دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي

١١
الجزء الأول

الفيزياء

مركز المناهج

بسم الله الرحمن الرحيم

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي

الفيزياء

الجزء الأول

للصف الأول الثانوي

العلمي والصناعي

المؤلفون

د. عزيز شوابكة
سالم طنجير
رشا عمر «مركز المناهج»

د. وائل قراعين
باسمة بلبيسي

خديجة عبد اللطيف أبو اسليمة
محمد كايد صباح
أحمد سياعرة «مركز المناهج»

قررت وزارة التربية والتعليم العالي في دولة فلسطين

تدريس كتاب الفيزياء للصف الأول الثانوي في مدارسها للعام الدراسي ٢٠٠٥ / ٢٠٠٦م

الإشراف العام

رئيس لجنة المناهج: د. نعيم أبو الحمص

مدير عام مركز المناهج: د. صلاح ياسين

مركز المناهج

إشراف تربوي : د.عمر أبوالحمص

الدائرة الفنية

- **إشراف إداري:** رائد بركات
- **تصميم:** عبد الجبار دويكات
- **الإعداد المحوسب للطباعة:** حمدان بحبوح
- **تحرير لغوي:** كمال بواطنة
- **تنضـيد:** أمينة سالم

الفريق الوطني لمنهاج الفيزياء للمرحلة الثانوية

عزيز شوابكة «منسقاً» — د. شحادة عبده

زاهر عطوه — وحيد جبران

محمد مقدادي — رشا عمر «المناهج» — أحمد سياعرة «المناهج»

الطبعة الأولى التجريبية

٢٠٠٥م/١٤٢٦ هـ

مركز المناهج – حي المصيون – شارع المعاهد – أول شارع على اليمين من جهة مركز المدينة

ص .ب ٧١٩ – رام الله – فلسطين

تلفون ٢٩٦٩٣٥٠-٢-٩٧٠+ ، فاكس ٢٩٦٩٣٧٧-٢-٩٧٠+

الصفحة الالكترونية: www.pcdc.edu.ps – العنوان الالكتروني: pcdc@palnet.com

تمهيد

رأت وزارة التربية والتعليم العالي ضرورة وضع منهاج يراعي الخصوصية الفلسطينية؛ لتحقيق طموحات الشعب الفلسطيني حتى يأخذ مكانه بين الشعوب. إن بناء منهاج فلسطيني يعد أساساً مهمّاً لبناء السيادة الوطنية للشعب الفلسطيني، وأساساً لترسيخ القيم والديمقراطية، وهوحق إنساني، وأداة تنمية للموارد البشرية المستدامة التي رسختها مبادئ الخطة الخمسية للوزارة.

وتكمن أهمية المنهاج في أنه الوسيلة الرئيسة للتعليم، التي من خلالها تتحقق أهداف المجتمع؛ لذا تولي الوزارة عناية خاصة بالكتاب المدرسي، أحد عناصر المنهاج؛ لأنه المصدر الوسيط للتعلم، والأداة الأولى بيد المعلم والطالب، إضافة إلى غيره من وسائل التعلم: الإنترنت، والحاسوب، والثقافة المحلية، والتعلم الأسري، وغيرها من الوسائط المساعدة.

أقرت الوزارة هذا العام (٢٠٠٥/ ٢٠٠٦)م تطبيق المرحلة السادسة من خطتها للمنهاج الفلسطيني، لكتب الصف الأول الثانوي (١١) بفروعه: العلمي، والعلوم الإنسانية، والمهني، والتقني، بالإضافة إلى تطوير بعض كتب المرحلة الأساسية (١-١٠)، وسيتبعها كتب منهاج الصف الثاني الثانوي(١٢) في العام القادم، وبها تكون وزارة التربية والتعليم العالي قد أكملت إعداد جميع الكتب المدرسية للتعليم العام للصفوف(١-١٢)، وتعمل الوزارة حالياً على توسيع البنية التحتية في مجال الشبكات والتعليم الإلكتروني، وعمل دراسات تقويمية وتحليلية لمناهج المراحل الثلاث، في جميع المباحث (أفقياً وعمودياً)؛ لمواصلة التطوير التربوي، وتحسين نوعية التعليم الفلسطيني.

وتعد الكتب المدرسية وأدلة المعلم التي أنجزت للصفوف الأحد عشر حتى الآن، وعددها يقارب ٣٥٠ كتاباً، ركيزة أساسية في عملية التعليم والتعلم، بما تشتمل عليه من معارف ومعلومات عُرضت بأسلوب سهل ومنطقي؛ لتوفير خبرات متنوعة، تتضمن مؤشرات واضحة، تتصل بطرائق التدريس، والوسائل والأنشطة وأساليب التقويم، وتتلاءم مع مبادئ الخطة الخمسية المذكورة أعلاه.

وتتم مراجعة الكتب وتنقيحها وإثراؤها سنويّاً بمشاركة التربويين والمعلمين والمعلمات الذين يقومون بتدريسها، وترى الوزارة الطبعات من الأولى إلى الرابعة طبعات تجريبية قابلة للتعديل والتطوير؛ كي تتلاءم مع التغيرات في التقدم العلمي والتكنولوجي ومهارات الحياة. إن قيمة الكتاب المدرسي الفلسطيني تزداد بمقدار ما يبذل فيه من جهود، ومن مشاركة أكبر عدد ممكن من المتخصصين في مجال إعداد الكتب المدرسية، الذين يحدثون تغييراً جوهريّاً في التعليم، من خلال العمليات الواسعة من المراجعة، بمنهجية رسخها مركز المناهج في مجالي التأليف والإخراج في طرفي الوطن الذي يعمل على توحيده.

إن وزارة التربية والتعليم العالي لايسعها إلا أن تتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى المؤسسات والمنظمات الدولية، والدول العربية والصديقة وبخاصة حكومة بلجيكا؛ لدعمها المالي لمشروع المناهج.

كما أن الوزارة لتفخر بالكفاءات التربوية الوطنية، التي شاركت في إنجاز هذا العمل الوطني التاريخي من خلال اللجان التربوية، التي تقوم بإعداد الكتب المدرسية، وتشكرهم على مشاركتهم بجهودهم المميزة، كلٌّ حسب موقعه، وتشمل لجان المناهج الوزارية، ومركزالمناهج، والإقرار، والمؤلفين، والمحررين، والمشاركين بورشات العمل، والمصممين، والرسامين، والمراجعين، والطابعين، والمشاركين في إثراء الكتب المدرسية من الميدان أثناء التطبيق.

وزارة التربية والتعليم العالي
مركز المناهج
أيلول ٢٠٠٥ م

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء والمرسلين وبعد.

فإننا نقدم كتاب الفيزياء للصف الأول الثانوي العلمي إلى معلمينا وطلبتنا الأعزاء في فلسطين ؛ ليكون مكملاً لما ورد من مفاهيم فيزيائية في كتب العلوم العامة في المرحلة الأساسية ؛ وذلك ترجمة للأهداف التي وضعت في خطة المنهاج الفلسطيني الأول كما وردت في الخطوط العريضة لمبحث الفيزياء ، آملين أن نكون قد وفقنا في تحقيق الأهداف المرجوة .

لقد اعتمدت بنية هذا الكتاب على اتجاهات حديثة في علم الفيزياء ، تم فيها ربط غالبية فروع هذا العلم ضمن مفهوم واحد هو الطاقة .

عالج هذا الكتاب مفهوم الطاقة في ثلاث وحدات :

الوحدة الأولى : استعرضت أساسيات علم القوى ، والحركة ، ومفهومي الشغل ، والطاقة وتحولاتها .

الوحدة الثانية : استعرضت طرق انتقال الطاقة فيما يعرف بالحركة الموجية ، أما الوحدة الثالثة فاستعرضت الطاقة الحرارية وقوانين التحريك الحراري .

وتضمنت كل وحدة عدة فصول ، وقد ألحق بكل فصل أسئلة تقييمية إضافة إلى أسئلة ختامية في نهاية كل وحدة .

وقد جاءت لغة الكتاب مخاطبة الطالب ومشجعة على تفاعله مع المادة العلمية ، عن طريق ربط معرفته السابقة باللاحقة ، كما احتوى الكتاب على الكثير من الرسومات البيانية والأشكال التوضيحية والاستقصاءات وقضايا البحث والمناقشة ، إضافة إلى نشاطات عملية وأمثلة ، وأسئلة متنوعة ؛ بهدف تعزيز المفاهيم العلمية ، وربط المعرفة النظرية بالحياة العملية .

وقد تم استخدام الهوامش لإثراء المنهاج من خلال تعزيز المفاهيم برسوم توضيحية ومعلومات إضافية ونشاطات ذهنية متنوعة .

وبما أن هذه الطبعة من الكتاب تجريبية ، فإننا نأمل من زملائنا المعلمين والمشرفين التربويين وطلبتنا الأعزاء تزويدنا بملاحظاتهم واقتراحاتهم ونقدهم البناء ؛ لرفع مستوى الكتاب وتحسينه في الطبعات القادمة .

المؤلفون

المحتــويـــات

الوحـــدة

١

الميكا نيكا

MECHANICS

١ المتجهات (Vectors)

درست سابقاً الكميات الفيزيائية وأنواعها وتعرفت أنها إما كميات عددية (قياسية)، وإما كميات متجهة، وعرفت أن الكميات العددية هي كميات تحدد بمقدار ووحدة قياس فقط، مثل : الحجم ، ودرجة الحرارة، والطاقة، والكتلة، والقدرة، فنقول مثلاً: تبلغ مساحة فلسطين ٢٧,٠٢٧ كم^{٢}، ويبلغ طول القلم ٢٥سم، وتطبق عليها العمليات الخاصة بالأعداد، وتحدد الكميات المتجهة بمقدار ووحدة قياس واتجاه، مثل: السرعة، والقوة، والإزاحة، فنقول: تتحرك السيارة بسرعة ٧٠ كم/ ساعة شرقاً، والقوة المؤثرة على الجسم ٥٠٠ نيوتن نحو مركز الأرض، وتطبق عليها العمليات الخاصة بجبر المتجهات.

فكيف يتم تمثيل الكميات المتجهة؟ وكيف يتم إجراء العمليات عليها ؟

هذه الأسئلة، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك لهذا الفصل ، وستكون قادراً على أن :

- تمثل الكميات المتجهة بالرسم.
- تتعرف مفهوم جمع المتجهات.
- تحلل الكمية المتجهة إلى مركباتها في المستوى الديكارتي.
- تجمع الكميات المتجهة عن طريق جمع مركباتها.
- تتعرف مفهوم ضرب المتجهات.
- تحل أمثلة عددية باستخدام جبر المتجهات.

١ - ١ تمثيل الكميات المتجهة

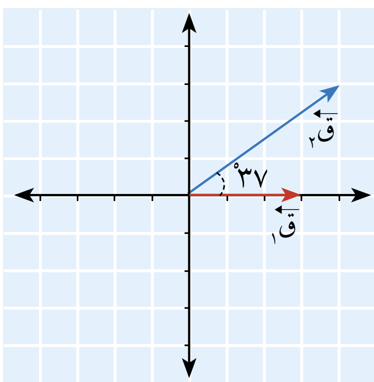
تمثل الكميات المتجهة بيانياً بقطعة مستقيمة متجهة بحيث يمثل طول القطعة مقدار الكمية المتجهة ويدل اتجاه القطعة على اتجاه الكمية .

مثال (١):

مثّل بيانياً الكميات المتجهة الآتية :

أ . قوة مقدارها ١٥ نيوتن نحو الشرق .

ب . قوة مقدارها ٢٥ نيوتن ٣٧° شمال الشرق .



الشكل (١) : تمثيل المتجهات

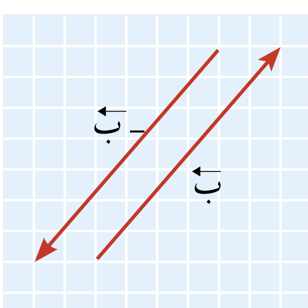
الحل:

أ . نختار مقياس رسم مناسب (١سم يمثل ٥ نيوتن) . نرسم محاور المستوى الديكارتي، ثم نرسم قطعة مستقيمة طولها ٣سم على محور السينات باتجاه الشرق .

ب . نرسم قطعة مستقيمة طولها ٥سم باتجاه يصنع زاوية ٣٧° مع الشرق، انظر الشكل (١) .

معكوس المتجه:

نعرف معكوس المتجه ب⃖ بأنه متجه له نفس مقدار المتجه ب⃖ ويعاكسه في الاتجاه . ويمثل بيانياً كما في الشكل(٢) .



الشكل (٢) : معكوس المتجه

سؤال

مثّل بيانياً الكميات المتجهة الآتية :

أ . قوة مقدارها ١٠ نيوتن باتجاه الشمال الغربي .

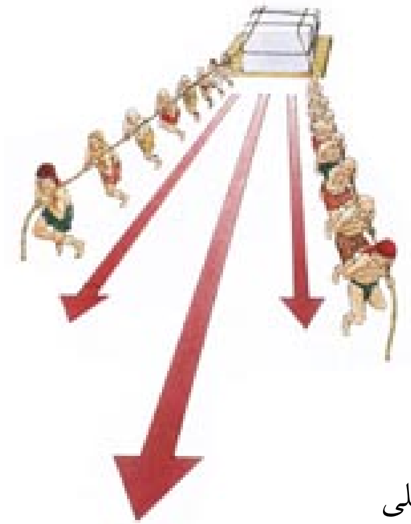
ب . قوة مقدارها ١٠ نيوتن بعكس اتجاه القوة الأولى .

١ - ٢ جمع الكميات المتجهة :

عندما تؤثر قوتان أو أكثر على جسم ما كما في الشكل(٣)، ففي أي اتجاه تتوقع أن يتحرك الجسم؟ وما القوة التي تؤثر عليه؟

نسمي القوة التي تؤثر على الجسم نتيجة تأثير عدة قوى بمحصلة القوى، ويحدد اتجاهها بالاتجاه الذي يتحرك فيه الجسم .

القوة المحصلة: هي قوة تعمل عمل قوتين، أو مجموعة من القوى مجتمعة .



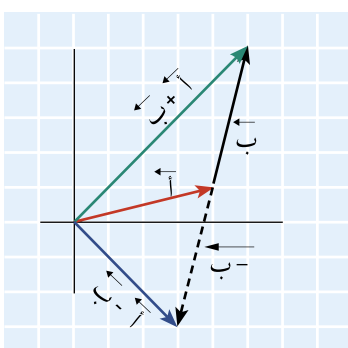
الشكل (٣): محصلة القوى

ومن الجدير ذكره أن حاصل جمع المتجهين يسمى أيضاً محصلتهما، وتجمع المتجهات بثلاث طرق، هي:

أولاً: الطريقة الهندسية:

أ. جمع المتجهات:

تجمع المتجهات هندسياً عن طريق تركيب ذيل أحد المتجهين على رأس المتجه الآخر بنفس مقياس الرسم، مع المحافظة على اتجاهه، ثم وصل ذيل المتجه الأول مع رأس المتجه الثاني، فيكون المتجه الناتج هو المتجه الممثل لمجموع المتجهين مقداراً واتجاهاً (المحصلة)



الشكل (٤): جمع المتجهات

ب. طرح المتجهات:

بما أن معكوس $\overleftarrow{\text{ب}}$ = $-\overleftarrow{\text{ب}}$، فإن عملية طرح المتجهات هي فعلياً عملية جمع مع معكوس المتجه:

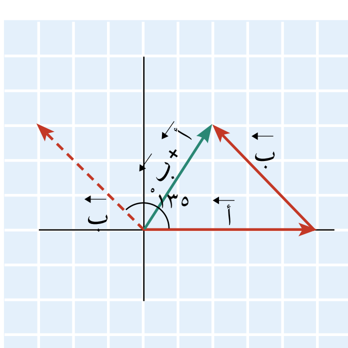
$\overleftarrow{\text{أ}} - \overleftarrow{\text{ب}} = \overleftarrow{\text{أ}} + (-\overleftarrow{\text{ب}})$، انظر الشكل (٤)

مثال (٢):

لديك المتجهان $\overleftarrow{\text{أ}}$ = ٥ نيوتن باتجاه الشرق، و $\overleftarrow{\text{ب}}$ = ٣ $\sqrt{٢}$ نيوتن باتجاه الشمال الغربي، جد:

١. $\overleftarrow{\text{أ}} + \overleftarrow{\text{ب}}$ ٢. $\overleftarrow{\text{أ}} - \overleftarrow{\text{ب}}$

الحل:



١. نرسم المتجه $\overleftarrow{\text{أ}}$ باستخدام مقياس رسم مناسب (١ سم يمثل ١ نيوتن مثلاً) باتجاه الشرق. كما في الشكل.

