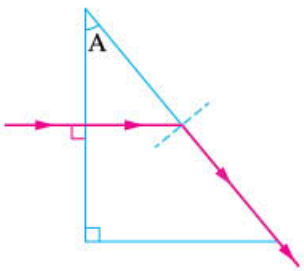
جـ $n_2 < n_1 < n_3$

د $n_3 < n_1 < n_2$

15. إذا كانت الزاوية الحرجة لوسط بالنسبة للهواء 45°، فإن معامل انكسار هذا الوسط هو .....

أ 1.64 ب 2 جـ 1.7 د $\sqrt{2}$

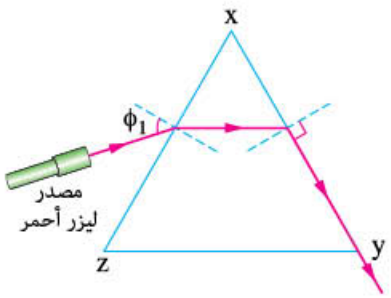
16. فى الشـكل المقابل، شـعاع ضوئى ينتقل خلال منشور ثلاثى من مادة شـفافة بسرعة $0.8\,c$ حيث c سرعة الضوء فى الهواء، فإن الزاوية A تساوى تقريبًا .....



أ 37° ب 40°

جـ 50° د 53°

17. فى الشـكل المقابل، إذا طُلب منك تغيير مصدر الليزر الأحمر بمصدر ليزر أزرق بحيث يخرج الشعاع الأزرق مماسًا للسطح الفاصل، كيف تتغير زاوية السقوط ϕ_1 لتحقيق ذلك؟



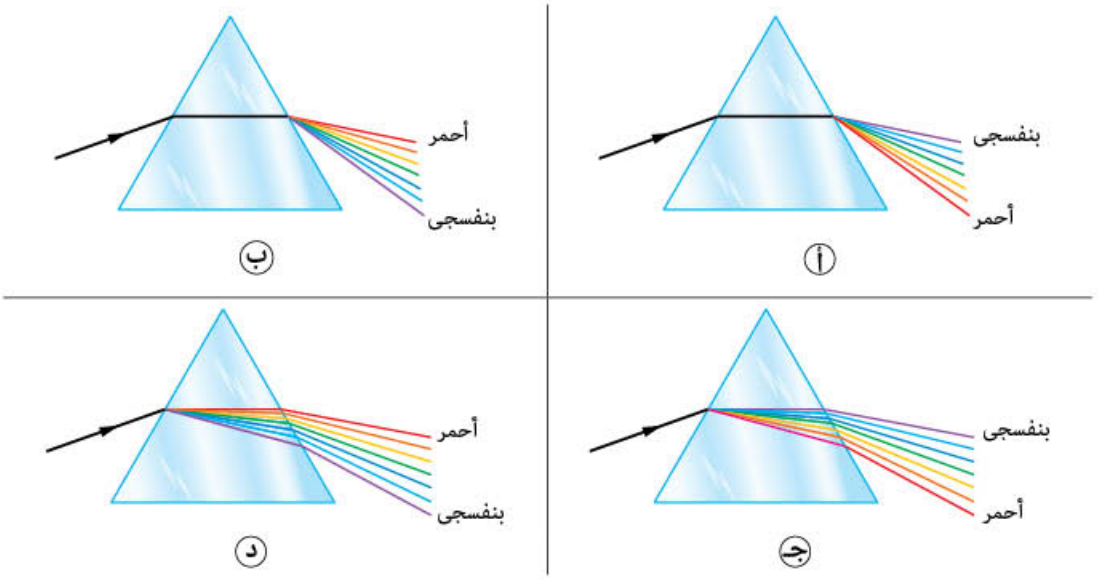
أ زيادتها

ب تقليلها

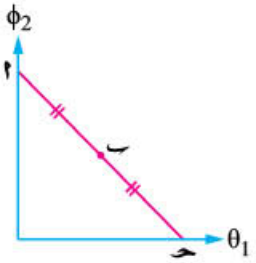
جـ عدم تغييرها

د لا يمكن تحديد الإجابة

18. إذا سـقطت حزمـة ضيقة مـن الضوء الأبيض علـى أحد أوجه منشـور ثلاثى فى وضـع النهاية الصغرى للانحراف، أى الأشكال التالية يوضح بشكل صحيح تفريق هذه الحزمة الضوئية ؟



19. الشكل البيانى المقابل يمثل العلاقة بين زاوية السقوط الثانية (ϕ_2) وزاوية الانكسار الأولى (θ_1) عند مرور شعاع ضوئى خلال منشور ثلاثى متساوى الأضلاع، فإن وضع النهاية الصغرى للانحراف تمثله .....



أ النقطة أ ب النقطة ب

جـ النقطة حـ د النقطتان أ ، حـ

20. فى تجربة لتعيين النهاية الصغرى للانحراف فى المنشور الثلاثى، وجد أن هذه الزاوية تساوى 48.2°، فإذا كانت زاوية رأس المنشور 58.8° فإن معامل انكسار مادته هو .....

أ 1.5 ب 1.64 جـ 1.82 د 1.85

ثالثًا: أسئلة المقال

1. وضح لماذا يمكن القول بأن الضوء حركة موجية.

2. عرف كل من :

(أ) معامل الانكسار النسبى بين وسطين. (ب) معامل الانكسار المطلق لوسط.

(جـ) الزاوية الحرجة. (د) زاوية الانحراف.

3. اشرح تجربة توضح بها ظاهرة التداخل فى الضوء.

4. أُجريت تجربة الشق المزدوج باستخدام ضوء أحمر، ماذا يحدث للبُعد بين مراكز الهُدب المتكونة إذا :

(أ) قلت المسافة بين الشقين ؟

(ب) استُخدم ضوء أزرق بدلًا من الضوء الأحمر ؟

(جـ) أُبعد حائل استقبال الهُدب عن حاجز الشقين ؟

5. وضعت ثلاثة مصابيح متباعدة عند قاع أفقى لحمام سباحة بأحد الفنادق. الأول يضىء بضوء أصفر والثانى يضىء بضوء أحمر والثالث يضىء بضوء أزرق، فتكونت على سطح الماء بقع دائرية ملونة مساحاتها A_y ، A_r ، A_b على الترتيب، رتب تصاعديًا مساحات دوائر الضوء على سطح الماء، مع تفسير سبب اختلاف مساحة دائرة ضوء كل لون عن اللون الآخر.

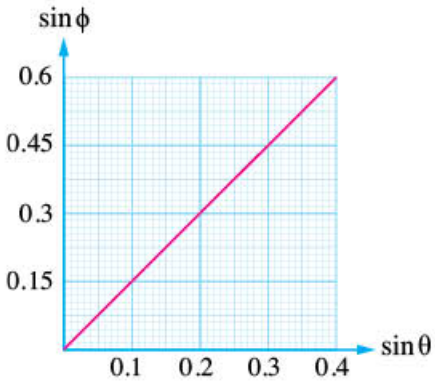
6. فسر حدوث ظاهرة السراب.

7. استنتج العلاقة المستخدمة لإيجاد زاوية النهاية الصغرى لانحراف الضوء (α_o) عندما يمر خلال منشور ثلاثى زاوية رأسه (A) ومعامل انكسار مادته (n_p) وهو مغمور فى سائل كالماء معامل انكساره (n_w).

8. علل : عند سقوط ضوء أبيض على منشور ثلاثى يكون الضوء البنفسجى أكثر انحرافًا من الضوء الأحمر.

رابعًا : التمارين

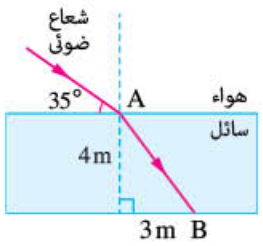
1. الشكل البيانى المقابل يمثل العلاقة بين جيب زاوية سقوط شعاع ضوئى فى وسط شفاف ① وجيب زاوية انكساره فى الوسط المنتقل إليه ②، فإذا كانت سرعة الضوء فى الوسط ① هى 2×10^8 m/s، احسب :



(أ) معامل الانكسار النسبى من الوسط ① إلى الوسط ②.

(ب) سرعة الضوء فى الوسط ②. $(1.5,\ 1.33 \times 10^8$ m/s)

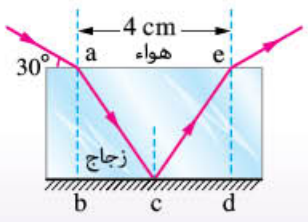
2. الشكل المقابل يوضح شعاع ضوئى ينتقل من الهواء إلى طبقة من سائل سُمكها 4 m، فإذا علمت أن سرعة الضوء فى الهواء تساوى 3×10^8 m/s، احسب :



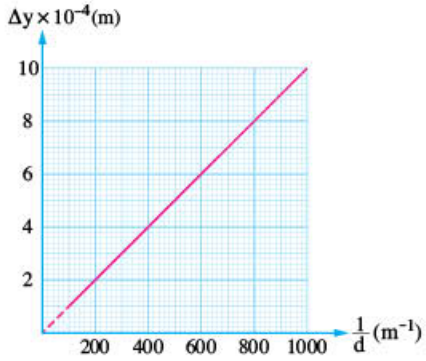
(أ) معامل انكسار السائل.