٢. نرسم المتجه $\overleftarrow{\text{ب}}$ باستخدام نفس مقياس الرسم باتجاه ١٣٥° مع الشرق.

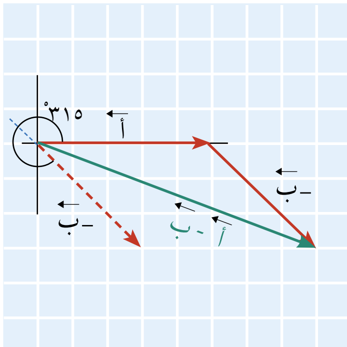
٣. نركب المتجه $\overleftarrow{\text{ب}}$ على المتجه $\overleftarrow{\text{أ}}$ بحيث يتم وضع ذيل $\overleftarrow{\text{ب}}$ على رأس $\overleftarrow{\text{أ}}$ مع الحفاظ على اتجاه $\overleftarrow{\text{ب}}$

٤. نصل بين ذيل المتجه $\overleftarrow{\text{أ}}$ ورأس المتجه $\overleftarrow{\text{ب}}$، فيكون المتجه الناتج ممثلاً للمحصلة $\overleftarrow{\text{أ}} + \overleftarrow{\text{ب}}$ مقداراً واتجاهاً.

٥. نقيس طول المتجه الناتج ($\overleftarrow{\text{أ}}$ + $\overleftarrow{\text{ب}}$) بالمسطرة، ونحدد زاوية ميله عن محور السينات بالمنقلة.

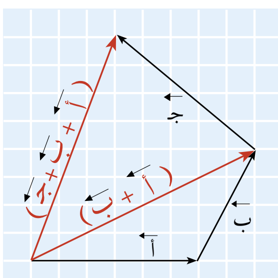
٦. نرسم المتجه (− $\overleftarrow{\text{ب}}$) باستخدام نفس مقياس الرسم كما في الشكل.

٧. نكرر الخطوات (٣، ٤، ٥) فيكون المتجه الناتج ممثلاً للمحصلة $\overleftarrow{\text{أ}}$ − $\overleftarrow{\text{ب}}$ مقداراً واتجاهاً.



إيجاد محصلة عدة متجهات:

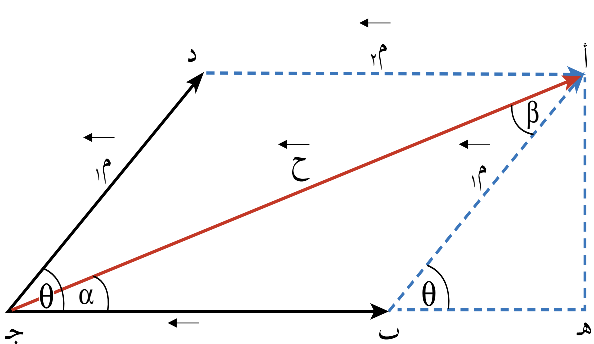
لإيجاد المحصلة لأكثر من متجهين، نركب المتجهات بحيث يقع ذيل المتجه الثاني على رأس المتجه الأول، وذيل المتجه الثالث على رأس المتجه الثاني وهكذا، ثم نصل بين ذيل المتجه الأول ورأس المتجه الأخير كما في الشكل(٥)، ويكون المتجه الناتج ممثلاً للمحصلة مقداراً واتجاهاً.



الشكل (٥): جمع عدة متجهات

ثانياً: طريقة متوازي الأضلاع:

إذا أمكن تمثيل متجهين بضلعين متجاورين يخرجان من نفس النقطة، ويحصران بينهما زاوية مقدارها θ في متوازي أضلاع، فإن قطر متوازي الأضلاع الخارج من نفس النقطة يمثل المحصلة مقداراً واتجاهاً. انظر الشكل (٦).



الشكل (٦): طريقة متوازي الأضلاع

ولحساب قيمة المحصلة رياضياً ننزل العمود (أهـ) على امتداد الضلع (جـ ب) الذي يمثل المتجه $\overleftarrow{\text{م}}_{٢}$ فنحصل على المثلث القائم الزاوية أ هـ ب.

باستخدام نظرية فيثاغورس نحصل على:

ح^{٢} = (أ جـ)^{٢} = (هـ جـ)^{٢}+ (أ هـ)^{٢}

لكن (هـ جـ) = (هـ ب + ب جـ)

ح^{٢} = (هـ ب+ ب جـ)^{٢} + (أ هـ)^{٢}

= (هـ ب)^{٢} + (ب جـ)^{٢} + ٢ (هـ ب) (ب جـ) + (أ هـ)^{٢}

لاحظ أن: (هـ ب) = (أ ب) جتاθ، (أ هـ) = (أ ب) جاθ

ح^{٢} = (أ ب)^{٢} جتا$^{٢}\theta$ + (ب جـ)^{٢} + ٢ (أ ب)(ب جـ) جتاθ + (أ ب)^{٢} جا$^{٢}\theta$

= (أ ب)^{٢} (جتا$^{٢}\theta$ + جا$^{٢}\theta$) + (ب جـ)^{٢} + ٢ (أ ب) (ب جـ) جتاθ

$$= (\text{أ ب})^{٢} + (\text{ب جـ})^{٢} + ٢\,(\text{أ ب})\,(\text{ب جـ})\ \text{جتا}\theta$$

$$\text{ح} = \sqrt{(\text{م}_{١})^{٢} + (\text{م}_{٢})^{٢} + ٢\ \text{م}_{١}\ \text{م}_{٢}\ \text{جتا}\theta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$

من الشكل السابق نلاحظ أن :

أ هـ = أ ب جا θ = أ جـ جا α ؛ أي أن :

$\dfrac{\text{أ ب}}{\text{جا}\alpha} = \dfrac{\text{أ جـ}}{\text{جا}\,\theta}$ ، وحيث أن جا θ = جا (١٨٠ − θ) ، فإنه يمكن تعميم العلاقة السابقة كما يلي :

إذا أمكن تمثيل متجهين بضلعين في مثلث فإن حاصل قسمة طول أي ضلع في المثلث على جيب الزاوية المقابلة له قيمة ثابتة ، أي أن

$$\frac{\text{ح}}{\text{جا}\,(١٨٠-\theta)} = \frac{\text{م}_{٢}}{\text{جا}\,\beta} = \frac{\text{م}_{١}}{\text{جا}\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢)$$

وتعرف هذه العلاقة بقانون الجيوب أو (قاعدة لامي) .

سؤال

إذا أثرت قوتان على جسم ما فأوجد قيمة المحصلة في الحالات الآتية :

- عندما تكون القوتان بنفس الاتجاه .
- عندما تكون القوتان متعاكستين .
- عندما تكون القوتان متعامدتين .

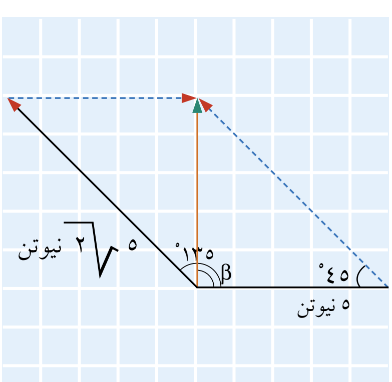
مثال (٣):

تؤثر القوتان ٥ نيوتن باتجاه الشرق ، و$٥\sqrt{٢}$ نيوتن باتجاه ١٣٥° مع الشرق في جسم مادي صلب .
احسب محصلة هاتين القوتين مقداراً واتجاهاً؟

الحل:

$$\text{ح} = \sqrt{(\text{ق}_{١})^{٢} + (\text{ق}_{٢})^{٢} + ٢(\text{ق}_{١}) \times (\text{ق}_{٢}) \times \text{جتا}\theta}$$

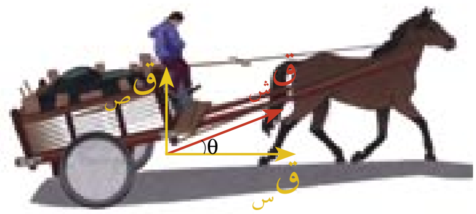
$$\text{ح} = \sqrt{٢٥ + ٥٠ + ٥٠\sqrt{٢} \times \frac{-١}{\sqrt{٢}}} = \sqrt{٢٥} = ٥ \ \text{نيوتن}$$



بتطبيق قانون الجيوب ، $\dfrac{\text{ح}}{\text{جا}\,٤٥} = \dfrac{٥\sqrt{٢}}{\text{جا}\,\beta}$

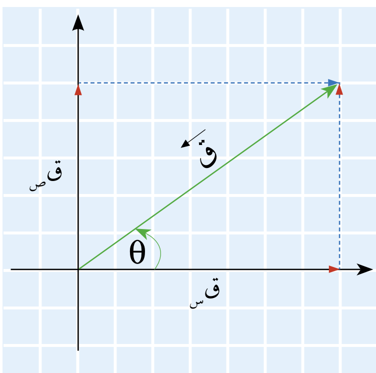
$\text{جا}\beta = ١ \Leftarrow \beta = ٩٠°$

ثالثاً: طريقة التحليل:



الشكل (٧) : تحليل القوى

في الشكل (٧) حصان يجر عربة بوساطة حبل باتجاه يصنع زاوية θ مع الأفقي. نحلل قوة الشد في الحبل إلى مركبتين، إحداهما باتجاه محور السينات ($ق_{س}$)، والأخرى باتجاه محور الصادات ($ق_{ص}$).



الشكل (٨) : مركبات القوة

تسمى عملية إيجاد مركبات القوة بعملية تحليل القوى؛ أي استبدال القوة ($\vec{ق}$) بقوتين متعامدتين على محوري (س، ص)، انظر الشكل (٨)، $ق_{س} = ق \text{ جتا } \theta$

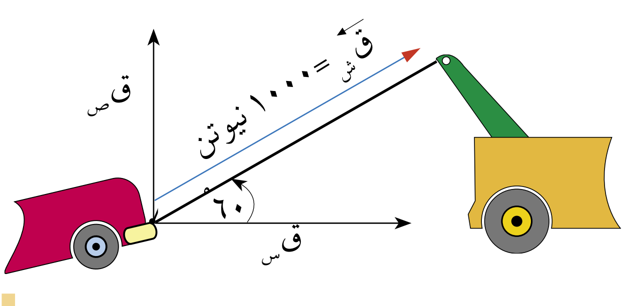
$ق_{ص} = ق \text{ جا } \theta$

والزاوية التي يصنعها $\vec{ق}$ مع محور السينات تحسب من العلاقة :

$$\text{ظا } \theta = \frac{ق_{ص}}{ق_{س}}$$

مثال (٤):

في الشكل المجاور شاحنة تحاول رفع مقدمة سيارة، فإذا كانت قوة الشد في الحبل ١٠٠٠ نيوتن باتجاه يميل ٦٠° عن الأفقي، أوجد قوتي الشد العمودية والأفقية اللتان تؤثران على السيارة.



الحل:

$ق_{س} = ق_{ش} \text{ جتا } ٦٠°$

$= ١٠٠٠ \times \frac{١}{٢} = ٥٠٠$ نيوتن

$ق_{ص} = ق_{ش} \text{ جا } ٦٠°$

$= ١٠٠٠ \times \frac{\sqrt{٣}}{٢} = ٥٠٠ \sqrt{٣}$ نيوتن

حساب محصلة عدة قوى متلاقية في نقطة بطريقة التحليل؟

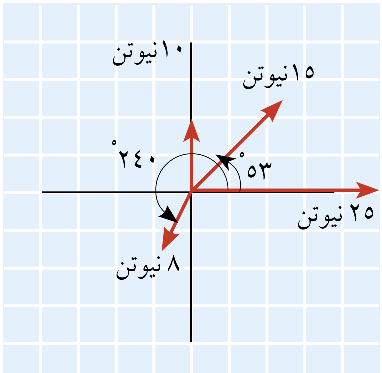
لحساب محصلة عدة قوى متلاقية في نقطة بطريقة التحليل نقوم بما يأتي :

١. نحلل كل قوة إلى مركبتيها السينية والصادية.
٢. نحسب محصلة القوى السينية ($\Sigma ق_{س}$ = المجموع الجبري للقوى المؤثرة باتجاه المحور السيني).
٣. نحسب محصلة القوى الصادية ($\Sigma ق_{ص}$ = المجموع الجبري للقوى المؤثرة باتجاه المحور الصادي).
٤. نحسب المحصلة الكلية للمحصلتين المتعامدتين

$ق_{ح} = \sqrt{(ق_{س})^{٢} + (ق_{ص})^{٢}}$ ، واتجاهها يصنع زاوية θ مع محور السينات ، حيث $\text{ظا } \theta = \frac{\Sigma ق_{ص}}{\Sigma ق_{س}}$

مثال (٥):

احسب مقدار واتجاه محصلة القوى المبينة في الشكل المجاور .



الحل:

$\Sigma \text{ق}_{\text{س}}$ = ٢٥ + ١٥ جتا ٥٣° + ٨ جتا ٢٤٠°

$\Sigma \text{ق}_{\text{س}}$ = ٣٠ نيوتن

$\Sigma \text{ق}_{\text{ص}}$ = ١٠ + ١٥ جا ٥٣° + ٨ جا ٢٤٠°

$\Sigma \text{ق}_{\text{ص}}$ = ١٥ نيوتن

$\text{ق}_{\text{ح}} = \sqrt{(\text{ق}_{\text{س}})^{٢} + (\text{ق}_{\text{ص}})^{٢}}$

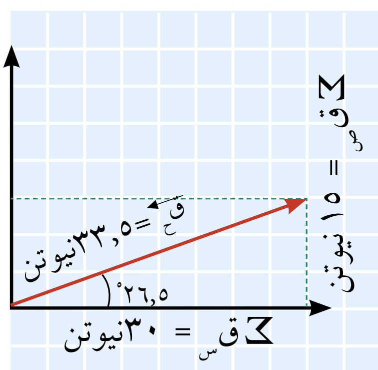
$= \sqrt{٣٠^{٢} + ١٥^{٢}}$

$= \sqrt{١١٢٥}$

= ٣٣,٥ نيوتن

$\text{ظا}\ \theta = \dfrac{\Sigma \text{ق}_{\text{ص}}}{\Sigma \text{ق}_{\text{س}}} = \dfrac{١٥}{٣٠} = ٠,٥$

θ = ٢٦,٥° مع محور السينات

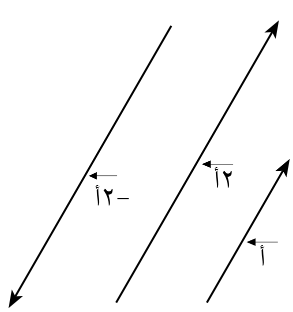


١ـ٣ ضرب المتجهات

هناك عدة طرق لضرب المتجهات، هي :

ضرب كمية متجهة بكمية عددية:

عند ضرب كمية متجهة بكمية عددية، فإننا نحصل على كمية متجهة جديدة مقدارها يساوي مقدارالكمية المتجه مضروباً بالكمية العددية، ولها نفس الاتجاه الأصلي إذا كانت الكمية العددية موجبة، وعكس الاتجاه إذا كانت الكمية العددية سالبة، والشكل (٩) يوضح عملية ضرب المتجهات في كمية عددية .