(ب) الزمن الذى يستغرقه الشعاع حتى يصل من النقطة A إلى النقطة B $(1.37,\ 2.28 \times 10^{-8}$ s)

3. الشكل المقابل يمثل مسار شعاع ضوئى ساقط على متوازى مستطيلات من الزجاج معامل انكساره المطلق $\sqrt{3}$ موضوع فوق مرآة مستوية حتى نفاذه مرة أخرى للهواء، فما سُمك متوازى المستطيلات ed أو ab ؟ (3.46 cm)

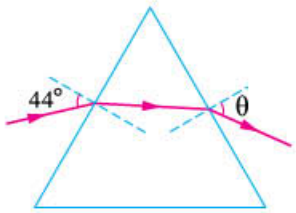


4. الشـكل البيانـى المقابل يمثل العلاقـة بين المسـافة بين مركزى هُدبتين مضيئتين متتاليتين (Δy) ومقلوب المسـافة بين الشـق المـزدوج $\left(\frac{1}{d}\right)$، فـإذا كان البُعد بين حاجز الشـق المزدوج وحائل استقبال الهُدب 2 m ، احسب الطول الموجى للضوء المستخدم.
$(5 \times 10^{-7}\ m)$



5. سقط شعاع ضوئى بزاوية سقوط 54° من الهواء على سطح مادة شفافة للضوء فانعكس جزء منه وانكسر جزء آخر بحيث كان الشعاع المنعكس عمودى على الشعاع المنكسر، احسب الزاوية الحرجة للمادة الشفافة مع الهواء.
(46.6°)

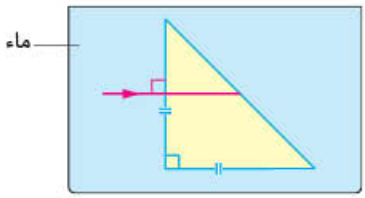
6. الشكل المقابل يوضح مسار شعاع ضوئى خلال منشور زجاجى متساوى الأضلاع معامل انكسار مادته 1.5، احسب :



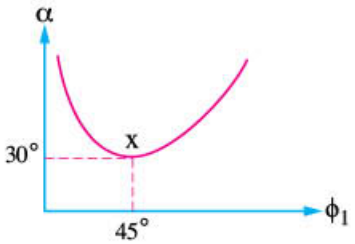
(أ) زاوية خروج الشعاع.

(ب) زاوية انحراف الشعاع. (53.5°, 37.5°)

7. فى الشـكل المقابل، تتبع مسـار الشـعاع الضوئى السـاقط حتى خروجه من المنشـور، علمًا بأن الزاوية الحرجة لمادة المنشور مع الهواء 42° وأن معامل الانكسار المطلق للماء 1.33



8. الشـكل البيانى المقابل يمثـل العلاقة بين زاوية انحراف شـعاع ضوئـى (α) خلال منشـور ثلاثـى وزاوية السـقوط الأولى (ϕ_1) للشعاع على أحد أوجه المنشور، احسب :

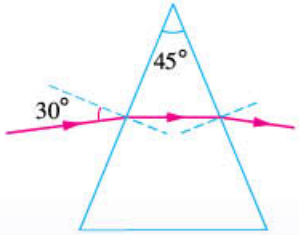


(أ) زاوية رأس المنشور.

(ب) معامل الانكسار المطلق لمادة المنشور.

(جـ) زاوية خروج الشعاع عند الوضع x $(60°, \sqrt{2}, 45°)$

9. الشكل المقابل يوضح منشور ثلاثى متساوى الساقين زاوية رأسه 45° مصنوع من مادة شـفافة للضوء، سقط على أحد أوجهه شعاع ضوئى بزاوية 30° فانكسر داخل المنشور موازيًا للقاعدة، احسب :



(أ) زاوية خروج الشعاع الضوئى من المنشور.

(ب) زاوية انحراف الشعاع الضوئى.

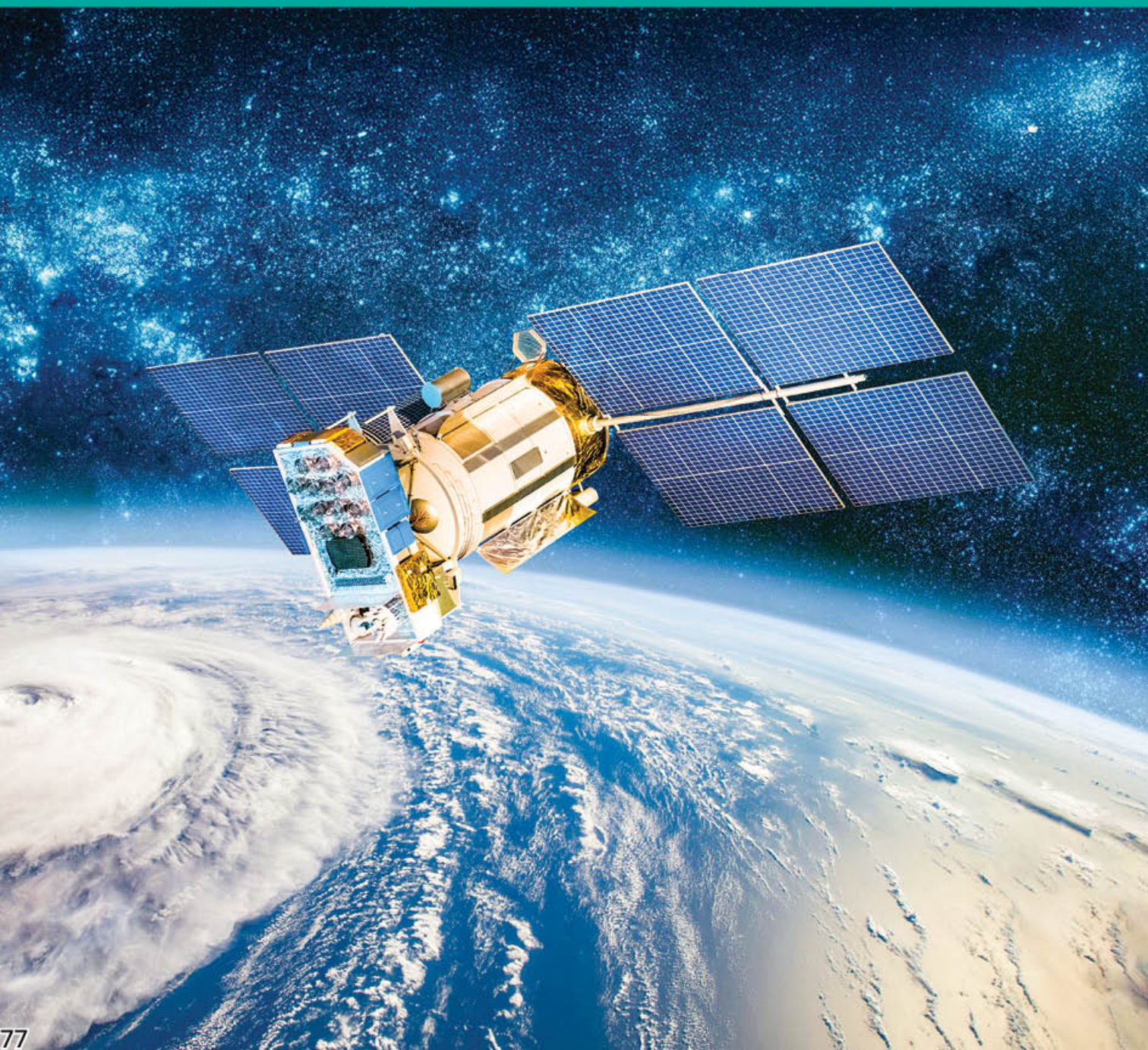
(جـ) معامل انكسار مادة المنشور. (30°, 15°, 1.31)

الوحـــدة

الثالثة

الحركة الدائرية

- **الفصل الرابع :** قوانين الحركة الدائرية
- **الفصل الخامس :** الجاذبية الكونية والحركة الدائرية



الفصل

الرابع

قوانين الحركة الدائرية

نواتج التعلم المتوقعة

فى نهاية هذا الفصل تكون قادرًا على أن :

١- تتعرف مفهوم الحركة الدائرية المنتظمة.

٢- تستنتج العوامل التى تحدد مقدار القوة الجاذبة المركزية.

٣- تحسب القوة الجاذبة المركزية والعجلة المركزية.

٤- تحلل الإرشادات المرورية وعلاقتها بالقوة الجاذبة المركزية.

٥- تحلل بعض المواقف الحياتية المرتبطة بحركة جسم فى مسار دائرى.

مصطلحات الفصل

- الحركة الدائرية المنتظمة
Uniform Circular Motion

- العجلة المركزية
Centripetal Acceleration

- القوة الجاذبة المركزية
Centripetal Force

- السرعة المماسية
Tangential Velocity

مقـــدمة

تعتبر الحركة فى دائرة من أهم أنواع الحركة الدورية، كحركة بعض الألعاب فى الملاهى، وحركة الأرض حول الشمس، والقمر حول الأرض، وغيرها. فما خصائص الحركة فى دائرة ؟ وما أهم العلاقات الرياضية المستخدمة فى وصفها ؟ وما أهم التطبيقات الحياتية والتكنولوجية ذات الصلة بها ؟

الحركة الدائرية المنتظمة

من خلال دراستك لقانون نيوتن الثانى تعلمت أنه عندما تؤثر قوة على جسم متحرك بسرعة منتظمة فإنه يكتسب عجلة، أى يحدث تغير فى سرعته، ويعتمد التغير الحادث فى السرعة على اتجاه القوة المؤثرة بالنسبة لاتجاه الحركة، وذلك على النحو التالى :

فعندما يزيد المتسابق ٢ فى الشكل (1) من تدفق الوقود تتأثر الدراجة النارية بقوة فى نفس اتجاه الحركة فتزداد سرعتها، أما عندما يضغط على الفرامل فإن القوة تكون عكس اتجاه الحركة فتقل السرعة، وعندما يميل المتسابق ١ أو ٣ بدراجته يمينًا أو يسارًا تتولد قوة عمودية على اتجاه الحركة وتسمى هذه القوة بالقوة الجاذبة المركزية (Centripetal Force)، وبالتالى يتغير اتجاه الحركة ويسير فى مسار دائرى.

شكل (1)
الحركة فى مسارات منحنية

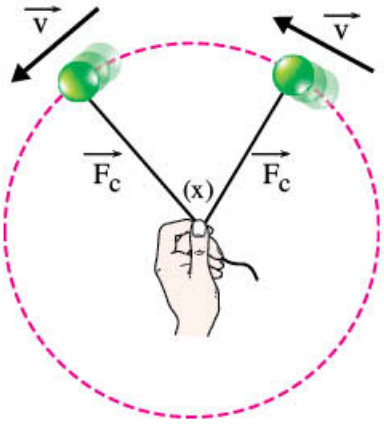
تجربة عملية لبيان الحركة فى دائرة

غرض التجربة :

علمنا أن القوة الجاذبة المركزية تلزم لدوران جسم فى مسار دائرى وتهدف التجربة إلى وصف حركة جسم يدور فى مسار دائرى وإدراك مفهوم القوة الجاذبة المركزية.

المواد والأدوات :

1. كرة تنس.
2. خيط.



شكل (2)

خطوات العمل :

1. اربط كرة تنس بخيط طوله حوالى 120 cm وأمسك الخيط عند نقطة معينة (x)، واترك باقى الخيط بطول مناسب.
2. أدر الكرة فى مستوى أفقى بسرعة مناسبة، بحيث تتحرك على محيط دائرة.
3. اترك الخيط فجأة من يدك وسجِّل الاتجاه الذى تتحرك فيه الكرة.
4. كرر الخطوات السابقة بأطوال مختلفة للخيط (20 cm - 30 - 40 - 50)، وذلك بمساعدة أفراد مجموعتك.

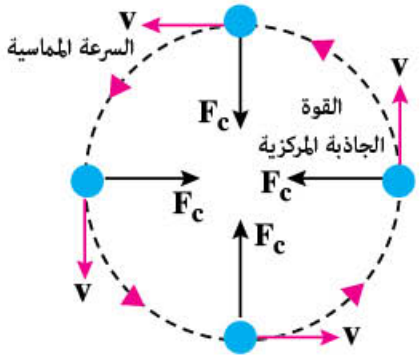
الملاحظات :

طول الخيط	وصف الحركة
20 cm	.....
30 cm	.....
40 cm	.....
50 cm	.....

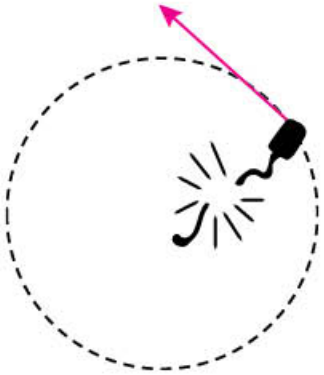
- هل شعرت بضرورة جذب الخيط للداخل لتستمر الكرة فى الدوران فى مسارها؟ (نعم/ لا).
- عندما تركت الخيط فجأة هل لاحظت أن الكرة تستمر فى المسار الدائرى، أم تنطلق فى اتجاه السرعة المماسية (الخطية) فى خط مستقيم ؟
- ارسم سهمًا يمثل اتجاه حركة الكرة عند النقطة التى تُركت الكرة عندها على محيط الدائرة.
- فسر النتائج التى حصلت عليها.

مما سبق نستنتج أن :

- لكى يتحرك أى جسم فى مسار دائرى لابد أن تؤثر عليه قوة (F_c) عمودية على اتجاه حركته وفى اتجاه مركز الدائرة، وذلك لإجباره على الاستمرار فى الحركة الدائرية.
- إذا غابت هذه القوة فإن الجسم سوف ينطلق باتجاه المماس للمسار الدائرى الذى كان يسلكه لحظة الإفلات، وذلك بسرعة ثابتة فى المقدار والاتجاه (فى خط مستقيم) وتسمى هذه السرعة بالسرعة المماسية (v).



شكل (3)
اتجاه القوة والسرعة فى الحركة الدائرية



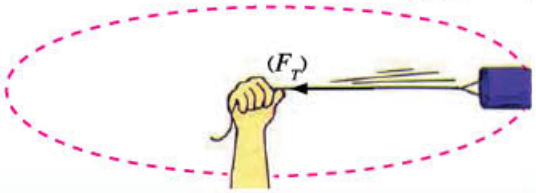
شكل (4)
اتجاه حركة الجسم عند انقطاع الخيط

أنواع القوى الجاذبة المركزية Types Of Centripetal Forces

عندما يتحرك جسم فى مسار دائرى بسرعة ثابتة فى المقدار ومتغيرة فى الاتجاه تسمى هذه الحركة بالحركة الدائرية المنتظمة، وتسمى القوة التى تؤثر باستمرار فى اتجاه عمودى على حركة الجسم بالقوة الجاذبة المركزية. لا تعتبر القوة الجاذبة المركزية نوعًا جديدًا من القوى، فهى ببساطة الاسم المعطى لأى قوة تؤثر عموديًا على مسار حركة الجسم وتجعله يتحرك فى مسار دائرى، فقد تكون القوة الجاذبة المركزية هى قوة شد، أو قوة تجاذب مادى، .... إلخ، وفيما يلى بعض أمثلة هذه القوى :

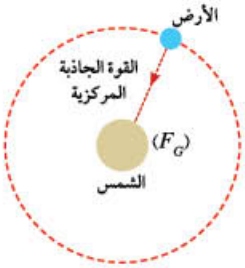
شكل (5)
لماذا يشعر الرياضى بقوة شد فى ذراعية أثناء دورانه؟

1. **قوة الشد (F_T)** : عند سحب جسم باستخدام حبل أو سلك تنشأ فيه قوة شد، وعندما تكون قوة الشد فى اتجاه عمودى على اتجاه حركة جسم يتحرك بسرعة ثابتة، فإنه يتحرك فى مسار دائرى، وتكون قوة الشد هى نفسها القوة الجاذبة المركزية.



شكل (6)
تعمل قوة الشد فى الخيط كقوة جاذبة مركزية

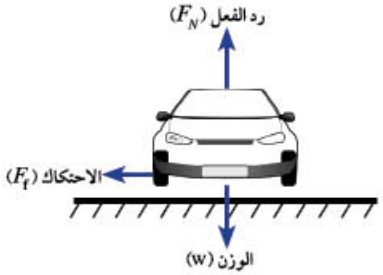
② **قوة التجاذب المادى (F_G)** : تنشأ بين الأرض والشمس قوة تجاذب عمودية على اتجاه حركة الأرض، لذا تتحرك الأرض فى مسار دائرى حول الشمس.



شكل (7)

تعمل قوة التجاذب المادى كقوة جاذبة مركزية

③ **قوة الاحتكاك (F_f)** : عندما تنعطف سيارة فى مسار دائرى أو منحنى تنشأ قوة احتكاك إضافية بين الطريق وإطارات السيارة، وتكون هذه القوة عمودية على اتجاه حركة السيارة وفى اتجاه مركز الدائرة، وبالتالى تتحرك السيارة فى المسار المنحنى.



شكل (8)

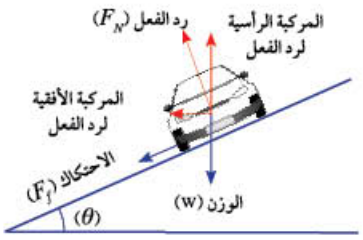
تعمل قوة الاحتكاك كقوة جاذبة مركزية

معلومة إثرائية (للاطلاع فقط)

بعض المنحنيات مثل أجزاء فى مضمار سباق السيارات أو الكبارى تصمم بحيث تكون الحافة الخارجية للمنحنى فى مستوى أعلى من حافته الداخلية، فما سبب ذلك؟

فى حالة إذا كان المسار الدائرى للسيارة مائلًا بزاوية على الأفقى تنتج مركبة أفقية لقوة رد الفعل باتجاه مركز الدائرة تساعد على دوران السيارة، وفى هذه الحالة تكون القوة الجاذبة المركزية هى مجموع المركبة الأفقية لقوة رد الفعل والمركبة الأفقية لقوة الاحتكاك حيث تعمل كلتاهما باتجاه مركز الدوران.

شكل (9)



شكل (10)

القوة الجاذبة المركزية هى مجموع مركبتى رد الفعل والاحتكاك فى الاتجاه الأفقى

تنمية التفكير الناقد

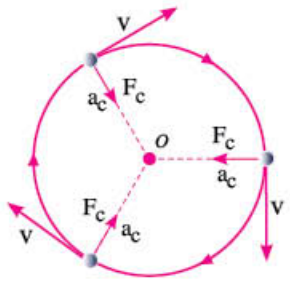
فى لعبة القطار السريع الموضحة بالشكل، أين فى الجزء الدائرى من مسار القطار تكون محصلة القوى المؤثرة عليه الأكبر، عندما يكون فى قمة المسار أم عند قاعه؟ ولماذا؟

شكل (11)

العجلة الجاذبة المركزية Centripetal Acceleration

عندما تؤثر قوة مقدارها (F_c) عموديًا على اتجاه حركة جسم كتلته (m) وسرعته (v) فإنه يتحرك فى مسار دائرى نصف قطره (r)، ويحدث تغير فى اتجاه السرعة، وبالتالى تكون للجسم عجلة (a_c) تسمى بالعجلة المركزية ويكون اتجاهها فى نفس اتجاه القوة الجاذبة المركزية.

ويلاحظ من الشكل (12) أن السرعة (v)، تكون ثابتة المقدار ولكنها متغيرة الاتجاه باستمرار.



شكل (12)
متجه السرعة ومتجه العجلة أثناء الحركة المنتظمة فى مسار دائرى

العجلة المركزية (a_c) : هى العجلة التى يكتسبها الجسم فى الحركة الدائرية نتيجة لتغير اتجاه السرعة.

وتحسب العجلة المركزية (a_c) من العلاقة :

$$a_c = \frac{v^2}{r} \qquad (1)$$

حيث : (v) مقدار السرعة الخطية التى يتحرك بها الجسم، (r) نصف قطر المسار الدائرى.

مثـال

جسم يتحرك على محيط دائرة أفقية نصف قطرها 2 m بسرعة خطية ثابتة مقدارها 10 m/s، **احسب** العجلة الجاذبة المركزية التى يتحرك بها الجسم.

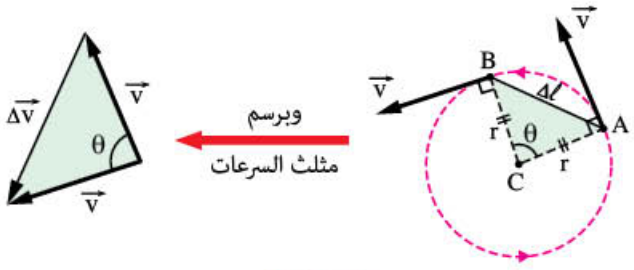
الحل

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(10)^2}{2} = 50\ m/s^2$$

معلومة إثرائية (للاطلاع فقط)

استنتاج مقدار العجلة المركزية

يلاحظ من الشكل (13) أنه عند تحرك الجسم من النقطة (A) إلى النقطة (B) أن السرعة (v) تتغير فى الاتجاه، ولكن تحتفظ بمقدارها ثابتًا، وبذلك فإن التغير فى السرعة (Δv) ينتج عن التغير فى اتجاه السرعة فقط.