الشكل(٩): ضرب كمية متجهة بكمية عددية

سؤال

أ. اعتماداً على الشكل (٩) ارسم المتجه $\frac{١}{٢}\vec{\text{أ}}$ والمتجه ـ٣ $\vec{\text{أ}}$.

ب. ما الكمية المتجهة الناتجة من ضرب متجه السرعة في الزمن؟ وما وحدتها؟

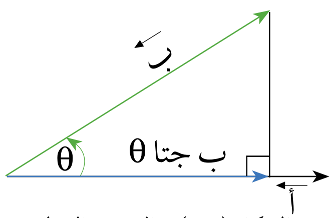
ضرب الكميات المتجهة ضرباً قياسياً (نقطياً) Dot Product:

يعرف الضرب النقطي لكميتين متجهتين $\vec{\text{أ}}$ ، $\vec{\text{ب}}$ بينهما زاوية θ كما يأتي :

$\vec{\text{أ}} \cdot \vec{\text{ب}} = |\vec{\text{أ}}|\,|\vec{\text{ب}}|$ جتا θ .... (٣)

وتتم هذه العملية بضرب أحد المتجهين في مسقط المتجه الآخر عليه .

فيكون الناتج كمية جديدة غير متجهة . انظر الشكل (١٠)، ولاحظ أن ب جتاθ هي مسقط المتجه ب على المتجه أ .



الشكل (١٠): الضرب النقطي

سؤال

جد قيمة حاصل ضرب المتجهين $\vec{\text{أ}}$ ، $\vec{\text{ب}}$ إذا كان مقدارهما ٥، ٣ وحدات على الترتيب، والزاوية المحصورة بينهما تساوي :

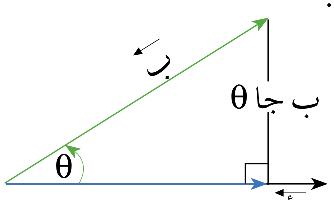
أ . صفر درجة. ب . ٩٠° جـ. ١٨٠°

ضرب الكميات المتجهة ضرباً اتجاهياً (تقاطعياً) Cross Product:

يعرف الضرب التقاطعي لكميتين متجهتين $\vec{\text{أ}}$ ، $\vec{\text{ب}}$ بينهما زاوية θ كما يأتي :

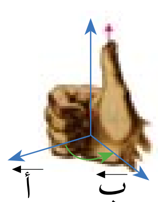
$|\vec{\text{أ}} \times \vec{\text{ب}}| = |\vec{\text{أ}}|\,|\vec{\text{ب}}|$ جا θ .... (٤)

ويكون الناتج متجهاً جديداً مقداره يساوي حاصل ضرب مقدار المتجه الأول في مركبة الثاني العمودية عليه واتجاهه عمودياً على كل منهما، وعلى المستوى الذي يقع عليه كلا المتجهان انظر الشكل (١١). ولتحديد اتجاه المتجه الجديد نستعمل قاعدة اليد اليمنى كما في الشكل (١٢) .



الشكل (١١): الضرب التقاطعي

قاعدة اليد اليمنى: افرد أصابع يدك اليمنى باتجاه المتجه الأول، ثم دورها باتجاه المتجه الثاني فيشير الإبهام إلى اتجاه المتجه الناتج عن حاصل ضرب المتجهين تقاطعياً .



الشكل (١٢): قاعدة اليد اليمنى

سؤال

المتجهان $\vec{\text{أ}}$ ، و $\vec{\text{ب}}$ يحصران بينهما زاوية مقدارها ٥٣° ، فإذا كان مقدار $\vec{\text{أ}}$ = ٨ وحدات ومقدار $\vec{\text{ب}}$ = ٥ وحدات ، فأوجد قيمة كل من :

١ . $\vec{\text{أ}} \cdot \vec{\text{ب}}$ ٢ . $\vec{\text{أ}} \times \vec{\text{ب}}$

نشاط (١): إيجاد القوة الموازنة لقوتين مستويتين ومتلاقيتين

المواد والأدوات :

طاولة القوى وملحقاتها (أوزان مشقوقة مع خطاف، وخيوط، وبكرات)، وميزان تسوية صغير (ميزان ماء) .

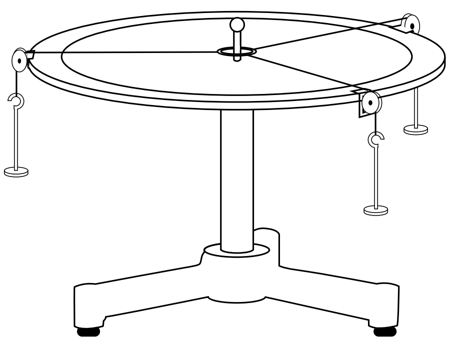
خطوات العمل :

١ . نضبط استواء الطاولة باستخدام ميزان التسوية .

٢ . نربط ثلاثة خيوط ، طول الواحد منها حوالي ٤٠ سم في حلقة معدنية .

٣ . نضع الحلقة المشتركة للخيوط الثلاثة حول محور الطاولة كما في الشكل .

٤ . نثبت بكرتين على إطار الطاولة الدائري ، ولتكن الأولى على تدريج الصفر ، والثانية على زاوية معينة مثل ٦٠° .



٥ . نضع عدداً مختلفاً من الأوزان المشقوقة على خطافين ، ونزن كل خطاف مع الأوزان المثبتة عليه باستخدام ميزان نابضي .

٦ . نعلق أوزاناً بوساطة الخطاف بالخيط الأول المار بالزاوية صفر ، وأوزاناً أخرى بالخيط المار على البكرة الثانية .

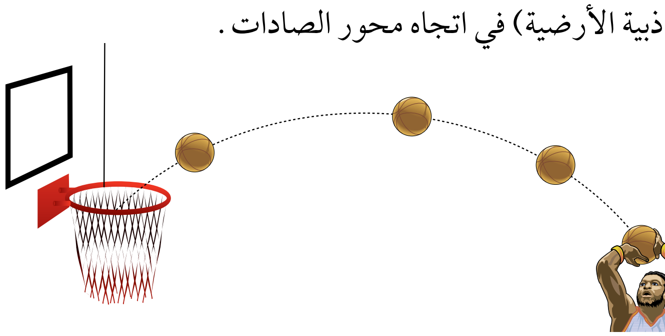
٧ . نحدد اتجاه القوة الموازنة للقوتين ق$_1$ و ق$_2$ (تساوي محصلة القوتين في المقدار ، وتعاكسها في الاتجاه) وذلك بأن نشد الخيط الثالث باليد حتى تتزن الحلقة المركزية حول محور الطاولة تماماً .

٨ . نثبت بكرة ثالثة عند زاوية القوة الموازنة ، ونمرر الخيط الثالث عليها ، ونعلق به أوزاناً حتى تتزن الحلقة تماماً حول محور الطاولة ، فتكون القوة الثالثة هي القوة الموازنة للقوتين ق$_1$ و ق$_2$.

١ ـ ٤ الحركة في بعدين (المقذوفات)

درست سابقاً حركة الأجسام التي تسير بتسارع ثابت في خط مستقيم سواء ما كان منها على سطح أفقي ، أو سطح مائل ، أو رأسياً إلى أعلى ، والآن ستدرس حركة الأجسام المقذوفة بزاوية مع محور السينات تحت تأثير وزنها ، مثل حركة كرة السلة بعد تصويبها نحو الهدف ، ويمكن تحليل الحركة في اتجاهين : حركة منتظمة باتجاه محور السينات ، وحركة بتسارع ثابت (تسارع الجاذبية الأرضية) في اتجاه محور الصادات .

وتشمل حركة الأجسام في مجال الجاذبية ما يأتي :



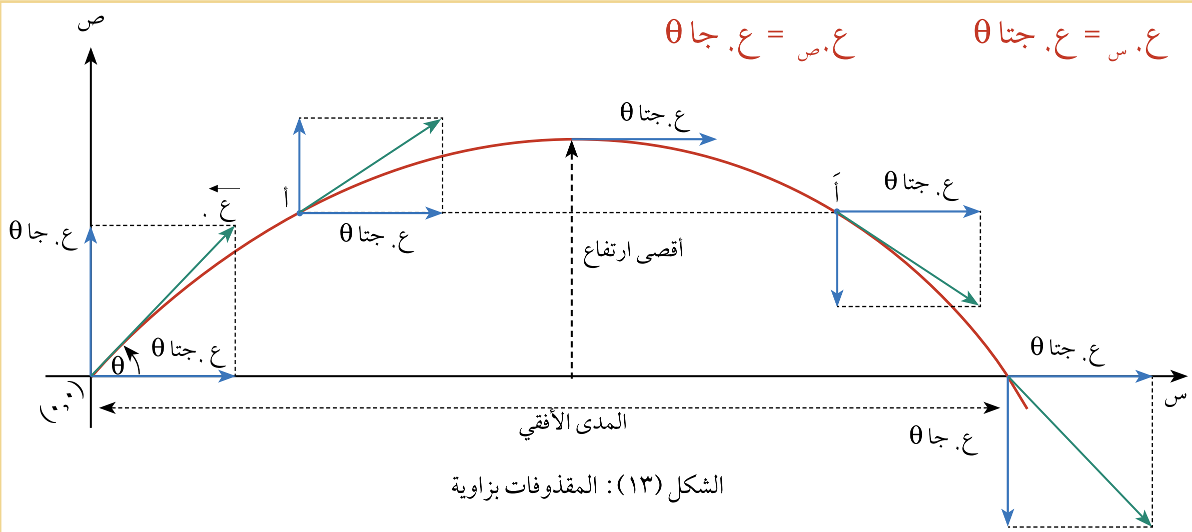
١ . الأجسام المقذوفة بزاوية والتي تتحرك بمسار منحن ، وتتغير احداثيات موضع الجسم الأفقية والرأسية في كل لحظة .

٢ . الأجسام المقذوفة أفقياً ، مثل الكرة المتدحرجة على سطح أفقي قبل سقوطها .

المقذوفات بزاوية:

نفترض أن كرة قذفت بسرعة ابتدائية ($\overleftarrow{ع_.}$) وباتجاه يصنع زاوية θ مع الأفقي كما في الشكل (١٣) .

نحلل متجه السرعة الابتدائية ($\overleftarrow{ع_.}$) إلى مركبتين : سينية و صادية .



الشكل (١٣) : المقذوفات بزاوية

الحركة العمودية:

تؤثر قوة الجاذبية على الكرة في الاتجاه العمودي واتجاهها للأسفل ؛ لذا فإن الحركة العمودية للكرة تشبه حركة مقذوف رأسي بسرعة ابتدائية مقدارها $ع._{ص}$ = ع. جا θ ، وتنطبق عليها قوانين الحركة بتسارع ثابت في خط مستقيم .

١ . لحساب الزمن الذي استغرقته الكرة من لحظة قذفها إلى حين وصولها أقصى ارتفاع $ف_{ص}$

عند أقصى ارتفاع تكون مركبة السرعة العمودية $ع_{ص}$ = ٠

$ع_{ص}$ = ع. جا θ − جـ ز

٠ = ع. جا θ − جـ $ز_{١}$ ، حيث $ز_{١}$ الزمن الذي استغرقته الكرة للوصول إلى أقصى ارتفاع .

$$ز_{١} = \frac{ع.\ جا\ θ}{جـ} \quad .... (٥)$$

٢ . لحساب الزمن الذي استغرقته الكرة من لحظة قذفها إلى حين عودتها ثانية إلى نفس المستوى (زمن التحليق)، زمن التحليق = ٢$ز_{١}$ = ٢ $\frac{ع.\ جا\ θ}{جـ}$

٣ . لحساب الإزاحة الرأسية التي قطعتها الكرة (أقصى ارتفاع) .

$$(ع_{ص})^{٢} = (ع.\ جا\ θ)^{٢} - ٢\ جـ\ ف_{ص}$$

٠ = (ع. جا θ)^{٢} − ٢ جـ $ف_{١}$ ، حيث $ف_{١}$ أقصى ارتفاع تصله الكرة .

$$ف_{١} = \frac{(ع.\ جا\ θ)^{٢}}{٢\ جـ} \quad .... (٦)$$

الحركة الأفقية :

لا تؤثر قوة على الكرة بالاتجاه الأفقي ؛ لذا فمركبة السرعة الأفقية ثابتة ومساوية للمركبة الأفقية للسرعة الابتدائية ($ع_س = ع . جتا θ$).

٤ . $ف_س = ع_س \times ز = ع. جتا θ \times ز$

$$ف_م = ع. جتا θ \times ٢ز_١ = ع. جتا θ \frac{٢ع . جا θ}{جـ}$$

$$ف_م = \frac{ع.^٢ جا(٢ θ)}{جـ} \quad \text{...} (٧)$$

حيث $ف_م$ المدى الأفقي الذي تصله الكرة .

مثال (٦):

أطلق مدفع قذيفة بسرعة ١٠٠م/ ث ، فإذا كانت ماسورة المدفع تميل بزاوية ٣٧° عن الأفقي ، فجد :

١ . الزمن الذي استغرقته القذيفة حتى وصولها أقصى ارتفاع .

٢ . زمن التحليق .

٣ . اقصى ارتفاع وصلت إليه القذيفة .

٤ . المدى الأفقي للقذيفة .

الحل:

١ . $ز_١ = \frac{ع. جا θ}{جـ} = \frac{١٠٠ \times جا ٣٧°}{٩,٨} = ٦,١٤$ ثانية .

٢ . زمن التحليق= ٢ $ز_١$ = ١٢,٢٨ ثانية .

٣ . $ف_أ = \frac{(ع. جا θ)^٢}{٢ جـ} = \frac{(١٠٠ \times جا٣٧°)^٢}{٢ \times ٩,٨} = ١٨٤,٨$ متر .

٤ . $ف_م = ع_س \times ٢ز_١ = ع. جتا θ \times ٢ ز_١$

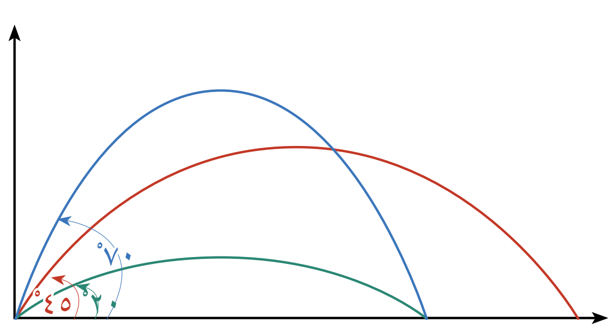
$= ١٠٠ \times جتا٣٧° \times ١٢,٢٨ = ٩٨٠$ متر .