شكل (13)
حركة جسم من (A) إلى (B)

من تشابه المثلث (CAB) مع مثلث السرعات المبين فى شكل (13) يمكن كتابة العلاقة الآتية :

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta \ell}{r} \qquad (1)$$

حيث Δv فى اتجاه مركز الدائرة.

$$\therefore \Delta v = \frac{\Delta \ell}{r} . v \qquad (2)$$

فإذا انتقل الجسم من النقطة (A) إلى النقطة (B) فى فترة زمنية (Δt) فإن العجلة فى اتجاه المركز (a_c) تحسب بقسمة المعادلة (2) على (Δt) :

$$\therefore a_c = \frac{\Delta v}{\Delta t} = v \frac{\Delta \ell}{\Delta t} \frac{1}{r}$$

وحيث إن $\frac{\Delta \ell}{\Delta t}$ يساوى (v) فإن العجلة المركزية :

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

حساب مقدار القوة الجاذبة المركزية (F_c)

من قانون نيوتن الثانى تعطى القوة من العلاقة (F = ma) أى أن :

القوة المركزية أثناء الحركة الدائرية المنتظمة = الكتلة × العجلة المركزية

وبالتعويض عن مقدار العجلة المركزية من العلاقة (1) نجد أن :

$$\therefore F_c = m \times \frac{v^2}{r} \qquad (2)$$

حساب قيمة السرعة المماسية (v)

إذا افترضنا أن الجسم قام بعمل دورة كاملة فى المسار الدائرى خلال زمن قدره (T) وهو ما يمثل الزمن الدورى، وخلال هذا الزمن يكون قد قطع مسافة مقدارها محيط الدائرة وهو ($2\pi r$) وبالتالى يمكن حساب السرعة المماسية (سرعة الدوران) على النحو التالى :

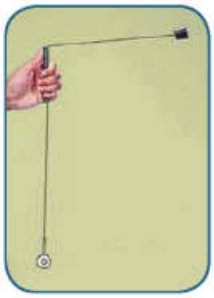
$$v = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} = \frac{2\pi r}{T} \qquad (3)$$

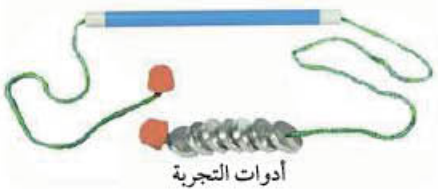
معنى ذلك أنه يمكن حساب السرعة المماسية (v) بمعلومة كل من الزمن الدورى (T) ونصف قطر الدوران (r).

المعمل المصغر

تحقيق علاقة القوة الجاذبة المركزية:

* اربط سدادة مطاطية كتلتها (m) فى خيط ثم مرر الخيط خلال أنبوبة معدنية أو بلاستيكية (مثل : أنبوبة القلم) وبعد ذلك اربط الطرف الآخر بثقل كتلته (M).
* عندما نحرك سدادة المطاط فى مسار دائرى فإن القوة الجاذبة المركزية تنشأ من قوة شد الخيط (F_T) والذى يساوى وزن الثقل المعلق، أى أن : $F_c = F_T = Mg$
* باستخدام المواد السابقة وساعة إيقاف أثبت عمليًا صحة العلاقة : $F_c = Mg = m\frac{v^2}{r}$





شكل (14)

مثال

فى التجربة السابقة كانت كتلة السدادة المطاطية 13 g، وأديرت السدادة فى مسار دائرى أفقى نصف قطره 0.93 m لتصنع 50 دورة فى زمن قدره 59 s، احسب كتلة الثقل المعلق فى الطرف الآخر للخيط.

($\pi = 3.14$, $g = 9.8\ m/s^2$)

الحل

حساب الزمن الدورى :

$$T = \frac{\text{الزمن الكلى}}{\text{عدد الدورات}} = \frac{59}{50} = 1.18\ s$$

حساب السرعة :

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2 \times 3.14 \times 0.93}{1.18} = 4.9\ m/s$$

حساب قوة الشد :

$$F_c = m\frac{v^2}{r} = 0.013 \times \frac{(4.9)^2}{0.93} = 0.34\ N$$

حساب كتلة الثقل :

$$M = \frac{F_c}{g} = \frac{0.34}{9.8} = 0.035\ kg$$

ماذا لو أُديرت السدادة بسرعة أكبر، ما أثر ذلك على نصف قطر دوران السدادة ؟

العوامل التى تتوقف عليها القوة الجاذبة المركزية

من الضرورى حساب القوة الجاذبة المركزية عند تصميم منحنيات الطرق والسكك الحديدية، وذلك لكى تتحرك السيارات والقطارات فى المسار المنحنى دون أن تنزلق، ومن خلال دراسة العلاقة ($F_c = \frac{mv^2}{r}$) يمكن التوصل إلى أن القوة الجاذبة المركزية تتوقف على العوامل التالية :

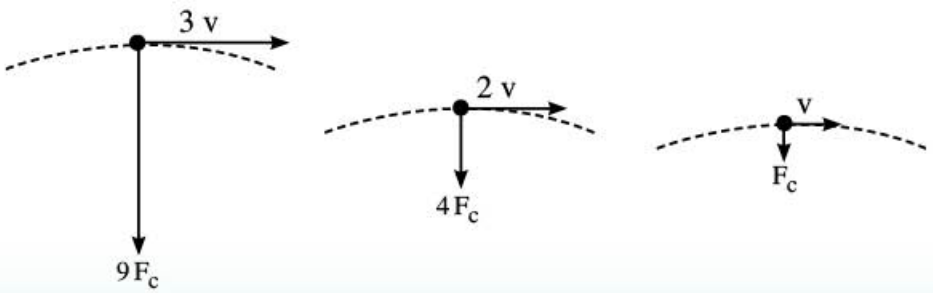
شكل (15)
لا يسمح بمرور المقطورات والشاحنات

شكل (16)
السرعة القصوى
على هذا المنحنى (80 km/h)

1. **كتلة الجسم (m)** : حيث تتناسب القوة الجاذبة المركزية طرديًا مع الكتلة (عند ثبات v ، r)، فالقوة اللازمة لتتحرك دراجة فى مسار منحنى أقل من القوة اللازمة لتتحرك شاحنة فى نفس المسار، وهذا يفسر منع حركة سيارات النقل الثقيل على بعض المنحنيات الخطرة.

2. **السرعة المماسية (v)** : حيث تتناسب القوة الجاذبة المركزية طرديًا مع مربع السرعة (عند ثبات r ، m) ، فكلما زادت سرعة السيارة احتاجت لقوة جاذبة مركزية أكبر للحركة على المسار المنحنى، لذلك يحدد مهندسو الطرق سرعة معينة للحركة عند المنحنيات لا ينبغى تجاوزها.

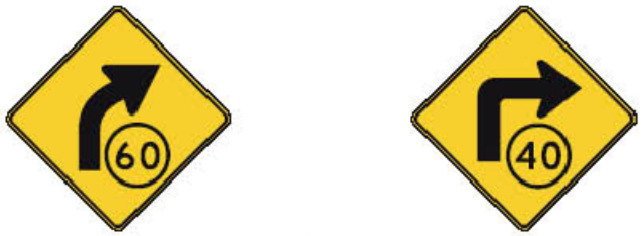
يوضح شكل (17) تأثير تغير سرعة جسم على مقدار القوة الجاذبة المركزية حتى يتحرك فى المسار المنحنى



شكل (17)

③ **نصف قطر الدوران (r)** : حيث تتناسب القوة الجاذبة المركزية عكسيًا مع نصف قطر المسار (عند ثبات m ، v)، فكلما قل نصف قطر المنحنى احتاجت السيارة لقوة مركزية أكبر لتدور فيه، وبالتالى تزداد خطورة هذا المنحنى، ولتجنب ذلك ينبغى السير بسرعة منخفضة على المنحنيات الخطرة.

الشكل التالى يوضح إرشادات مرورية تبين الحد الأقصى لسرعة المركبات عند بعض المنحنيات :

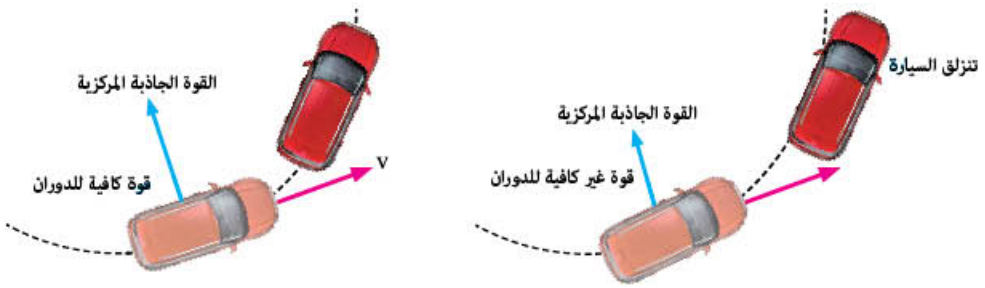


شكل (18)

ما تأثير تناقص القوة الجاذبة المركزية على نصف قطر الدوران ؟

عندما تتناقص القوة الجاذبة المركزية فإن هذا يعنى أن نصف قطر المسار الذى يتحرك فيه الجسم سيزداد، وذلك لأن ($F_c \propto \frac{1}{r}$)، أى أن الجسم سيبتعد عن مركز الدائرة، وإذا أصبحت القوة المركزية صفرًا فإنه سيتحرك فى خط مستقيم بسبب القصور الذاتى.

فإذا افترضنا أن سيارة تتحرك على مسار منحنى وكان الطريق زلقًا فإن قوى الاحتكاك قد تكون غير كافية لإدارة السيارة فى المسار المنحنى فتنزلق السيارة وتزحف الإطارات نحو جانب الطريق، ولا يمكن للسيارة أن تستمر فى المسار المنحنى.



شكل (19)

تنزلق السيارة خارج المسار المنحنى إذا كانت القوة الجاذبة المركزية غير كافية

تطبيقات حياتية

يستفاد من ظاهرة حركة الأجسام بعيدًا عن المسار الدائرى عندما تكون القوة الجاذبة المركزية غير كافية للحركة فى المسار الدائرى فى العديد من التطبيقات الحياتية والتى منها تجفيف الملابس، وصنع غزل البنات، ولعبة البراميل الدوارة فى الملاهى ففى تجفيف الملابس على سبيل المثال نجد أن جزيئات الماء ملتصقة بالملابس بقوة معينة، وعند دوران المجفف بسرعة كبيرة تكون هذه القوة غير كافية لإبقاء الجزيئات فى مدارها، وبالتالى تنطلق باتجاه المماس لمحيط دائرة الدوران وتنفصل عن الملابس.

شكل (20)

عند دوران المجفف بسرعة كبيرة تنطلق جزيئات الماء باتجاه المماس لمحيط دائرة الدوران

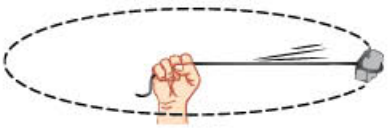
تصورات غير صحيحة

يعتقد البعض أنه أثناء حركة جسم فى مسار دائرى تدفعه قوة للخارج تسمى القوة الطاردة المركزية.

والصحيح أن تلك القوة ليس لها وجود فعلى، والشعور بالاندفاع للخارج ناتج عن القصور الذاتى الذى يحاول أن يجعل الجسم يتحرك فى خط مستقيم.

مثال

حجر كتلته 60 g مربوط فى خيط طوله 30 cm، احسب القوة الجاذبة المركزية اللازمة لدورانه بسرعة 3 m/s فى مسار دائرى وما الذى تتوقع حدوثه إذا كانت أقصى قوة شد يتحملها الخيط هى 1.5 N ؟



شكل (21)

الحل

حساب القوة الجاذبة المركزية :

$$F_c = m\frac{v^2}{r} = 0.06 \times \frac{(3)^2}{0.3} = 1.8\ N$$

وحيث إن القوة الجاذبة المركزية أكبر من أقصى قوة شد يتحملها الخيط لذا فإنه سينقطع. وحينها يتحرك الحجر فى خط مستقيم باتجاه المماس للمسار الدائرى الذى كان يسلكه لحظة انقطاع الخيط.

تنمية التفكير الناقد

القوة الجاذبة المركزية :

- قم بملء دلو إلى منتصفه بالماء وحركه فى دائرة رأسية، هل ينسكب الماء من فوهة الدلو ؟ ولماذا ؟

شكل (22)

أفكار لتنشيط الإبداع

- ابحث مستعينًا بشبكة الإنترنت عن آلية عمل أجهزة الطرد المركزى المستخدمة فى مجال التحاليل الطبية.
- من خلال بحثك، ناقش مع زملائك بالأمثلة :
  هل قوة الطرد المركزية لها وجود حقيقى أم لا ؟

شكل (23)

تلخيص

أولًا : التعاريف والمفاهيم الأساسية

- الحركة الدائرية المنتظمة : هى حركة جسم فى مسار دائرى بسرعة ثابتة فى المقدار، ومتغيرة فى الاتجاه.
- القوة الجاذبة المركزية : هى تلك القوة التى تؤثر باستمرار فى اتجاه عمودى على حركة الجسم فيتحرك الجسم فى مسار دائرى.
- العجلة المركزية : هى العجلة التى يكتسبها الجسم فى الحركة الدائرية نتيجة لتغير اتجاه السرعة.
- الزمن الدورى : هى الفترة الزمنية التى يتم خلالها الجسم دورة كاملة.

ثانيًا : القوانين والعلاقات الأساسية

- العجلة المركزية : $a_c = \frac{v^2}{r}$
- القوة الجاذبة المركزية : $F_c = m \frac{v^2}{r}$
- السرعة المماسية : $v = \frac{2\pi r}{T}$

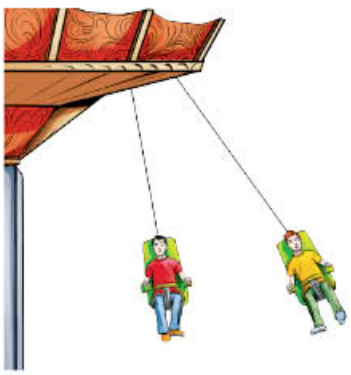
أسئلة وتمارين

أولًا : اختر الإجابة الصحيحة

1. تنتج قوة الجذب المركزية المؤثرة على سيارة تسير فى منحنى عن .....

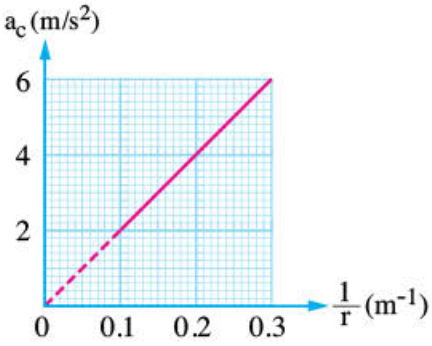
(أ) قوة جذب الأرض للسيارة
(ب) قوة الاحتكاك بين إطارات السيارة والطريق
(جـ) القصور الذاتى المؤثر على قائد السيارة
(د) قوة الفرامل

2. فـى أحـد ألعاب الملاهى تدور الـكراسى فـى مسـار دائـرى أفقى منتظم، فإذا كان أحد الكراسى على بُعد 1.5 m من المركز وآخر على بُعد 2 m من المـركز وكان كلاهما على استقامة واحدة من المركز كما بالشكل، فأيهما يتحرك بسرعة مماسية أكبر ؟



(أ) الكرسى الذى يبعد 1.5 m من المركز
(ب) الكرسى الذى يبعد 2 m من المركز
(جـ) كلاهما له نفس السرعة
(د) يجب معرفة الزمن الدورى لتحديد الإجابة

3. الشكل البيانى المقابل يوضح العلاقة بين العجلة المركزية (a_c) التى يتحرك بها جسـم فى مسـار دائرى أفقـى ومقلوب نصف قطر هذا المسار ($\frac{1}{r}$)، فإن السرعـة المماسية التى يتحرك بها الجسم تساوى .....

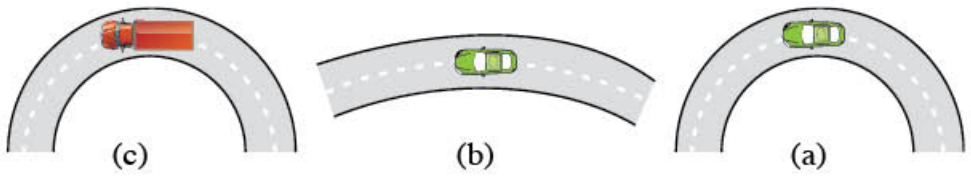


(أ) 4.47 m/s
(ب) 5.58 m/s
(جـ) 3.13 m/s
(د) 9.8 m/s

4. إذا زيد نصف قطر مدار جسيم يسير فى مدار دائرى إلى أربع أمثاله، فإن القوة المركزية اللازمة لإبقاء سرعة الجسيم ثابتة فى مساره الدائرى .....

(أ) تقل إلى نصف ما كانت عليه
(ب) تبقى ثابتة المقدار
(جـ) تزيد إلى مثلى ما كانت عليه
(د) تقل إلى ربع ما كانت عليه

5. الشكل التالى يوضح ثلاث سيارات a ، b ، c تتحرك فى ثلاثة طرق أفقية منحنية بنفس مقدار السرعة، فإذا كانت كتل السيارات هى m ، m ، 3 m على الترتيب، وأقطار مساراتها الدائرية هى d ، 2 d ، d على الترتيب، فإن الترتيب الصحيح لهذه السيارات من حيث إمكانية تعرضها لخطر الانزلاق هو .....



أ) b < a < c　　ب) a < b < c　　جـ) c < a < b　　د) c < b < a

ثانيًا : أسئلة المقال

1. اكتب المصطلح العلمى الذى تدل عليه كل من العبارات الآتية :

(أ) حركة جسم على محيط دائرة بسرعة ثابتة المقدار متغيرة الاتجاه. (.....)

(ب) الزمن الذى يستغرقه جسم يتحرك فى مسار دائرى ليتم دورة كاملة. (.....)

(جـ) قوة تؤثر على جسم يتحرك فى مسار دائرى فى اتجاه المركز دائمًا وعمودية على اتجاه السرعة الخطية له. (.....)

2. علل لما يأتى :

(أ) عند المنعطف يميل راكب الدراجة البخارية بدراجته وجسمه نحو مركز المسار الدائرى.

(ب) عند المنحنيات الخطرة، بعض السيارات تحافظ على سيرها فى المنحنى ولا تحيد عنه.

(جـ) رغم أن الجسم الذى يتحرك حركة دائرية منتظمة يتأثر بعجلة إلا أن سرعته الخطية ثابتة القيمة.

(د) خطورة التحرك بسرعات كبيرة فى منحنيات الطرق.

3. فى الشكلين التاليين، حدد فى كل حالة نوع القوة الجاذبة المركزية من بين (تجاذب مادى، تجاذب كهربى، قوة شد، قوة احتكاك) :

حركة القطار فى منحنى

الدوران فى لعبة الكراسى الطائرة

4. عند تدوير حجر مثبت فى نهاية خيط فى مسار دائرى أفقى، ما اتجاه القوة المؤثرة عليه والتى تحافظ عليه فى مساره الدائرى ؟ ما اتجاه الحركة لحظة انقطاع الخيط ؟

ثالثًا : التمارين

1. جسم كتلته 100 g يتحرك على محيط دائرة نصف قطرها 50 cm حركة دائرية منتظمة، بحيث يستغرق زمنًا قدره 90 s لعمل 45 دورة كاملة، احسب :

(أ) زمن الدورة.

(ب) السرعة الخطية.