سؤال

أثبت كلاً مما يأتي :

١ . يصل الجسم المقذوف إلى أقصى مدى أفقي له عند قذفه بزاوية ٤٥° .

٢ . يتساوى المدى الأفقي لجسم مقذوف عند قذفه بزاويتين مجموعهما ٩٠° .



المقذوفات أفقياً:

عندما تتدحرج كرة على سطح طاولة، ثم تسقط عنها فإنها تقطع مسافتين : أفقية ، ورأسية ، وتكون سرعتها الابتدائية العمودية تساوي صفراً بينما سرعتها الابتدائية الأفقية $\text{ع}_{.\text{س}}$ ، ويمكن تحليل حركة الكرة في اتجاهين : أفقية منتظمة ، ورأسية بتسارع ثابت ، ولتوضيح ذلك إليك المثال الآتي :

مثال (٧):

سقطت قذيفة من طائرة تطير أفقيا على ارتفاع ٢ كم من سطح الأرض بسرعة ١٥٠ م / ث . جد قيمة كل مما يأتي :

١ . الزمن الذي تستغرقه القذيفة في رحلتها نحو الأرض .

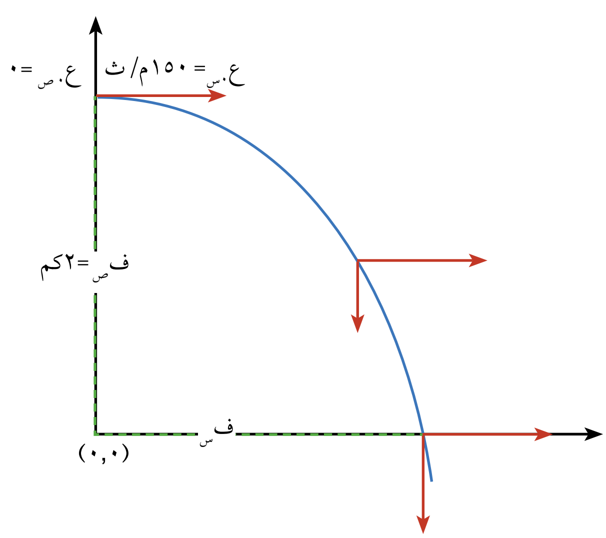
٢ . السرعة التي تصطدم بها القذيفة مع الأرض .

٣ . المدى الأفقي للقذيفة .

الحل:

عندما تسقط قذيفة من طائرة تطير أفقياً بسرعة ع. ، فإن سرعة القذيفة الابتدائية الرأسية $\text{ع}_{\text{ص}}$ = صفر ، وتكون سرعة القذيفة الأفقية هي نفس سرعة الطائرة .

نفترض أن سطح الأرض هو مستوى الإسناد



١ . $\text{ف}_{\text{ص}} = \text{ف}_{.} + \text{ع}_{.\text{ص}} \times \text{ز} - \frac{١}{٢}\,\text{جـ}\,(\text{ز})^{٢}$

$٠ = ٢٠٠٠ + ٠ - \frac{١}{٢}\,\text{جـ}\,(\text{ز})^{٢}$

$\text{ز}^{٢} = \frac{٢٠٠٠ \times ٢}{\text{جـ}} = \frac{٢٠٠٠ \times ٢}{٩,٨} = ٤٠٨$

ز= ٢٠,٢ ثانية

٢ . $\text{ع}_{\text{ص}} = \text{ع}_{.\text{ص}} - \text{جـ}\ \text{ز}$

$\text{ع}_{\text{ص}} = ٠ - \text{جـ}\ \text{ز}$

$\text{ع}_{\text{ص}} = -\text{جـ}\ \text{ز} = -٩,٨ \times ٢٠,٢ = -١٩٨\ \text{م/ث}$

$\text{ع} = \sqrt{(\text{ع}_{\text{س}})^{٢} + (\text{ع}_{\text{ص}})^{٢}} = \sqrt{(١٥٠)^{٢} + (١٩٨)^{٢}}$

ع = ٢٤٨م/ث .

٣ . المدى الأفقي $\text{ف}_{\text{س}} = \text{ع}_{.\text{س}} \times \text{ز}$

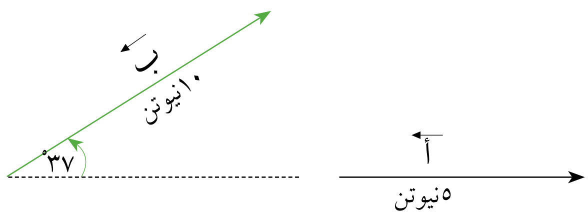
$\text{ف}_{\text{س}} = ١٥٠ \times ٢٠,٢ = ٣٠٣٠$ متر

س١ : أ. استخدم الطريقة الهندسية لجمع المتجهات لإيجاد كل مما يأتي :

- ٢ $\overleftarrow{\text{أ}}$ + $\overleftarrow{\text{ب}}$
- $\overleftarrow{\text{أ}}$ - $\overleftarrow{\text{ب}}$

ب. أوجد مقدار كل من :

- $\overleftarrow{\text{أ}}$. $\overleftarrow{\text{ب}}$
- $\overleftarrow{\text{أ}}$ x $\overleftarrow{\text{ب}}$

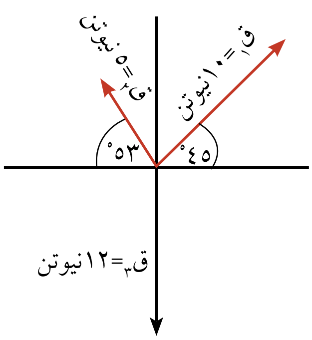


س٢ : تؤثر على جسم قوتان متساويتان بالمقدار، قيمة كل منهما ق، ما مقدار الزاوية بين القوتين إذا علمت أن مقدار محصلتهما أيضاً تساوي ق .

س٣ : طائرة تطير بسرعة ٦٠ كم/ س، ويصنع خط سيرها زاوية قدرها ٣٧° شمال الشرق، أوجد مركبتي السرعة باتجاهي الشمال والشرق .

س٤ : إذا أثرت قوة مقدارها ٢٠ نيوتن باتجاه محور السينات الموجب، فما القوة التي يجب إضافتها لها حتى يصبح مقدار محصلة القوى ١٥ نيوتن باتجاه محور الصادات الموجب ؟

س٥ : احسب مقدار واتجاه القوة المحصلة للقوى الموضحة في الشكل المجاور .

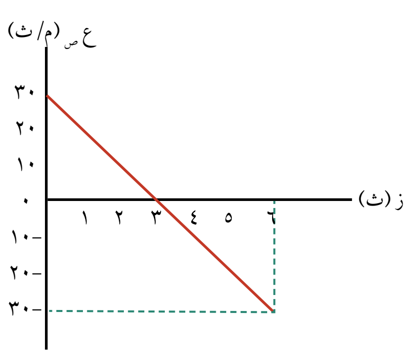


س٦ : الرسم البياني المجاور يعبر عن تغير مركبة السرعة العمودية لجسم مقذوف في مجال جاذبية الأرض، إذا كانت زاوية القذف ٣٠°، احسب :

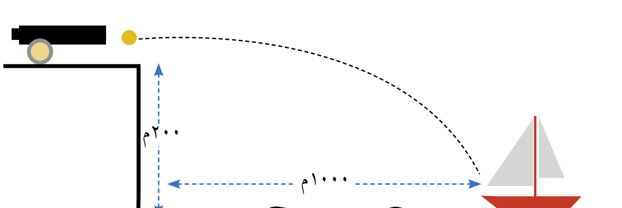
أ- مقدار السرعة التي قذف بها الجسم .

ب- أقصى ارتفاع يصل إليه الجسم .

جـ- المدى الأفقي للجسم .



س٧ : في الشكل المجاور احسب السرعة التي يجب أن تطلق بها القذيفة من فوهة المدفع؛ لكي تصيب السفينة. جـ = ٩,٨ م/ ث٢



٢ القوى والعزوم

عندما تتغير سرعة جسم مقداراً أو اتجاهاً، فإنك تتوقع أن يكون هناك مسببٌ لهذا التغير، وينتج هذا التغير من تأثير المحيط على الجسم، فمثلاً عندما نشاهد أغصان الأشجار تتحرك، فإنك تتوقع أن الرياح سببت حركتها، وعندما يتوقف جسم ينزلق على سطح أفقي عن الحركة فإنك تتوقع أنه تم ذلك بسبب تأثير سطح الطاولة على الجسم.

إن المؤثر الذي يسبب تغيراً في سرعة الجسم مقداراً أو اتجاهاً يسمى قوة، وهي عبارة عن دفع أو سحب على الجسم، فما الذي يحرك الأشياء؟ وكيف تتحرك؟ متى تتوقف؟ لماذا لا يتحرك الكرسي الذي تجلس عليه؟ هذه الاسئلة، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادرا على أن:

- توضح مفهوم القوة.
- تتعرف وحدة قياس القوة.
- تتعرف أنواع مختلفة من القوى.
- تحدد شروط اتزان الجسم الصلب تحت تأثير عدد من القوى المستوية المتلاقية.
- تتعرف مفهوم عزم القوة.
- تحسب مقدار **واتجاه** عزم القوة حول محور.
- تحسب محصلة قوتين متوازيتين.
- تتعرف مفهوم الازدواج.
- تحسب مقدار واتجاه عزم الازدواج.

٢ - ١ مفهوم القوة وقياسها

ارتبط مفهوم القوة بمفهوم الحركة منذ عهد أرسطو ؛ إذ كان الاعتقاد السائد أنَّ القوة ضرورية لتحريك الأجسام، وأنه لا بد من استمرار تأثيرها على الجسم ليبقى متحركاً. وفي القرن السابع عشر الميلادي أرسى العالم الإيطالي جاليليو جاليلي قواعد علم الحركة، وبين أنه لا ضرورة لاستمرار تأثير القوة على الجسم ليبقى متحركا بسرعة ثابتة في خط مستقيم. واستكمل نيوتن من بعده دراسة علم الحركة واضعا قوانينه الثلاثة التي تعدّ أساس علم الحركة، فالقوة مؤثر خارجي يعمل على تغيير مقدار سرعة الجسم المتحرك أو اتجاه حركته وقد يغير من شكل الجسم (يشوهه)، وتعدّ وحدة النيوتن الوحدة الأساسية لقياس القوة في النظام العالمي للوحدات.

النيوتن: القوة اللازمة لإكساب جسم كتلته ١ كغم تسارعاً مقداره ١ م/ ث^{٢} باتجاه القوة المؤثرة.

جاليليو (١٥٦٤ - ١٦٤٢ م)، عالم إيطالي وأول من أدرك أن جاذبية الأرض تكسب جميع الأجسام الساقطة التسارع نفسه مهما اختلفت في الكتلة.

٢ - ٢ أنواع خاصة من القوى

هناك أنواع مختلفة من القوى سنتعرف على بعضها:

قوة الجاذبية الأرضية: Gravitational Force

القوة التي تؤثر بها الأرض على جميع الأجسام فتجذبها نحوها وتكسبها أوزانها، وتزداد هذه القوة كلما ازدادت كتلة الجسم، وتقل كلما ابتعد الجسم عن مركز الأرض، وقد وجد أن قوة جذب الأرض للأجسام تعطى بالعلاقة:

$ق_{ج}$ = ك x جـ ، حيث ك: كتلة الجسم، جـ : تسارع الجاذبية الأرضية.

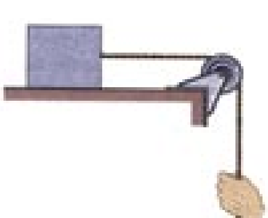
ويعرف وزن الجسم بأنه مقدار القوة اللازمة لمنع الجسم من السقوط سقوطاً حراً، وفي حالة جسم ساكن أو متحرك بسرعة ثابتة فإن وزن الجسم و = ك جـ.

قوة الشد: Tension

الشكل (١): الشد في حبل

عند ربط جسم بحبل وشده فإن الحبل يؤثر بقوة على الجسم محاولاً جره في اتجاه الحبل، وتسمى هذه القوة قوة الشد. انظر الشكل (١).

يعدّ الحبل في الغالب عديم الكتلة مقارنةً مع كتلة الجسم وغير مرن، وفي هذه الحالة يعدّ الشد في جميع أجزاء الحبل متساوياً. وعندما يدور الحبل حول بكرة ملساء وخفيفة (عديمة الكتلة)، فإن الشد يبقى متساوياً في جميع أجزاء الحبل، وتعمل البكرة على تغيير اتجاه الشد، انظر الشكل (٢).



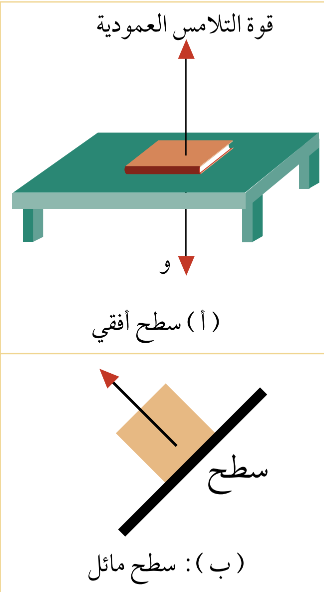
الشكل (٢): الشد في حبل حول بكرة

قوة التلامس العمودية: Normal Force

انظر الشكل (٣-أ)، ماذا تسمى القوة المعاكسة بالاتجاه لوزن الكتاب والتي تبقيه ساكناً؟ وما سبب وجودها؟

عندما تضع كتاباً على الطاولة فإنه يتأثر بقوتين، قوة الجاذبية التي تؤثر عليه عمودياً إلى أسفل (باتجاه مركز الأرض)، وقوة أخرى تساويها بالمقدار وتعاكسها بالإتجاه تسمى قوة التلامس العمودية، وهي تؤثر على الجسم عمودياً على مستوى التلامس، وبعيداً عن السطح، وتظهر عندما يلامس الجسم سطحاً آخر.

أما إذا وضع الجسم على سطح مائل فإن قوة التلامس تكون عمودية على السطح المائل كما هو موضح في الشكل (٣-ب).



الشكل (٣): قوة التلامس العمودية

قوة الاحتكاك: Fricrtion

لا بد أنك حاولت يوماً دفع صندوق على الأرض، ولم تفلح في المحاولة الأولى، مما جعلك تؤثر بقوة أكبر حتى استطعت أن تتغلب على قوة معاكسة لقوتك تسمى قوة الاحتكاك.

تنشأ قوة الاحتكاك بسبب تداخل نتوءات السطحين المتلامسين محاولة منعهما من الانزلاق على بعضهما؛ ولذلك فهي تعتمد بشكل أساسي على طبيعة هذين السطحين.

وقد وجد بالتجربة أن قوة الاحتكاك تتناسب طردياً مع قوة التلامس العمودية: $\overleftarrow{\text{ق}}_{\text{ح}} \propto \overleftarrow{\text{ر}}$ ، $\overleftarrow{\text{ق}}_{\text{ح}} = \text{م}\ \overleftarrow{\text{ر}}$

حيث: $\overleftarrow{\text{ق}}_{\text{ح}}$: قوة الاحتكاك.

م : ثابت التناسب، ويساوي معامل الاحتكاك بين السطحين.

$\overleftarrow{\text{ر}}$: قوة التلامس العمودية على السطح.