(جـ) العجلة المركزية. $(2\ s\ ،\ 1.57\ m/s\ ،\ 4.9\ m/s^2)$

2. رُبط جسم كتلته 2 kg فى طرف خيط ليدور فى مسار دائرى أفقى نصف قطره 1.5 m بحيث يصنع 3 دورات فى 9 s، احسب :

(أ) السرعة الخطية (المماسية).

(ب) العجلة المركزية.

(جـ) قوة شد الخيط للجسم. $(3.14\ m/s\ ،\ 6.57\ m/s^2\ ،\ 13.14\ N)$

3. سيارة كتلتها 1000 kg تدور بسرعة ثابتة 5 m/s حول منحنى فى مستوى أفقى نصف قطره 50 m، احسب قوة الاحتكاك التى تحافظ على حركة السيارة حول المنحنى. (500 N)

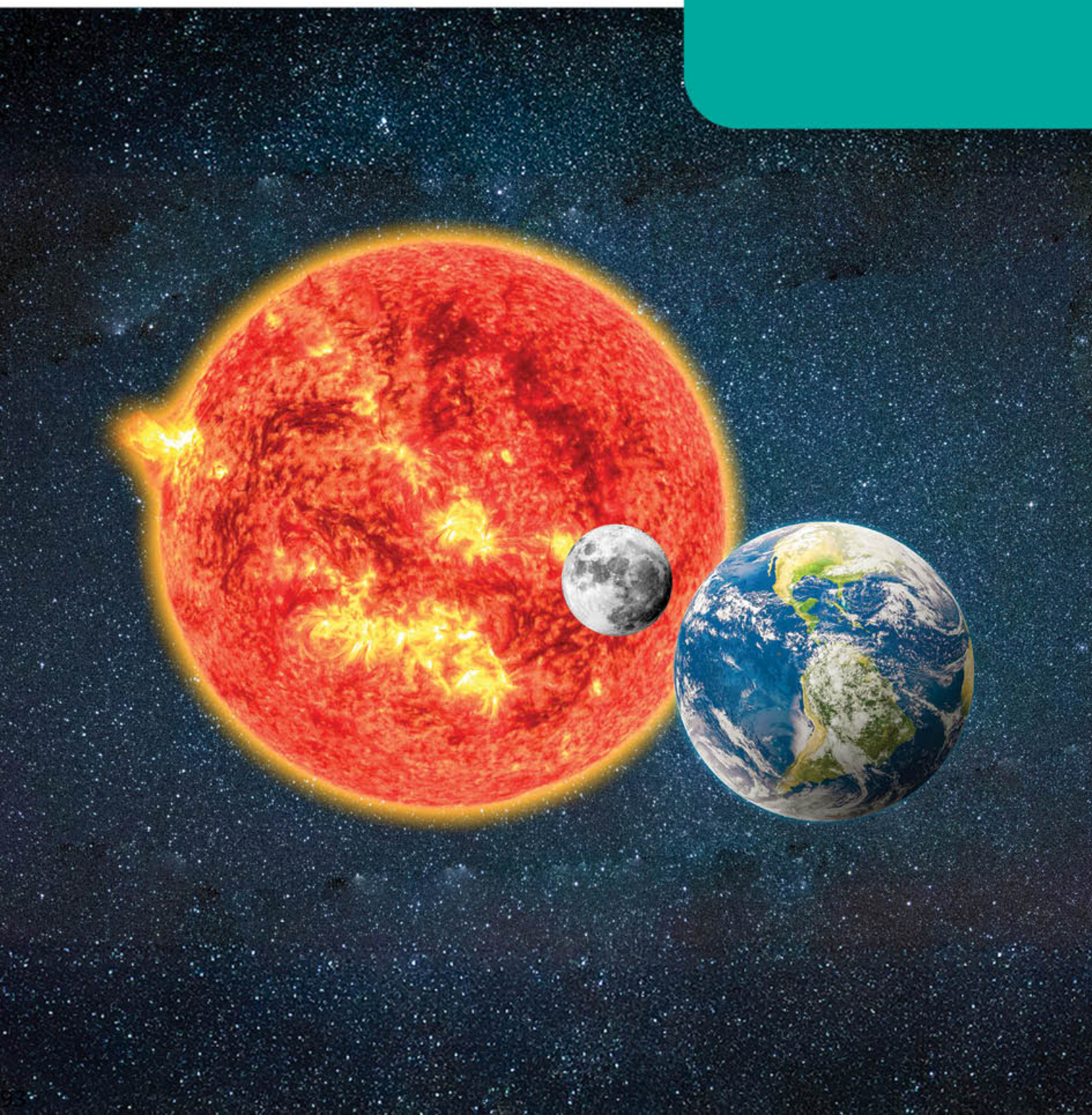
4. راكب دراجة يتحرك فى مسار دائرى بسرعة مماسية مقدارها 13.2 m/s، إذا كان نصف قطر المسار 40 m والقوة التى تحافظ على الدراجة فى مسارها الدائرى تساوى 377 N ، فاحسب كتلة الدراجة والراكب معًا. (86.5 kg)

5. سيارة سباق كتلتها 905 kg تتحرك فى دائرة أفقية محيطها 3.25 km ، احسب السرعة المماسية للسيارة إذا كانت القوة اللازمة للحفاظ على الحركة الدائرية للسيارة تساوى 2140 N (34.97 m/s)

الفصل

الخامس

الجاذبية الكونية والحركة الدائرية



نواتج التعلم المتوقعة

فى نهاية هذا الفصل تكون قادرًا على أن :

١- تستنتج قانون الجذب العام.

٢- تفسر دوران القمر حول الأرض فى مسار ثابت.

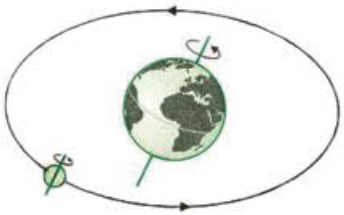
٣- تستنتج العوامل التى تعتمد عليها السرعة المدارية لقمر صناعى أثناء حركته حول كوكب.

مصطلحات الفصل

- الجذب العام Universal Gravitation
- ثابت الجذب العام Gravitational Constant
- مجال الجاذبية Gravitational Field
- شدة مجال الجاذبية Gravitational Field Intensity
- القمر الصناعى Satellite
- السرعة المدارية Orbital Velocity

مقـــدمة

تعلمنا فى دراستنا للحركة الدائرية المنتظمة كيف تتحرك الأجسام فى مسار دائرى بفعل قوة مركزية تُبقيها فى مسارها، لكن ما مصدر هذه القوة فى حالة القمر الذى يدور حول الأرض، أو الأرض التى تدور حول الشمس؟



شكل (1)
حركة القمر حول الأرض

فى هذا الفصل سنقترب أكثر من سر عظيم من أسرار الكون، وهو **قوة الجاذبية** التى تؤثر فى حركة الأجسام من أصغر ذرة إلى أعظم المجرات، ونكتشف كيف استطاع "نيوتن" أن يضع قانونًا يفسر به دوران الكواكب فى مداراتها. إن فهمنا لهذه القوة لا يقتصر على تفسير الظواهر الطبيعية فحسب، بل هو المفتاح أيضًا لتكنولوچيا عصرية مثل إطلاق الأقمار الصناعية واستكشاف الفضاء.

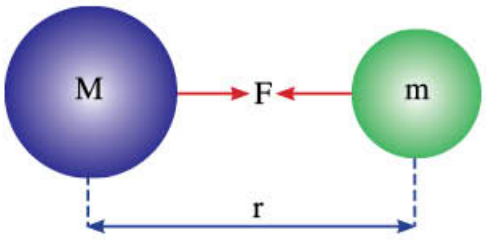
قانون الجذب العام

درس نيوتن طبيعة هذه القوة الجاذبة وتوصل أنها تتوقف على كتل الأجسام المتجاذبة كما تتوقف على المسافة الفاصلة بينها، وذلك على النحو التالى :

«كل جسم مادى فى الكون يجذب أى جسم آخر بقوة تتناسب طرديًا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًا مع مربع البُعد بين مركزيهما».

ويكتب القانون على الصورة :

$$F = G\frac{Mm}{r^2} \quad (1)$$



شكل (2)

حيث : (r) هى البُعد بين مركزى الجسمين، (G) ثابت التناسب وهو ثابت كونى عام يعرف بثابت الجذب العام وقيمته تساوى :

$$G = 6.67 \times 10^{-11}\ N.m^2.kg^{-2}$$

والجدير بالذكر أن قوة الجذب هى قوة متبادلة بين الجسمين فكل منهما يجذب الآخر نحوه بنفس القوة، وبسبب عمومية هذا القانون فإنه يُعرف **بقانون الجذب العام**.

مثـال

كرتان متماثلتان كتلة كل منهما 7.3 kg المسافة بين مركزيهما تساوى 0.5 m ، **احسب** قوة الجاذبية المتبادلة بينهما واكتب التعليق المناسب.

الحـل

من قانون الجذب العام فإن قوة الجذب تساوى :

$$F = \frac{GMm}{r^2} = \frac{(6.67 \times 10^{-11})\,(7.3)^2}{(0.5)^2}$$

$$F = 1.4 \times 10^{-8}\,N$$

فى هذا المثال نلاحظ أن قوة الجذب المتبادلة بين الكرتين صغيرة جدًا وذلك لأن قيمة ثابت الجذب العام صغيرة جدًا. وبالتالى لا تكون قوة الجاذبية بين الأجسام مؤثرة وكبيرة إلا عندما تكون الكتل كبيرة أو تكون المسافات الفاصلة بين الأجسام صغيرة، أو كلاهما معًا.

مجال الجاذبية Gravitational Field

علمنا أن قوة الجاذبية تتناسب عكسيًا مع مربع البُعد بين مركزى الجسمين، لذلك فهى تتناقص بشدة حتى يصل البُعد بينهما إلى مسافة يتلاشى عندها أثر الجذب لكل منهما على الآخر.

حينها يكون كل منهما قد أصبح خارج مجال جاذبية الجسم الآخر، ولذلك يعرّف **مجال الجاذبية** بأنه : «الحيز الذى تظهر فيه قوة الجاذبية».