دلّت التجارب العملية على وجود نوعين من الاحتكاك بين الأسطح الصلبة، هما:

الاحتكاك السكوني Static Friction، والاحتكاك الحركي Kinetic Friction.

يؤثر الاحتكاك السكوني بين سطحين متلامسين ساكنين، وقوة الاحتكاك السكوني متغيرة، وتوازن باستمرار القوة المتزايدة والمؤثرة من قبلك أثناء محاولتك تحريك الجسم، وتصل إلى قيمتها القصوى في اللحظة التي يكون فيها الجسم على وشك الحركة، وعندها يصبح من الأسهل جعل الجسم يستمر في الحركة.

هل تعلم:

يعرف الآن أربعة أنواع من القوى الأساسية في الطبيعة:

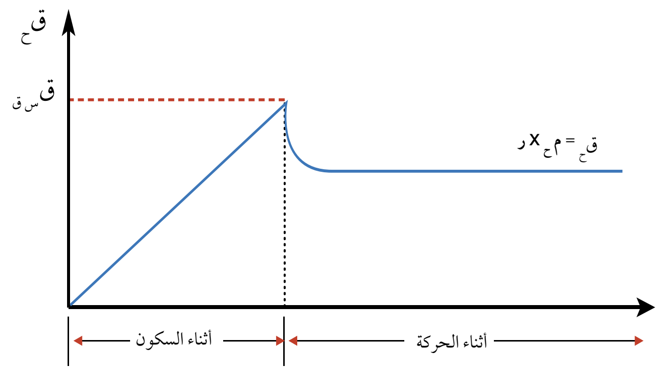
١. قوة الجاذبية:
القوة المسؤولة عن ترابط المادة وعن إبقاء الكواكب في مداراتها حول الشمس.

٢. القوى الكهرومغناطيسية:
وتربط بين الجسيمات المشحونة، وهي المسؤولة عن ربط الذرات والجزيئات.

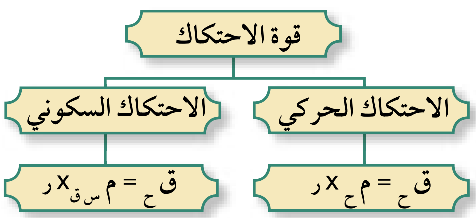
٣. القوى الضعيفة:
وهي المسؤولة عن الانحلالات الإشعاعية، ولكنها ضروريه لبناء النواة.

٤. القوى القوية:
القوة التي تمسك النيوترونات والبروتونات في النواة.

والشكل (٤) يمثل العلاقة بين القوة المؤثرة وقوة الاحتكاك بين جسمين :



الشكل (٤): قوة الاحتكاك بين سطحين



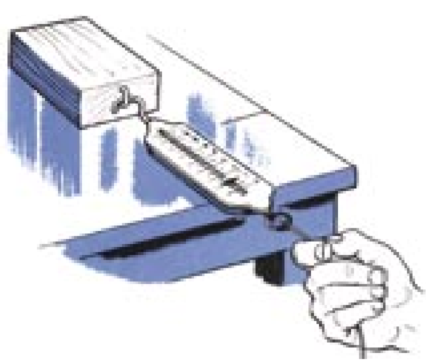
نشاط (١): قياس معامل الاحتكاك السكوني بين سطحين

المواد والأدوات : ميزان نابضي ، وقطعة خشبية مستطيلة الشكل ، و أوزان مختلفة .

خطوات العمل :

١ . احضر القطعة الخشبية وثبت بها مسماراً صغيراً أو برغياً في منتصف أحد أطرافها واربط به سلكاً صغيراً على شكل حلقة ليسهل سحبها أوتعليقها بوساطة خطاف الميزان النابضي .

٢ . علق القطعة الخشبية بالميزان النابضي وقس وزنها .



٣ . ضع ثقلاً معروف الوزن فوق القطعة الخشبية ، وحاول ببطء شديد أن تجر القطعة الخشبية والثقل الموجود عليها بوساطة الميزان النابضي ، وراقب قراءة الميزان عندما يصبح الجسم على وشك الحركة .

٤ . كرر المحاولة باستخدام أثقال مختلفة .

٥ . مثل بيانياً العلاقة بين قراءة الميزان (القوة المؤثرة) ، وقوة التلامس العمودية (وزن الأثقال والقطعة الخشبية) ، ثم أوجد من الرسم معامل الاحتكاك السكوني .

٢ - ٣ اتزان الجسم الصلب

يتزن الجسم الصلب تحت تأثير عدة قوى مستوية ومتلاقية في نقطة ، عندما تكون محصلة هذه القوى = صفراً . ويكون الجسم في وضع الاتزان عندما يكون ساكناً أو متحركاً بسرعة ثابتة في خط مستقيم ، ويعدّ هذا شرطاً لحدوث اتزان الجسم .

يعبر عن هذه العلاقة رياضياً : $\sum \overleftarrow{\text{ق}} = \overleftarrow{\text{ق}}_{١} + \overleftarrow{\text{ق}}_{٢} + \overleftarrow{\text{ق}}_{٣} + \ldots\ldots\ldots\ldots = \text{صفراً}$

وحيث أن القوة كمية متجهة فإنه يشترط لحدوث الاتزان أن يكون مجموع المركبات السينية يساوي صفراً ،

ومجموع المركبات الصادية تساوي صفراً.

$\sum \overleftarrow{ق}_{س} = $ صفر، $\sum \overleftarrow{ق}_{ص} = $ صفراً

مركز الثقل (نقطة التوازن) :

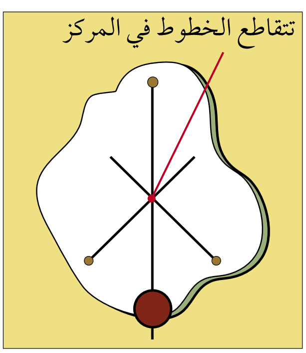
ضع كتاباً على حافة الطاولة وادفعه بالتدريج نحو حافتها، سيبقى الكتاب متزناً حتى عندما يكون جزء منه خارج الحافة، هل يمكنك تفسير ذلك؟ استمر في دفعه حتى يسقط الكتاب. ما الذي أدى إلى اختلال التوازن الآن؟

لجميع الأجسام نقطة توازن تسمى مركز الجاذبية أو مركز الثقل.

مركز الثقل : النقطة التي يبدو أن تأثير الجاذبية مُركّز فيها، وهو نقطة تأثير محصلة أوزان الجسيمات الصغيرة التي يتكون منها الجسم.

ولتحديد موقع هذه النقطة قم بإجراء النشاط الآتي :

نشاط(٢): تحديد مركز ثقل جسم



المواد والأدوات :

قطعة كرتون، و مقص، وخيوط، وأثقال، ودبوس أو مسمار

خطوات العمل :

- قص شكلاً عشوائياً من الكرتون.
- اثقب فيه ثلاثة ثقوب على الأطراف.
- اربط الوزن بالخيط.
- علق الشكل والخيط على مسمار، وارسم خطاً مستقيماً تحت الخيط.
- أعد تعليق الشكل من الثقبين الآخرين، وارسم الخط الشاقولي (الرأسي) في كل حالة.
- عين نقطة تقاطع الخطوط الثلاثة. ماذا تمثل هذه النقطة؟

مثال (١):

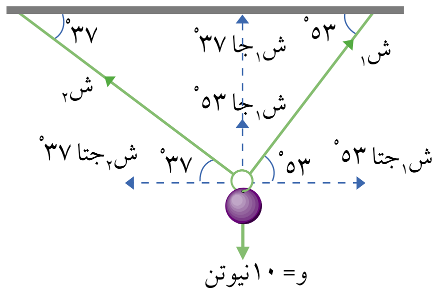
جسم وزنه ١٠ نيوتن معلق بوساطة حبلين في سقف أفقي كما في الشكل. احسب قوتي الشد في الحبلين عندما يتزن الجسم؟

الحل:

١. نحلل قوتي الشد في الحبلين ($ش_1$ و $ش_2$) إلى مركبتيها : السينية والصادية.

٢. نطبق شروط الاتزان على المركبات السينية والصادية.

فكر:
لماذا لم يسقط برج بيزا المائل على مدى هذه السنوات؟



$\sum$ ق$_{س}$ = صفر

ش$_{١}$ جتا ٥٣° − ش$_{٢}$ جتا ٣٧° = صفر

ش$_{١}$ × ٠,٦ = ش$_{٢}$ × ٠,٨

٣ش$_{١}$ = ٤ش$_{٢}$ ، أي أن: ش$_{١}$ = $\frac{٤}{٣}$ ش$_{٢}$

$\sum$ ق$_{ص}$ = صفر

ش$_{١}$ جا ٥٣° + ش$_{٢}$ جا ٣٧° − و = صفر

٠,٨ ش$_{١}$ + ٠,٦ ش$_{٢}$ = ١٠

٠,٨ × $\frac{٤}{٣}$ ش$_{٢}$ + ٠,٦ ش$_{٢}$ = ١٠

١,١ ش$_{٢}$ + ٠,٦ ش$_{٢}$ = ١٠ ، ١,٧ ش$_{٢}$ = ١٠

ش$_{٢}$ = $\frac{١٠}{١,٧}$ = ٥,٩ نيوتن ، ش$_{١}$ = $\frac{٤}{٣}$ ش$_{٢}$ = ٧,٩ نيوتن

٢ ـ ٤ العزوم: Torque

تؤثر في بعض الأحيان بقوة على جسم فتسبب له دوراناً بدلاً من تحريكه في خط مستقيم، ما الذي يسبب دوران الأجسام؟ وما الذي يوقف دورانها؟

عندما تفتح الباب فإنك تؤثر بقوة مفردة على قبضته تجعله يدورحول المفصل الذي هو محور دورانه وتقع عليه نقطة الارتكاز، ويعتمد الأثر الدوراني لقوة تؤثر في جسم على بعد نقطة تأثيرها عن نقطة الارتكاز.

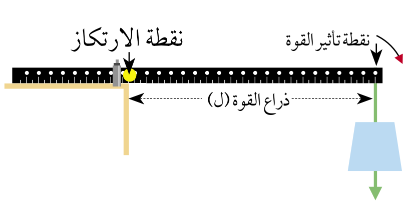
عزم القوة:

عندما تؤثر قوة على جسم ما ويكون خط عمل القوة غير مار من نقطة اتزان الجسم (مركز ثقله)، فإن الجسم يدور حول محور ثابت. ويسمى الأثر الدوراني للقوة المؤثرة على الجسم القابل للدوران حول المحور، عزم القوة، ويرمز له $\overleftarrow{ع}_{ق}$. ولتتعرف العوامل التي يعتمد عليها عزم القوة قم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط (٣): العوامل التي يعتمد عليها عزم القوة

المواد والأدوات: مسطرة مترية يرتكز أحد طرفيها على حامل خشبي أو معدني، وكتل مختلفة.

خطوات العمل:



١- علق كتلة (ك) على بعد معين من نقطة الارتكاز، وسجل مقدار انحراف رأس المسطرة عن الوضع الأفقي.

٢- قس المسافة بين نقطة تأثير الثقل ونقطة الارتكاز (ذراع القوة).

٣- جد حاصل ضرب مقدار القوة في ذراعها .

٤- كرر الخطوات ١ – ٣ مع تغيير الكتلة تارة، والذراع تارة أخرى، سجل نتائجك في الجدول الآتي :

رقم المحاولة	الكتلة	الوزن = ك x جـ	ذراع القوة(ل)	العزم	مقدار الانحراف الرأسي
١					
٢					
٣					

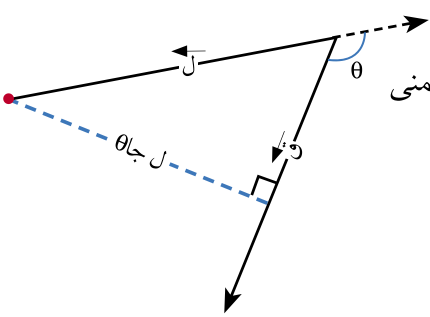
نستنتج مما سبق أن عزم القوة يعتمد على عاملين :

- مقدار القوة المؤثرة .
- البعد العمودي بين نقطة تأثير القوة ومحور الدوران (ل) .

ويمكن حساب عزم القوة رياضياً من العلاقة الآتية :

ع ق = ل x ق ، ويحدد اتجاه العزم باستخدام قاعدة اليد اليمنى

ع ق = ل ق جا θ



الشكل (٤): عزم القوة

حيث :

ع ق : عزم القوة حول محور الدوران، ويقاس بوحدة نيوتن . متر

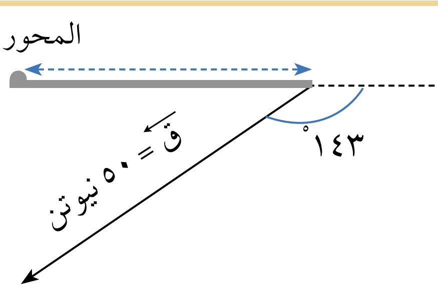
ق : مقدار القوة المؤثرة .

ل جا θ: البعد العمودي بين نقطة تأثيرالقوة ومحورالدوران .

θ : الزاوية بين خط عمل القوة وذراعها، انظر الشكل (٤) .

مثال (٢):

في الشكل المجاور، احسب عزم القوة حول المحور (أ) .



الحل:

ع ق = ل ق جاθ = ٥٠ x ٠,٣ x جا ١٤٣°

= ٩ نيوتن . م مع عقارب الساعة

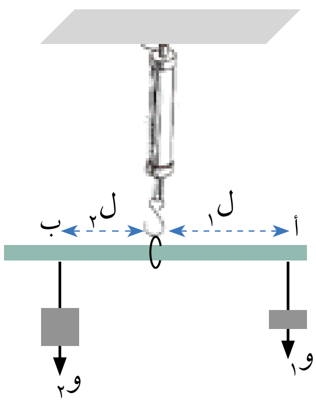
سؤال

قضيب معدني منتظم طوله ٨ م ووزنه ٤٠ نيوتن يستند في نقطة على حامل، علق في إحدى نهايتيه ثقلاً مقداره ٤٠ نيوتن، فإذا اتزن القضيب في وضع أفقي فجد المسافة بين نقطة الإسناد والثقل المعلق .

نشاط (٤): اتزان الجسم الصلب تحت تأثير عدة قوى متوازية

المواد والأدوات: مسطرة مترية، وميزان نابضي، وكتل مختلفة

خطوات العمل:



- علق المسطرة من منتصفها بوساطة ميزان نابضي مثبت من الأعلى كما في الشكل.
- علق ثقلاً ($و_١$) في طرف المسطرة (أ).
- علق ثقلا آخر ($و_٢$) في الطرف الثاني (ب) وعلى بعد يجعل المسطرة متزنة أفقياً.
- قس ذراع الثقل الأول ($ل_١$) وذراع الثقل الثاني ($ل_٢$).
- قس قراءة الميزان النابضي.
- كرر الخطوات السابقة بتغيير الأثقال في كل حالة. سجل نتائجك في الجدول المرفق.

رقم المحاولة	$و_١$	$ل_١$	$و_١ \times ل_١$	$و_٢$	$ل_٢$	$و_٢ \times ل_٢$	قراءة الميزان
١							
٢							
٣							

تلاحظ من التجربة أن المسطرة تتزن في كل حالة عندما تتحقق العلاقة:

$$و_١ \times ل_١ = و_٢ \times ل_٢$$

وهذا يعني أن مجموع العزوم حول محور يمر في منتصف المسطرة = صفر.

وأن قراءة الميزان في كل حالة (محصلة القوتين) $= و_١ + و_٢ + و_{المسطرة}$

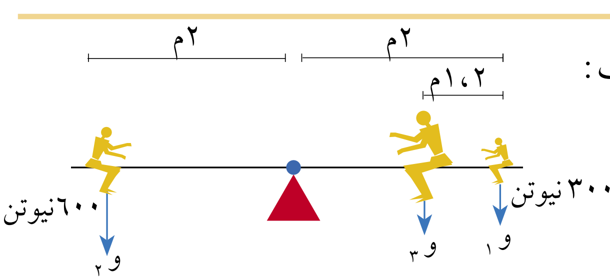
- كرر الخطوات السابقة باستخدام عدة أثقال على أبعاد مختلفة من نقطة الارتكاز.
- حرك الأثقال على طول المسطرة حتى تحصل على الاتزان في كل حالة. ماذا تستنتج؟

مما سبق نلاحظ أن الشروط اللازم توفرها لاتزان جسم صلب تحت تأثير عدة قوى هي:

$\sum \overleftarrow{ع}$ حول أي محور = صفراً.

$\sum \overleftarrow{ق}$ = صفراً.

مثال (٣):



في الشكل المجاور لعبة أطفال (سي – سو). احسب:

١. وزن الطفل الثالث حتى تتوازن الرافعة.

٢. قوة التلامس العمودية عند نقطة الارتكاز.

الحل:

– نرسم القوى، ونحدد ذراع كل منها كما في الشكل .

– نطبق شرطي التوازن السابقين .

الشرط الاول : Σع حول النقطة د = صفر

و$_1$ x ل$_1$ + و$_2$ x ل$_2$ + و$_3$ x ل$_3$ + و $_{\text{السي سو}}$ x ل $_{\text{السي سو}}$ + ق $_{\text{التلامس العمودية}}$ x ل = صفر

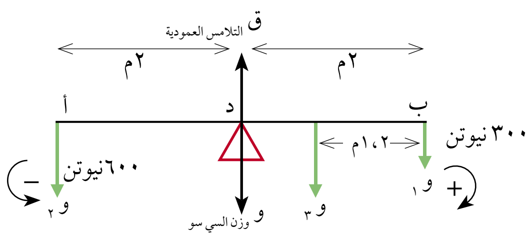
(٢x٣٠٠) – ٢x٦٠٠ + (و$_3$x٠,٨) + صفر + صفر = صفر

٦٠٠ – ١٢٠٠ + (و$_3$x٠,٨) = صفر

–٦٠٠ + ٠,٨ و$_3$ = صفر

٠,٨ و$_3$ = ٦٠٠

إذن و$_3$ = ٧٥٠ نيوتن

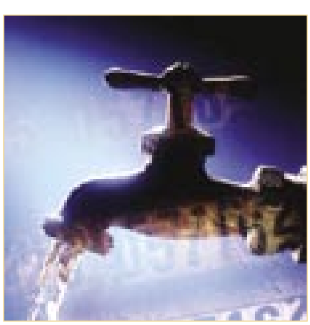


وبالتعويض في معادلة الشرط الثاني : Σق = صفر

–٣٠٠ – ٧٥٠ + ق $_{\text{التلامس}}$ – ٦٠٠ = ٠ إذا أهملنا وزن لعبة السي سو

(ق $_{\text{التلامس}}$) = ١٦٥٠ نيوتن

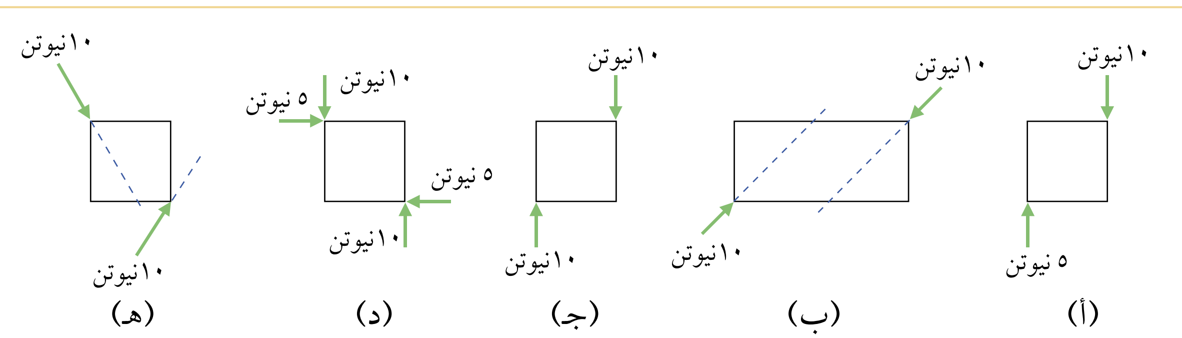
عزم الازدواج :



عندما تؤثر قوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، ومتوازيتان وخط عملهما غير مشترك، فإن تأثيرهما على الجسم سيكون دورانياً؛ أي أنهما يشكلان ازدواجاً . ويقاس الأثر الدوراني على الجسم بكمية فيزيائية متجهة تسمى عزم الازدواج الذي قد يسبب دوران الجسم بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة، أومع عقارب الساعة .

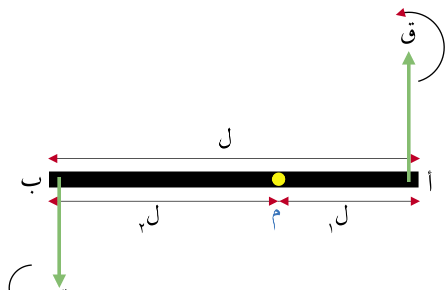
سؤال

أي من الأشكال الآتية يشكل ازدواجاً . ولماذا؟



حساب عزم الازدواج:

نفترض أن جسماً صلباً طوله (ل) قابل للدوارن حول محور، وتؤثر عند طرفيه قوتان متساويتان قيمة كل منهما (ق) كما في الشكل (٥)، وتشكل هاتان القوتان المتساويتان والمتعاكستان ازدواجاً، ولحساب عزم الازدواج حول النقطة (م)، نقوم بالخطوات الآتية:



الشكل (٥): عزم الازدواج

- نفرض أن محور الدوران عمودي على مستوى القوتين.
- عزم الازدواج المكون من القوتين يساوي مجموع عزمي القوتين حول النقطة (م) التي يمر بها محور الدوران.

$\sum \overleftarrow{\text{ع}}_{\text{م}} = \overleftarrow{\text{ع}}_{\text{م}}(\text{ق أ}) + \overleftarrow{\text{ع}}_{\text{م}}(\text{ق ب})$

$\sum \overleftarrow{\text{ع}}_{\text{م}} = \overleftarrow{\text{ل}}_{1} \times \overleftarrow{\text{ق}} + \overleftarrow{\text{ل}}_{2} \times \overleftarrow{\text{ق}}$ واتجاه العزمين بعكس دوران عقارب الساعة.

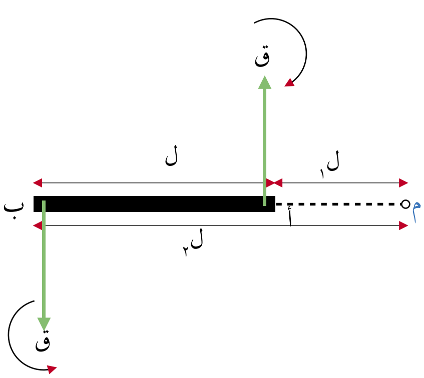
بما أن ($\overleftarrow{\text{ق}}$) عمودية على (ل) فإن (جا θ = ١)

$\sum \overleftarrow{\text{ع}}_{\text{م}} = (\text{ل}_{1} + \text{ل}_{2})\,\text{ق}$ لأن $\text{ل} = \text{ل}_{1} + \text{ل}_{2}$

$= \text{ل ق}$

حيث $\text{ع}_{\text{م}}$: عزم الازدواج، ق : إحدى القوتين، ل : البعد العمودي بينهما

سؤال

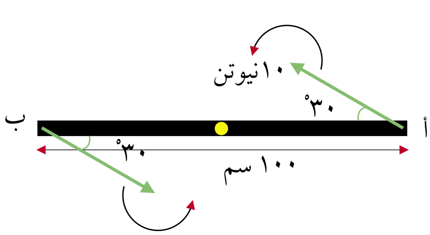


احسب عزم الازدواج عندما تقع النقطة (م) على امتداد العمود الواصل بين خطي عمل القوتين كما في الشكل، لاحظ أن أحد العزمين باتجاه دوران عقارب الساعة، والآخر بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة.

مثال (٤):

مسطرة (أ ب) قابلة للدوران حول محور ارتكاز يمر في منتصفها، تؤثر عليها قوتان، قيمة كل منهما ١٠ نيوتن، وتميل كل منهما بزاوية مقدارها ٣٠° عن محور المسطرة كما في الشكل، احسب الازدواج المؤثر على المسطرة.

الحل:



أ. $\overleftarrow{\text{ع}}_{\text{م}} = \overleftarrow{\text{ل}} \times \overleftarrow{\text{ق}}$ = ذراع الازدواج × إحدى القوتين

= ل ق جا ٣٠° = (١٠) × (١) × (٠,٥)

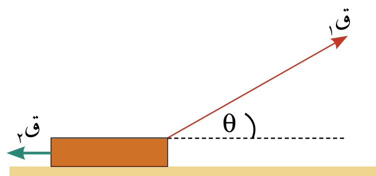
= ١٠ (٠,٥) = ٥ نيوتن . م

وسيعمل هذا الازدواج على إدارة المسطرة في اتجاه عكس عقارب الساعة.

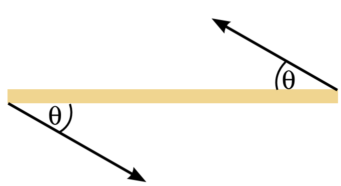
أسئلة الفصل:

س١ : ما المقصود بكل من المفاهيم الآتية :
القوة، قوة الاحتكاك السكوني، مركز ثقل الجسم، ذراع الازدواج .

س٢ : فسر ما يأتي تفسيرا علميا :
– القيمة القصوى لمعامل الاحتكاك السكوني أكبر من معامل الاحتكاك الحركي؟
– القوة التي يكون خط عملها موازياً للذراع ليس لها أثر دوراني على الجسم .

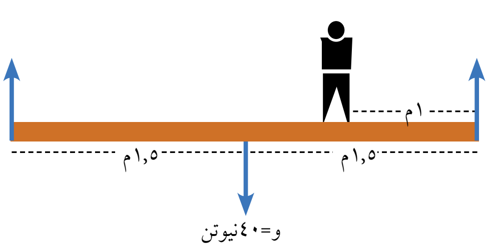


س٣: في الشكل المجاور قوتان (ق$_{١}$، ق$_{٢}$) تؤثران في صندوق يتحرك بسرعة ثابتة على أرضية ملساء . فإذا قللنا الزاوية θ من دون تغيير قيمة ق$_{١}$، وأردنا للجسم أن يبقى على سرعته الثابتة . فهل تزيد ق$_{٢}$ أم تقللها أم تبقيها ثابتة؟ بيّن السبب .



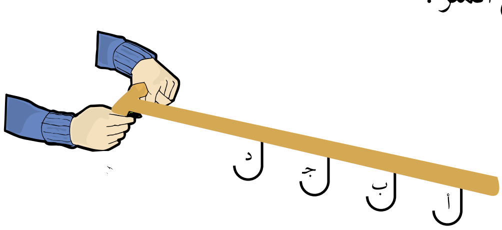
س٤ : قوتان متوازيتان قيمة كل منهما ٨٠ نيوتن . تؤثران عند طرفي مسطرة كما في الشكل المجاور، فإذا كان طول الساق ٢ م، وعزم الازدواج المؤثر=٨٠ نيوتن م، جد الزاوية التي يصنعها خط عمل كل من القوتين مع المسطرة .

س٥ : أثرت قوتان متساويتان في المقدار على جسم بحيث كانت الزاوية بينهما ١٢٠° .
إذا علمت أن محصلة القوتين = ٣ نيوتن، احسب مقدار كل من القوتين واتجاه المحصلة .

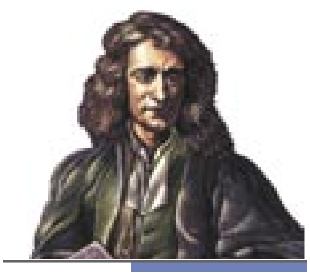


س٦ : لوح منتظم من الخشب طوله ٣ م . ووزنه ٤٠ نيوتن علق في وضع أفقي بوساطة حبلين رأسيين مربوطين عند طرفيه، إذا وقف شخص كتلته ٧٢ كغم على بعد ١ م من إحدى طرفيه جد قوة الشد في كلا الحبلين .

س٧ : في الشكل طالب يحمل متراً خشبياً به علاقات أثقال على مسافات مختلفة من يديه . إذا علق جسم ثقيل في إحداها . سيواجه هذا الطالب صعوبة في رفع المتر .
١ . في أية علاقة يلاقي صعوبة أكبر ؟
٢ . رتب العلاقات تنازلياً من حيث الصعوبة التي سيواجهها .



٣ قوانين نيوتن في الحركة



إسحق نيوتن (١٦٢٤ – ١٧٢٧ م)، فيزيائي ورياضي إنجليزي، يعدّ من أعظم الفيزيائيين على مر العصور فأفكاره واكتشافاته في علوم الفيزياء والرياضيات والفلك هي أساسيات العلم الحديث.

يبحث علم الميكانيكا في حركة الأجسام، ويقسم تبعاً لذلك إلى عدة موضوعات: علم الكاينمتيكا، أو (علم الحركة المجردة)، ويصف حركة الأجسام ويبين العلاقة بين متغيراتها، وعلم الاستاتيكا، أو (علم السكونيات)، ويختص بدراسة القوى على الأجسام الساكنة، وعلم الديناميكا ، أو (علم التحريك)، ويبحث في القوى المؤثرة على الأجسام وحالتها الحركية، وهو موضوع دراستنا لهذا الفصل.

ويرتكز علم الديناميكا على ثلاثة قوانين طبيعية وضعها العالم نيوتن، فما هذه القوانين؟ وما العلاقة التي تربط بين القوة والتغير في سرعة الجسم؟ وكيف تؤثر الأجسام بعضها على بعض؟

هذه الأسئلة، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك لهذا الفصل وستكون قادراً على أن:

- توضح مفهوم القصور الذاتي للأجسام.
- تتعرف قوانين نيوتن الثلاثة .
- تستنتج عملياً العلاقة بين مقدارالقوة المؤثرة على جسم والتسارع الذي يكتسبه.
- تحل مسائل حسابية على قانون نيوتن الثاني.
- تتعرف تطبيقات عملية ورياضية على قوانين نيوتن.
- توضح العوامل التي تعتمد عليها قوة التجاذب بين جسمين.
- تستخدم قانون الجذب العام في حل مسائل حسابية.

٣ - ١ قانون نيوتن الأول في الحركة

لعلك عدت يوماً إلى بيتك بعد غياب طويل ونظرت حولك وقلت بارتياح: كل شيء بقي على حاله، هل فكرت يوماً أن هذه العبارة تنطوي على أحد أهم القوانين الطبيعية؟

هل فكرت لماذا تشدد قوانين السير على ربط حزام الأمان للسائق و الركاب أيضا عند ركوبهم سيارة، وتخالف من لا يستجيب لهذا الأمر؟

الأجسام الساكنة تبقى ساكنة، والأجسام المتحركة بسرعة ثابته وفي خط مستقيم تبقى كذلك مالم تؤثر عليها قوى خارجية، وهذا يعني أننا نحتاج قوة لتحريك الأجسام الساكنة، ونحتاج قوة لإيقاف الأجسام المتحركة، ولكننا لا نحتاج قوة لجعلها تستمر في حركتها بخط مستقيم وبسرعة ثابتة.