شدة مجال الجاذبية الأرضية عند نقطة: هى قوة جذب الأرض لكتلة تساوى 1 kg عند تلك النقطة، ونرمز لها بالرمز "g" وتساوى عدديًا عجلة الجاذبية الأرضية عند تلك النقطة، وبتطبيق قانون الجذب العام نجد أن :

$$g = \frac{GM}{r^2} \qquad (2)$$

علمًا بأن : (M) كتلة الأرض = 5.98×10^{24} kg ، و(r) نصف قطر المسار ويساوى (R + h)،

حيث : (R) نصف قطر الكرة الأرضية = 6378 km ، و(h) الارتفاع عن سطح الأرض

من خلال العلاقة (2) استنتج العوامل التى تتوقف عليها شدة مجال الجاذبية الأرضية عند نقطة.

الأقمار الصناعية Satellites

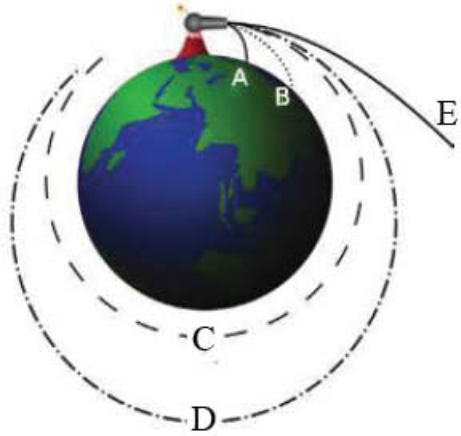
كان حلم الإنسان استكشاف الفضاء من حوله، وظل يطور أجهزة الرصد ويطور الصواريخ التى تُقذف بمركبة فضائية لتدور حول الأرض أو تنطلق إلى أبعاد أكبر لتصل مثلًا إلى كوكب آخر، مثل المريخ.

ولقد استيقظ العالم فى 4 من أكتوبر 1957م على مفاجأة النجاح فى إرسال قمر صناعى (سبوتنيك) إلى الفضاء كأول تابع فضائى لكوكب الأرض، أعقب ذلك نجاح الإنسان فى إرسال أقمار أخرى، بل ونجح فى النزول على سطح القمر الطبيعى ولا يزال استكشاف الفضاء يتواصل بنجاح كبير.

شكل (3)
إطلاق صاروخ لوضع قمر صناعى فى مداره

فكرة إطلاق القمر الصناعى

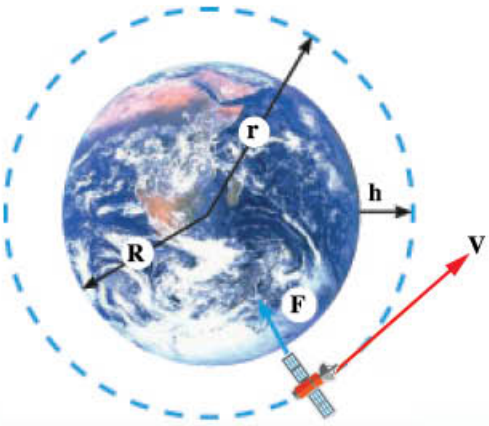
يعتبر (إسحاق نيوتن) أول من شرح الأساس العلمى لإطلاق الأقمار الصناعية، حيث تصور أنه عند إطلاق قذيفة مدفع أفقيًا من قمة جبل فإنها ستسقط سقوطًا حرًا، وتتخذ مسارًا منحنيًا نحو الأرض، وإذا زادت سرعة القذف فإنها ستصل إلى الأرض عند نقطة أبعد وتتبع مسارًا أقل انحناء، وعند تساوى انحناء مسار القذيفة مع انحناء سطح الأرض، فإنها تدور فى مسار ثابت، وتصبح تابعًا للأرض وتشبه فى دورانها حول الأرض دوران القمر الطبيعى حولها، لذلك يطلق عليها اسم القمر الصناعى Satellite



شكل (4)
إطلاق قذيفة أفقيًا

استنتاج السرعة المدارية للقمر الصناعى

بفرض أن هناك قمرًا صناعيًا كتلته (m) يتحرك بسرعة ثابتة (v) فى مدار دائرى نصف قطره (r) حول الأرض التى كتلتها (M) كما هو مبين فى الشكل :



شكل (5)
مدار القمر الصناعى حول الأرض

ونلاحظ أن قوة التجاذب بين القمر والأرض تكون عمودية على مسار حركة القمر، وتعمل على حركته فى مداره الدائرى، أى أن قوة التجاذب المادى بين القمر والأرض هى نفسها القوة الجاذبة المركزية.

أى أن :

$$F = m\frac{v^2}{r} = G\frac{mM}{r^2}$$

$$\cancel{m}\frac{v^2}{r} = G \times \frac{\cancel{m}M}{r^2}$$

ومن المعادلة السابقة يتضح أن سرعة القمر الصناعى التى تحفظه فى مداره :

$$v = \sqrt{G\frac{M}{r}} \qquad (3)$$

قيمة السرعة (v) من المعادلة (3) تمثل السرعة اللازم إكسابها للقمر الصناعى حتى يدور حول الأرض وتعرف بالسرعة المدارية، و(r) تمثل نصف قطر المدار الذى أطلق إليه فى الفضاء. وإذا كان الارتفاع عن سطح الأرض (h) ونصف قطر الأرض (R)، فإن نصف قطر المدار (r) : $r = R + h$

العوامل التى تعتمد عليها السرعة المدارية لقمر صناعى أثناء حركته حول كوكب :

من العلاقة (3) يتضح أن سرعة القمر الصناعى فى مداره لا تعتمد على كتلته ولكنها تعتمد على العوامل الآتية :

- كتلة الكوكب الذى يدور حوله.
- ارتفاع القمر الصناعى عن مركز الكوكب الذى يدور حوله.

شكل (6)
القمر الصناعى حول الأرض

معلومة إثرائية (للاطلاع فقط)

كلما زادت كتلة القمر الصناعى المراد إرساله للفضاء احتاج إطلاقه إلى صاروخ أكثر قدرة ليضع القمر الصناعى فى مداره ويكسبه السرعة اللازمة لدورانه حول الأرض.

تنمية التفكير الناقد

تُطلق بعض الأقمار الصناعية مثل أقمار الاتصالات فى مدار يجعلها تبدو ثابتة بالنسبة لموضع معين على سطح الأرض.

- كيف يمكن تحديد نصف قطر هذا المدار ؟

مثـال ١

شكل (7)

يدور القمر حول الأرض فى مسار دائرى نصف قطره 3.85×10^5 km ويكمل دورة كاملـة خـلال 27.3 يوم ، احسب كتلة الأرض (ثابت الجذب العام = 6.67×10^{-11} m^3. kg^{-1}. s^{-2} ، $\pi = 3.14$)

الحـل

حساب الزمن الدورى :

$$T = 27.3 \times 24 \times 60 \times 60 = 2.36 \times 10^6 \text{ s}$$

حساب سرعة القمر :

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2 \times 3.14 \times 3.85 \times 10^5 \times 10^3}{2.36 \times 10^6} = 1024.5 \text{ m/s}$$

حساب كتلة الأرض :

$$v^2 = G\frac{M}{r}$$

إذًا :

$$M = \frac{v^2 \times r}{G} = \frac{(1024.5)^2 \times 3.85 \times 10^5 \times 10^3}{6.67 \times 10^{-11}} = 6.06 \times 10^{24} \text{ kg}$$

مثـال ٢

شكل (8)

قمر صناعى يدور حول الأرض فى مدار شبه دائرى على ارتفاع 940 km من سطح الأرض احسب السرعة المدارية والزمن اللازم لكى يصنع دورة كاملة حول الأرض. (علمًا بأن : $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N.m^2 / kg^2 ، $M = 6 \times 10^{24}$ kg ، R = 6360 km ، $\pi = 3.14$)

الحـل

حساب نصف قطر دوران القمر حول الأرض :

$$r = R + h = 6360 + 940 = 7300 \text{ km} = 7.3 \times 10^6 \text{ m}$$

حساب السرعة المدارية :

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

$$v = \sqrt{6.67 \times 10^{-11} \times \frac{6 \times 10^{24}}{7.3 \times 10^6}} = 7.4 \times 10^3 \text{ m/s}$$

حساب الزمن الدورى :

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2 \times 3.14 \times 7.3 \times 10^6}{7.4 \times 10^3} = 6195 \text{ s}$$

ماذا لو

كان نصف قطر مدار القمر الصناعى ضعف قيمته الواردة فى المثال، ما أثر ذلك على زمنه الدورى ؟

أهمية الأقمار الصناعية Importance Of Satellites

أحدَثَ استخدام الأقمار الصناعية ثورة حقيقية فى مجالات عديدة، حيث اعتبر القمر الصناعى بمثابة برج شاهق الارتفاع يمكن استخدامه فى إرسال واستقبال الموجات اللاسلكية، وهناك العديد من أنواع الأقمار الصناعية منها :

شكل (9)
أهمية الأقمار الصناعية

1. **أقمار الاتصالات :** تسمح بالنقل التليفزيونى والإذاعى، والهاتفى من وإلى أى مكان على سطح الأرض.
2. **الأقمار الفلكية :** عبارة عن تليسكوبات كبيرة الحجم تسبح فى الفضاء، وتستطيع تصوير الفضاء بدقة.
3. **أقمار الاستشعار عن بُعد :** تُستخدم فى دراسة ومراقبة الطيور المهاجرة، وتحديد المصادر المعدنية وتوزيعها، ومراقبة المحاصيل الزراعية لحمايتها من مخاطر الطقس ودراسة تشكل الأعاصير.
4. **أقمار الاستطلاع والتجسس :** تُستخدم فى توفير المعلومات التى تحتاجها القيادات السياسية والعسكرية لاتخاذ القرار وإدارة الحرب.