فسر مايأتي:
عندما تتحرك الحافلة للأمام يرتد المسافرون للخلف وعندما تتوقف فجأة يندفعون للأمام

قانون نيوتن الأول في الحركة:

> الجسم الساكن يبقى ساكناً والجسم المتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم يستمر بحركته بنفس السرعة والاتجاه ما لم تؤثر عليه قوة خارجية تجبره على تغيير ذلك.

يصف هذا القانون ميل الأجسام للمحافظة على حالتها الحركية وممانعة تغييرها، ويطلق على هذه الظاهرة (خاصية القصور الذاتي للأجسام)؛ لذا يسمى قانون نيوتن الأول قانون القصور الذاتي. وهذه الخاصية تعتمد على كتلة القصور للجسم وتزداد بازديادها . هذا يعني أن تغيير الحالة الحركية للجسم تكون أصعب كلما كانت كتلة القصور له أكبر.

> كتلة القصور : هي الممانعة التي يبديها الجسم ضد القوة التي تحاول تغيير حالته الحركية.

هل تعلم؟
تسمى الممانعة التي يبديها الجسم ضد قوة الجاذبية الأرضية كتلة الجذب.

نشاط (١): القصور الذاتي للأجسام:

المواد والأدوات: كأس ماء، وقطعة كرتون، وقطعة نقد.
خطوات العمل:

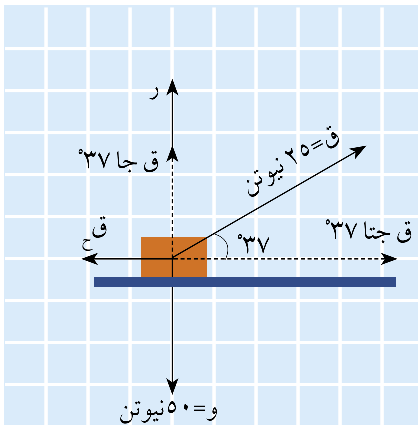
١. قص قطعة كرتون مربعة الشكل وضعها أفقياً على فوهة الكأس كما في الشكل.
٢. ضع قطعة النقد في مركز قطعة الكرتون تقريباً.
٣. اسحب أو انقر قطعة الكرتون بأقصى سرعة ممكنه أفقياً.

أين سقطت قطعة النقد؟ فسر ما شاهدته.

مثال (١):

جسم وزنه ٥٠ نيوتن يتحرك على سطح أفقي خشن بسرعة ثابتة تحت تأثير قوة مقدارها ٢٥ نيوتن تميل عن الأفق بزاوية مقدارها ٣٧° . احسب مقدار كل من :

- قوة التلامس العمودية
- قوة الاحتكاك



الحل:

حيث أن الجسم يسير في سرعة ثابتة، فهو في حالة اتزان ديناميكي، أي أن محصلة القوى عليه تساوي صفراً

∑ ق س = صفر

ق جتا٣٧° - ق ح = صفراً

ق ح = ٢٥x٠,٨ = ٢٠ نيوتن

∑ ق ص = صفر

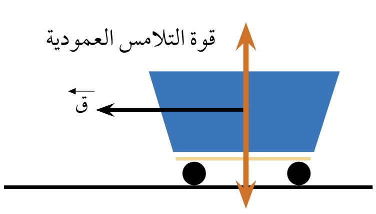
(ق جا ٣٧° +ر) - و= صفراً

ر= و - ق جا ٣٧° = ٥٠ - ٢٥ x ٠,٦ = ٣٥ نيوتن .

٣ ـ ٢ قانون نيوتن الثاني في الحركة

استنتجنا من قانون نيوتن الأول أننا لا نحتاج قوة لجعل الجسم يستمر في حركته بخط مستقيم وبسرعة ثابتة، فلماذا تتوقف الكرة بعد فترة من ركلها؟ هل هذا يتعارض مع ما درسناه في قانون نيوتن الأول؟

للإجابة عن هذه الأسئلة نفترض أن هناك عربة ساكنة على سطح أفقي عديم الاحتكاك، كما في الشكل (١) ، فإذا أثرت عليها قوة نحو اليسار، فهل ستبقى ساكنة؟ وما هو الاتجاه المحتمل لحركتها؟ هل ستتحرك بسرعة ثابتة أم متغيرة؟



الشكل (١) : قانون نيوتن الثاني

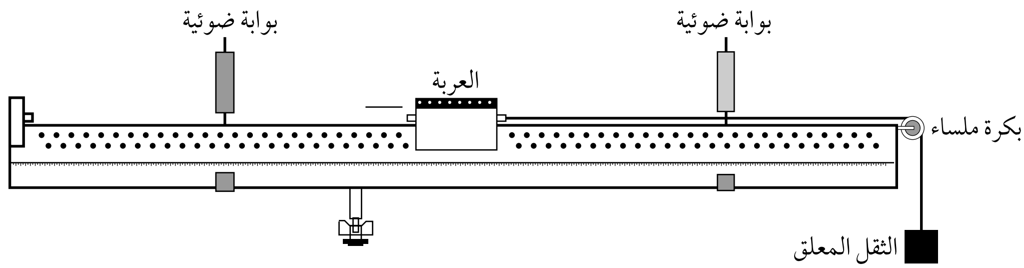
تقع العربة تحت تأثير عدة قوى، هي: وزنها إلى أسفل، وقوة التلامس العمودية إلى أعلى، والقوة المؤثرة حيث أن محصلة القوى المؤثرة في العربة في الاتجاه الأفقي لا تساوي صفراً ، فانها لن تبقى ساكنة بل ستتحرك بتسارع نحو اليسار . وبهذا تكون القوة قد تسببت في تغيير الحالة الحركية للجسم .

ويختص قانون نيوتن الثاني بتوضيح العلاقة بين القوة المؤثرة على جسم ما والتغير في حالته الحركية (تسارعه)، ولمعرفة هذه العلاقة نقوم بإجراء النشاط الآتي :

نشاط (٢): العلاقة بين القوة المؤثرة على الجسم والتسارع الذي يكتسبه.

المواد والأدوات:

السكة الهوائية الموجودة في مختبر مدرستك وملحقاتها، وميزان حساس، وميزان تسوية، ومسطرة



خطوات العمل:

١. اضبط استواء السكة الهوائية يدوياً أو باستخدام ميزان تسوية.
٢. ركب البوابتين الضوئيتين على مسافة مناسبة على السكة، وصلهما مع العداد الزمني.
٣. ثبت حاجزاً على شكل حرف U على ظهر العربة وقس عرض الحاجز.
٤. ثبت البكرة على طرف السكة.
٥. اربط العربة بوساطة خيط خفيف يمر فوق البكرة ويربط في نهايته خطاف صغير.
٦. شغل العداد الزمني على وظيفة قياس التسارع في العداد.
٧. علق كتلة معروفة في طرف الخيط الحر.
٨. شغل المضخة الهوائية، واترك العربة تتحرك خلال البوابتين الضوئيتين تحت تأثير ثقل الجسم.
٩. سجل القراءات الثلاث التي تظهر على شاشة العداد بشكل متتالي، وهي:
   - القراءة الأولى: زمن قطع الحاجز للبوابة الأولى ز$_{١}$. (عرض الحاجز ف = ٥سم)
   - القراءة الثانية: زمن قطع الحاجز للبوابة الثانية ز$_{٢}$.
   - القراءة الثالثة: الزمن المستغرق بين البوابتين ز$_{٣}$.

رقم المحاولة	و	ز$_{١}$(ث)	ز$_{٢}$(ث)	ز$_{٣}$(ث)	ع$_{١}$=ف/ز$_{١}$	ع$_{٢}$=ف/ز$_{٢}$	ت=ع$_{٢}$-ع$_{١}$/ز$_{٣}$ م/ث^{٢}	القوة (نيوتن)
١								
٢								
٣								

١٠. كرر التجربة بتعليق أوزان مختلفة في كل محاولة، واحسب التسارع بنفس الطريقة السابقة. ارسم منحنى القوة-التسارع. هل يمكنك حساب كتلة العربة من الرسم؟

إن النتيجة التي حصلت عليها في النشاط السابق توصل إليها العالم نيوتن أيضا، وصاغها في قانونه الثاني:

قانون نيوتن الثاني: يتناسب التسارع الذي يكتسبه جسم تناسباً طردياً مع محصلة القوى المؤثرة عليه.

ورياضياً يكتب بالشكل التالي :

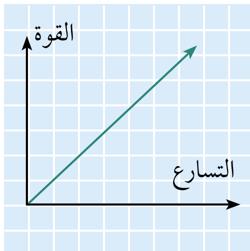
محصلة القوى المؤثرة على الجسم = كتلة الجسم x تسارعه .

$\sum \overleftarrow{ق} = ك \times \overleftarrow{ت}$ .... (١)

حيث $\overleftarrow{ق}$: القوة المحصلة المؤثرة في الجسم بالنيوتن .

ك : كتلة الجسم بالكغم .

$\overleftarrow{ت}$: التسارع الذي يكتسبه الجسم بوحدة م/ ث^{٢} .



الشكل (٢) العلاقة بين القوة والتسارع

من هنا يمكن تعريف وحدة القوة (النيوتن) بأنها القوة التي تكسب جسماً كتلته ١ كغم تسارعاً مقداره ١ م/ ث^{٢} باتجاهها ، وبيانياً تمثل العلاقة بين القوة والتسارع بخط مستقيم كما في الشكل (٢) .

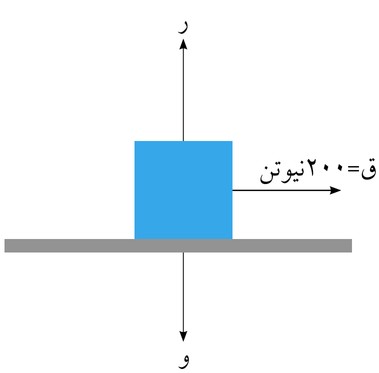
مثال (٢):

رجل يجر صندوقاً كتلته ٥٠ كغم على أرضية أفقية عديمة الاحتكاك ، كما في الشكل .

- احسب التسارع الذي يكتسبه الصندوق .
- احسب المسافة التي يقطعها الصندوق بعد ١٠ ثوان من بدء حركته ، علماً بأنه بدأ الحركة من السكون .

الحل:

- لحساب التسارع الذي يكتسبه الصندوق نستخدم قانون نيوتن الثاني .



$\sum \overleftarrow{ق}_{ص} =$ صفر

$\sum \overleftarrow{ق}_{س} = ك \times \overleftarrow{ت}$

$٢٠٠ = ٥٠ \times ت$

$ت = \frac{٢٠٠}{٥٠} = ٤$ م/ ث^{٢}

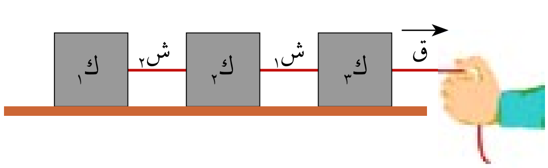
- لحساب المسافة التي قطعها الجسم نستخدم معادلات الحركة :

$ف = ع_{١} ز + \frac{١}{٢} ت ز^{٢}$

$=$ صفر $+ \frac{١}{٢} \times ٤ \times ١٠^{٢} = ٢٠٠$ متر

سؤال

تؤثر قوة مقدارها ١٠٠ نيوتن على مجموعة من الكتل مربوطة بوساطة خيوط مهملة الكتلة كما في الشكل . فإذا علمت أن :



$ك_{١} = ١٠$ كغم ، $ك_{٢} = ١٥$ كغم ، $ك_{٣} = ٢٥$ كغم .

فاحسب كلاً من : تسارع المجموعة ، والشد في كلٍ من الخيوط .

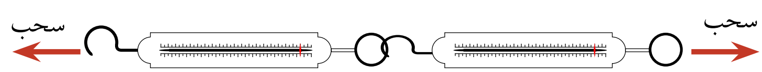
٣ ـ ٣ قانون نيوتن الثالث في الحركة

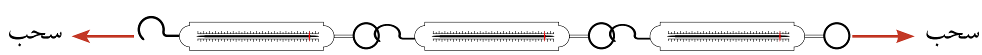
كم مرة آلمتك يدك عند محاولتك ضرب كرة بقوة أو الطرق على باب مقفل؟ وكم مرة حاولت أن تدق مسماراً بوساطة مطرقة لتجد أن المطرقة ترتد نحوك عند اصطدامها بالمسمار؟

لقد وجد نيوتن تفسيراً لكل هذه الظواهر من خلال قانونه الثالث الذي يبحث في طبيعة القوى التي تؤثر على الأجسام، والتي تتواجد بشكل أزواج متساوية ومتعاكسة في الاتجاه، ولمعرفة نص قانون نيوتن الثالث قم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط (٣): الفعل ورد الفعل

المواد والادوات: ميزان زنبركي عدد ٣





خطوات العمل:

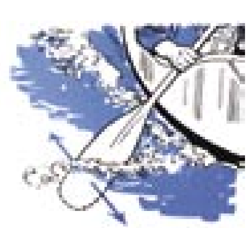
- علق خطاف أحد الميزانين في حلقة الآخر كما في الشكل.
- قس قراءة الميزانين. ماذا تستنتج؟
- كرر التجربة السابقة باستخدام ثلاثة موازين كما في الشكل.
- قس قراءة الميزان الأوسط. فسر اجابتك.

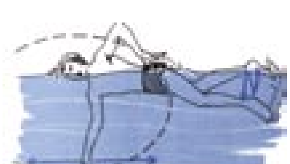
هل تستطيع التعميم اعتماداً على نتائج تجربتك أن القوى توجد في الكون على شكل أزواج متساوية ومتعاكسة في الاتجاه.

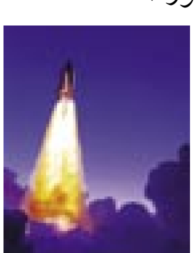
> قانون نيوتن الثالث: لكل قوة فعل قوة رد فعل مساوية لها في المقدار ومعاكسة لها في الاتجاه، وتؤثران على جسمين مختلفين، وتعملان على نفس الخط.

سؤال

حدد قوتي الفعل ورد الفعل في الأشكال الآتية (هناك أكثر من زوج واحد في كل صورة).







أمثلة متنوعة على قوانين نيوتن:

مثال (٣):

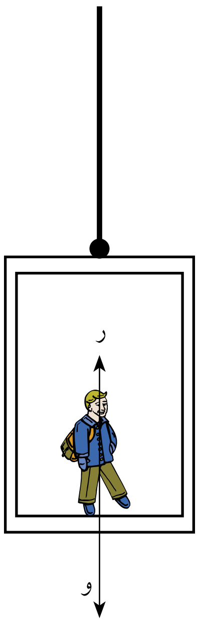
في الشكل المقابل يقف شخص كتلته ٥٠ كغم على أرضية مصعد كهربائي، اعتبر تسارع الجاذبية الأرضية ١٠ م/ ث^{٢} ، كم يكون رد الفعل على الشخص (وزنه الظاهري) عندما يكون المصعد :

١ . ساكناً؟

٢ . متحركاً لأعلى أو لأسفل بسرعة ثابتة؟

٣ . متحركاً لأعلى بتسارع مقداره ٢م/ ث^{٢}؟

٤ . متحركاً لأسفل بتسارع مقداره ٢م/ ث^{٢}؟



الحل:

يقع الشخص تحت تأثير قوتين متعاكستين في الاتجاه وخط عملهما مشترك وهما: قوة الجاذبية (وزن الشخص) وقوة التلامس العمودية من المصعد على الشخص. نطبق قانون نيوتن الثاني .