تنمية التفكير الناقد

قد تسبب الجاذبية الأرضية سقوط الأجسام إلى سطح الأرض (مثل النيازك)، بينما قد تؤدى فى أحيان أخرى إلى دورانها (مثل الأقمار الصناعية) حول الأرض دون أن تصل إلى سطحها، كيف ذلك ؟

شكل (10)

تصورات غير صحيحة

يعتقد البعض أن الأقمار الصناعية تدور فى مدار واحد حول الأرض.
والصحيح أن الأقمار الصناعية تدور على ارتفاعات مختلفة عن سطح الأرض، فهناك :

- أقمار منخفضة المدار (LEO) على ارتفاع تقريبى من 200 km إلى 2000 km ، وتستخدم فى التصوير والاستشعار عن بُعد والمحطات الفضائية.
- أقمار متوسطة الارتفاع (MEO) على ارتفاع تقريبى من 2000 km إلى 35000 km ، وتستخدم غالبًا فى أنظمة تحديد المواقع.
- أقمار عالية الارتفاع أو ثابتة بالنسبة للأرض (GEO) على ارتفاع يقارب 36000 km ، وتستخدم فى الاتصالات والبث التليفزيونى والأرصاد الجوية.

تلخيص

أولًا : التعاريف والمفاهيم الأساسية

- قانون الجذب العام : كل جسم مادى فى الكون يجذب أى جسم آخر بقوة تتناسب طرديًا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًا مع مربع البُعد بين مركزيهما.
- مجال الجاذبية لجسم : الحيز الذى تظهر فيه قوة الجاذبية للجسم.
- شدة مجال الجاذبية الأرضية عند نقطة : هى قوة جذب الأرض لكتلة تساوى 1 kg ، وتساوى عدديًا عجلة الجاذبية الأرضية عند تلك النقطة.

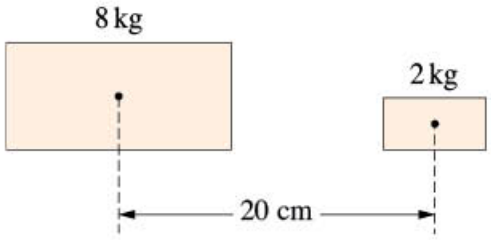
ثانيًا : القوانين والعلاقات الأساسية

- حساب قوة التجاذب المادى : $F = G\frac{Mm}{r^2}$
- حساب شدة مجال الجاذبية الأرضية عند نقطة : $g = \frac{GM}{r^2}$
- حساب السرعة المدارية للقمر الصناعى : $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$

أسئلة وتمارين

أولًا: اختر الإجابة الصحيحة

1. جسمان كتلتيهما 8 kg ، 2 kg والبُعد بينهما 20 cm كما بالشكل المقابل، فإذا علمت أن ثابت الجذب العام $6.67 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2$، فإن قوة التجاذب المادى المتبادلة بينهما تساوى .....



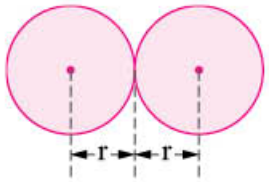
أ $2.67 \times 10^{-8}\ N$

ب $2.67 \times 10^{-12}\ N$

جـ $5.34 \times 10^{-9}\ N$

د $5.34 \times 10^{-11}\ N$

2. فى الشكل المقابل كرتان متماثلتان كتلة كل منهما m ونصف قطر كل منهما r وضعتا متلاصقتين، فإن مقدار قوة التجاذب المادى بينهما يعطى من العلاقة .....



أ $F = \frac{Gm^2}{r^2}$

ب $F = \frac{Gm^2}{4r^2}$

جـ $F = \frac{2Gm}{r^2}$

د $F = \frac{Gm^2}{2r^2}$

3. إذا كانت المسافة بين مركزى كرتين متماثلتين 1 m، وكانت قوة التجاذب بينهما تساوى $10^{-8}\ N$، فإن كتلة كل منهما تساوى ..... $(G = 6.67 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2)$

أ 1 kg

ب 12.2 kg

جـ 2×10^5 kg

د 0.1 kg

4. إذا تضاعفت المسافة بين مركزى جسمين وبقيت كتلتيهما ثابتتين فإن قوة التجاذب بينهما .....

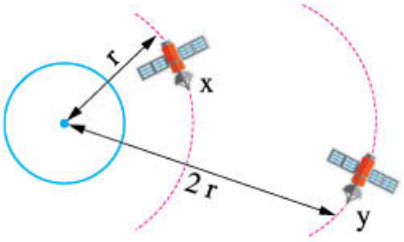
أ تتضاعف

ب تصبح نصف قيمتها الأصلية

جـ تصبح ربع قيمتها الأصلية

د تصبح أربعة أضعاف قيمتها

5. الشكل المقابل يوضح قمرين صناعيين x ، y يدوران حول كوكب، فإذا كان مقدار قوة جذب الكوكب للقمرين متساوى، فإن النسبة بين كتلتى القمرين $\left(\frac{m_x}{m_y}\right)$ تساوى .....



أ $\frac{1}{1}$ ب $\frac{1}{2}$

جـ $\frac{1}{4}$ د $\frac{4}{1}$

6. عجلة الجاذبية الأرضية .....

أ ثابت كونى عام

ب تختلف حسب الارتفاع عن سطح الأرض

جـ تختلف باختلاف فصول السنة

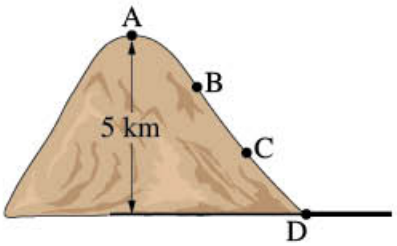
د تختلف حسب بُعد الأرض عن الشمس

7. قمران صناعيان (B) ، (A) يدوران حول الأرض، فإذا كان نصف قطر مدار القمر (A) يساوى أربعة أمثال نصف قطر مدار القمر (B)، فإن النسبة بين سرعة القمر (A) إلى سرعة القمر (B) $\left(\frac{v_A}{v_B}\right)$ تساوى .....

أ $\frac{2}{1}$ ب $\frac{4}{1}$ جـ $\frac{1}{2}$ د $\frac{1}{4}$

ثانيًا: أسئلة المقال

1. فى الشكل المقابل جبل ارتفاعه 5 km، عند أى النقاط A ، B ، C ، D تكون شدة مجال الجاذبية الأرضية أقل ؟ ولماذا ؟



2. تدور محطة الفضاء الدولية حول الأرض فى مدار نصف قطره r بحيث تتم دورة كاملة حول الأرض خلال زمن T، فإذا انفصل عنها جزء كتلته 0.1 من كتلة المحطة، فسر ماذا يحدث للزمن الدورى للمحطة حول الأرض.

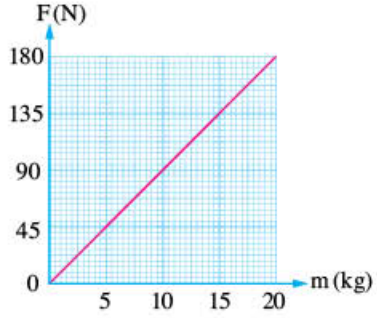
ثالثًا : التمارين

1. إذا كانت كتلة كوكب عطارد 3.3×10^{23} kg ونصف قطره 2.439×10^{6} m، فكم يكون وزن جسم كتلته 65 kg على سطحه وكم يكون وزن نفس الجسم على سطح الكرة الأرضية ؟

(علمًا بأن : ثابت الجذب العام $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N.m^2.kg^{-2} ، عجلة الجاذبية الأرضية عند سطح الأرض $g = 9.8$ m/s^2)

(240.5 N ، 637 N)

2. عدة أجسام مختلفة الكتلة توجد على سطح كوكب كتلته 4.88×10^{24} kg، والشكل البيانى المقابل يمثل العلاقة بين قوة جذب الكوكب (F) لكل من هذه الأجسام وكتلة كل جسم (m)، احسب :



(علمًا بأن : $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N.m^2/kg^2)

(أ) شدة مجال جاذبية هذا الكوكب عند سطحه.

(ب) نصف قطر الكوكب. (9 N/kg ، 6×10^3 km)

3. قمر صناعى يدور فى مدار على ارتفاع h = 300 km من سطح الأرض أوجد :

(علمًا بأن : نصف قطر الأرض R = 6378 km ، كتلة الأرض $M = 6 \times 10^{24}$ kg ، ثابت الجذب العام $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N.m^2.kg^{-2} ، عجلة الجاذبية الأرضية عند سطح الأرض $g = 9.8$ m/s^2) :

(أ) سرعته فى مداره.

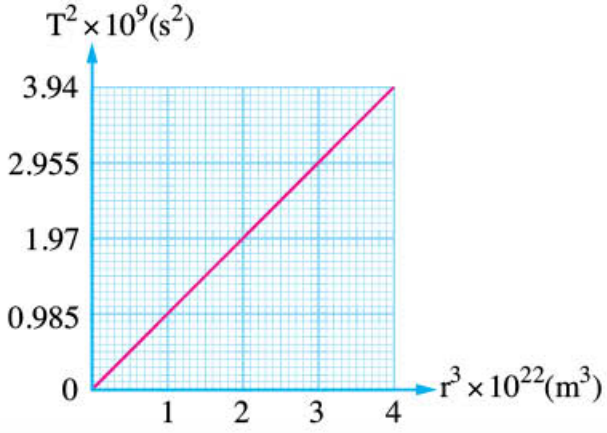
(ب) زمن دورة القمر الصناعى حول الأرض.

(جـ) قيمة عجلة الجاذبية الأرضية عند مداره. (7.7×10^3 m/s ، 5.45×10^3 s ، 8.97 m/s^2)

4. على أى ارتفاع من سطح الأرض يجب أن يدور قمر صناعى، بحيث يكون زمن دورانه حول الأرض مساويًا لزمن دوران الأرض حول محورها.

(علمًا بأن : ثابت الجذب العام $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N.m^2.kg^{-2}، كتلة الأرض $M = 5.98 \times 10^{24}$ kg، نصف قطر الأرض R = 6378 km) (3.59×10^7 m)

5. عدة أقمار صناعية تدور حول كوكب فى مدارات مختلفة فى نصف القطر، والشكل البيانى المقابل يمثل العلاقة بين مربع الزمن الدورى للقمر حول الكوكب (T^2) ومكعب نصف قطر مدار القمر (r^3)، احسب كتلة الكوكب.



(علمًا بأن : $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N.m^2/kg^2)

(6×10^{24} kg)