$\sum \overleftarrow{ق} = ك \times \overleftarrow{ت}$

١ . عندما يكون المصعد ساكناً فإن التسارع =صفر

ر− و = ك ت = صفر

ر = و = ٥٠٠ نيوتن

٢ . عندما يتحرك للأعلى أو لأسفل بسرعة ثابته فإن التسارع =صفر .

ر = و = ٥٠٠ نيوتن

٣ . عندما يتحرك المصعد للأعلى بتسارع = ٢م/ ث^{٢} .

$\sum \overleftarrow{ق} = ك \times \overleftarrow{ت}$

ر − و = ك ت

ر −٥٠٠ = ٥٠ x ٢ ،   ر= ٦٠٠نيوتن

٤ . عندما يتحرك المصعد للأسفل بتسارع = ٢م/ ث^{٢}

$\sum \overleftarrow{ق} = ك \times \overleftarrow{ت}$

و − ر = ٥٠ x ٢= ١٠٠

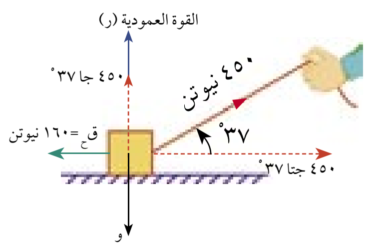
ر= و − ١٠٠ = ٥٠٠ −١٠٠= ٤٠٠ نيوتن

مثال (٤):

في الشكل المقابل عامل يجر صندوقاً بوساطة حبل يميل بزاوية ٣٧ْ عن الأفقي وبقوة شد مقدارها =٤٥٠ نيوتن، فإذا كانت قوة الاحتكاك = ١٦٠ نيوتن. احسب تسارع الصندوق علماً بأن كتلته ١٠٠ كغم

الحل:

نحلل قوة الشد في الحبل إلى مركبتين متعامدتين كما في الشكل.



محصلة القوى العمودية على السطح = صفر

$\sum$ ق$_{ص}$ = صفر

$\sum$ ق$_{س}$ = ك x ت

٤٥٠ جتا ٣٧ْ – ١٦٠ = ١٠٠ x ت

٤٥٠x $\frac{٤}{٥}$ – ١٦٠ = ١٠٠ x ت

٣٦٠–١٦٠ = ١٠٠ x ت ، ت= ٢ م/ث^{٢}

مثال (٥):

جسم كتلته ٢ كغم موضوع أسفل سطح يميل بزاوية مقدارها ٥٣ْ عن الأفقي، أثرت عليه قوة موازية للسطح قيمتها ٣٠ نيوتن، فإذا كان ارتفاع السطح ٤ متر، احسب:

١. القوة العمودية. ٢. سرعة الجسم في أعلى السطح.

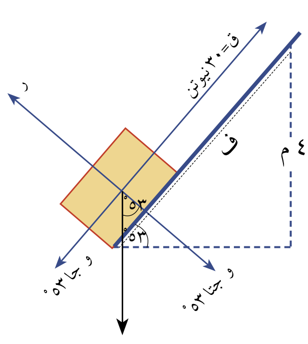
الحل:

نحلل الوزن إلى مركبتين متعامدتين، إحداهما موازية للسطح، والأخرى عمودية عليه

١. $\sum \overleftarrow{ق}$ = ك $\overleftarrow{ت}$ بالاتجاه العمودي على السطح المائل

ر – و جتا ٥٣ْ =صفر

ر = وجتا ٥٣ْ = ٢x١٠ x ٠,٦ = ١٢ نيوتن



٢. $\sum \overleftarrow{ق}$ $_{باتجاه الحركة}$ = ك $\overleftarrow{ت}$

ق – وجا ٥٣ْ = ك ت

٣٠ – وجا ٥٣ْ = ك ت

٣٠ – ٢٠ x ٠,٨ = ٢ت ، ت = $\frac{١٤}{٢}$ = ٧ م/ث^{٢}

جا ٥٣ْ = $\frac{\text{ارتفاع السطح}}{\text{طوله}}$ ، $\frac{٤}{٥}$ = $\frac{٤}{ف}$ ، ف =٥ متر

من قانون الحركة: ع$_{٢}^{٢}$= ع$_{١}^{٢}$ + ٢ ت ف

= ٠ + ٢x ٧ x ٥ = ٧٠

ع$_{٢}$ = ٨,٤ م/ث

٣ ـ ٤ قانون الجذب العام

صاغ نيوتن قوانينه في الجاذبية حوالي عام ١٦٨٠م مستفيداً من اكتشافات جاليليو، وافترض أن أي جسمين في الكون يؤثر كل منهما على الآخر بقوة جذب، وتوصل إلى حسابها تجريبياً، وصاغ قانون الجذب العام والذي ينص على ما يلي:

> قانون الجذب العام لنيوتن: يوجد بين كل جسمين ماديين قوى تجاذب بحيث أن قوة الجاذبية التي يؤثر بها كل منهما على الآخر تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلة الجسمين، وعكسياً مع مربع المسافة بينهما.

بصيغة رياضية:

$$ق_{ج} = ج \times \frac{ك_{١} \times ك_{٢}}{ف^{٢}} \quad \dots\dots\dots (٢)$$

حيث $ق_{ج}$: قوة التجاذب بين الجسمين

$ك_{١}$ ، $ك_{٢}$: كتل الجسمين

ف: المسافة بين مركزي الجسمين

ج: ثابت الجذب العام = $٦,٦٧ \times ١٠^{-١١}$ نيوتن $م^{٢}/كغم^{٢}$

مثال (٦):

احسب قوة التجاذب بين جسم كتلته ١كغم والأرض علماً أن كتلة الأرض تساوي ٦×١٠^{٢٤} كغم، والمسافة إلى مركز الأرض ٦٤٠٠ كم؟

الحل:

$$ق_{ج} = ج \times \frac{ك_{١} \times ك_{٢}}{ف^{٢}}$$

$$ق_{ج} = ٦,٦٧ \times ١٠^{-١١} \times \frac{١ \times ٦ \times ١٠^{٢٤}}{(٦,٤ \times ١٠^{٦})^{٢}} = ٩,٧ \text{ نيوتن}$$

لاحظ أن هذه القوة تساوي وزن الجسم.

سؤال

احسب مقدار قوى الجاذبية المتبادلة بين القمر والأرض علماً أن

بعد القمر عن الأرض = $٣,٨ \times ١٠^{٨}$ م

كتلة القمر = $٧,٣ \times ١٠^{٢٢}$ كغم

كتلة الأرض = ٦×١٠^{٢٤} كغم

س١ : علل ما يأتي :

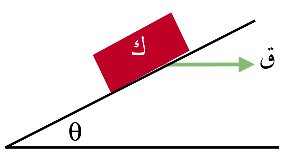
١ . ارتداد ماسورة المدفع للخلف عندما تطلق قذيفة للأمام .

٢ . يركض السباح مسافة محددة ثم يقفز للأعلى قبل أن يقفز في الماء .

س٢ : استخدمت قوة أفقية مقدارها ٥٠ نيوتن لمسارعة جسم إلى اليمين على سطح أفقي خشن . فإذا كانت قوة الاحتكاك المؤثرة على الجسم ١٠ نيوتن . وكتلته ٢كغم احسب :

١ . قوة التلامس العمودية . ٢ . القوة المحصلة . ٣ . تسارع الجسم .

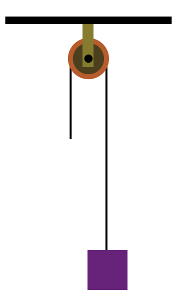
س٣ : في الشكل المقابل أثرت القوة $\vec{ق}$ أفقيا على جسم موضوع على سطح مائل .



١ . جد مركبة ق العمودية على السطح .

٢ . هل وجود هذه القوة يزيد أو يقلل قوة التلامس العمودية؟

س٤ : في الشكل المقابل جسم وزنه ٧٥ نيوتن مربوط بخيط يمر حول بكرة ملساء .



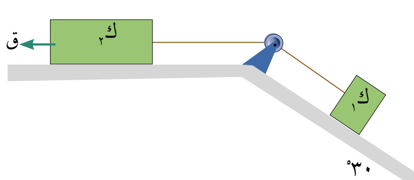
جد الشد في الحبل في الحالات الآتية :

١ . الجسم يتحرك لأعلى بسرعة ثابتة .

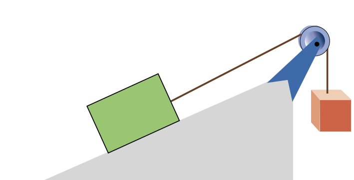
٢ . الجسم يتحرك لأعلى بتسارع مقداره ٢ م/ ث^٢ .

٣ . الجسم يتحرك لأسفل بتسارع مقداره ٢ م/ ث^٢ .

س٥ : في الشكل المقابل جسم كتلته ١ كغم موضوع على سطح مائل أملس يميل ٣٠° عن الأفقي ، مربوط إلى كتلة أخرى ٣ كغم موضوعة على سطح أفقي أملس . البكرة خفيفة وملساء . إذا كانت قيمة ق = ٥ نيوتن فحدد اتجاه الحركة ، ثم احسب الشد في الخيط .



س٦ : في الشكل المقابل ، إذا علمت أن $ك_١$ = ٤ كغم ، $ك_٢$ = ٣ كغم والسطح المائل أملس ، والبكرة أيضاً خفيفة وملساء احسب :



١ . مقدار واتجاه تسارع كل من الجسمين .

٢ . مقدار الشد في الخيط .

س٨ : افترض أن قوة التجاذب بين جسمين = ١٦ نيوتن . كم تصبح قوة التجاذب بينهما إذا تضاعفت المسافة بين مركزيهما؟

٤ الشغل والطاقة :Work and Energy

يعدّ الشغل والطاقة من أهم المفاهيم الفيزيائية في التكنولوجيا والتطبيقات الهندسية ، وتتنافس الدول في البحث عن مصادر الطاقة لاستخدامها في كافة المجالات الصناعية والتكنولوجية .

تتنوع مصادر الطاقة وأشكالها بتنوع جوانب حياتنا واحتياجاتنا المختلفة . وقد درست أنواع الطاقة وتحولاتها في صفوف سابقة وعرفت أن تاريخ التكنولوجيا ما هو إلا عملية مستمرة لاكتشاف تحولات الطاقة من شكل إلى آخر . والشغل في الحياة يعني بذل جهد جسماني أو ذهني ، فما الطاقة؟ وما علاقتها بمفهوم الشغل؟ هذه الأسئلة ، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك لهذا الفصل ، وستكون قادراً على أن :

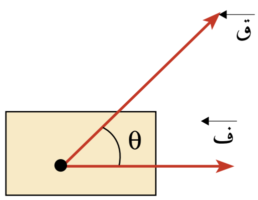
- تتعرف مفهوم كل من الشغل والطاقة والقدرة .
- تحسب شغل قوة ثابتة رياضياً .
- تستخدم منحنى القوة – الإزاحةلحساب شغل قوة متغيرة مقداراً .
- تحسب الشغل المختزن في نابض .
- تستنتج العلاقة بين الشغل المبذول على جسم والتغيرفي طاقة حركته .
- تستنتج العلاقة بين الشغل المبذول على جسم والتغيرفي طاقة وضعه .
- تتعرف نظرية الشغل والطاقة .
- تحسب طاقة الوضع المرونية المختزنة في الزنبرك .
- تتعرف قانون حفظ الطاقة الميكانيكية .
- تقارن بين مفهومي القوة المحافظة والقوة غير المحافظة .
- تحل مسائل عددية على قانون حفظ الطاقة .

٤ـ ١ الشغل

اتفق الفيزيائيون على وصف للشغل يشبه المعنى اليومي له، ولكنه لا يتطابق معه تماماً، وينتج الشغل بمعناه الفيزيائي عند تأثير قوة على جسم ما وإزاحته مسافة معينة، لذا يعرف الشغل بأنّه حاصل الضرب النقطي لمتجه القوة المسببة في متجه الإزاحةالتي تحركها الجسم تحت تأثير القوة.

رياضياً فإن الشغل المبذول على جسم نقطي يتحرك على خط مستقيم إزاحة($\overleftarrow{\text{ف}}$) تحت تأثير قوة ثابتة ($\overleftarrow{\text{ق}}$) يعطى بالعلاقة:

$\text{ش}_{\text{غ}} = \overleftarrow{\text{ق}} \cdot \overleftarrow{\text{ق}} = |\text{ق}||\text{ف}|\ \text{جتا}\ \theta$ .... (١)



الشكل(١): الشغل المبذول من قوة ثابتة

حيث:

- $|\overleftarrow{\text{ق}}|$: مقدار القوة المؤثرة على الجسم.
- $|\overleftarrow{\text{ف}}|$: مقدار الإزاحة التي تحركها الجسم تحت تأثير القوة.
- θ : الزاوية بين القوة والإزاحة.

وقد يكون الشغل موجباً أو سالباً أو صفراً حسب الزاوية بين القوة والإزاحة.

ويقاس الشغل بوحدة الجول في النظام العالمي للوحدات.

الجول: هو الشغل الذي تبذله قوة مقدارها ١ نيوتن في تحريك جسم إزاحةمقدارها ١ م باتجاهها.

مثال (١):

احسب الشغل الذي تبذله قوة مقدارها ٤٠ نيوتن على جسم ما، وتحركه مسافة أفقية مقدارها ٢٠م باتجاهها.

الحل:

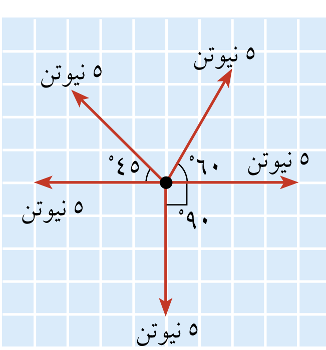
شغ = ق ف جتاθ

= ٤٠ x ٢٠ x جتا صفر = ٨٠٠ جول

سؤال

جسم نقطي يقع تحت تأثير خمسة قوى متساوية في المقدار كما في الشكل.

احسب الشغل المبذول من كل قوة إذا قطع الجسم مسافة ٢م باتجاه الشرق، المحصلة، ثم احسب الشغل الكلي المبذول في الحالتين.



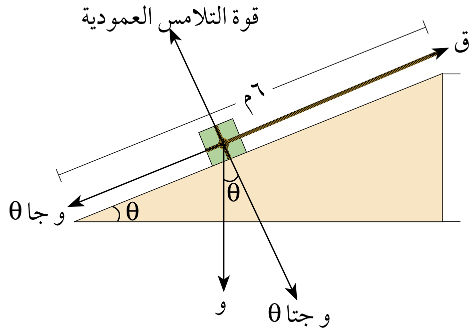
مثال (٢):

ربط جسم كتلته ٥٠ كغم بحبل يسحبه إلى أعلى بقوة مقدارها ٥٠٠ نيوتن، على سطح مائل أملس طوله ٦ متر، ويميل بزاوية مقدارها ٣٧° عن الأفقي، كما في الشكل. فإذا تحرك الجسم من أسفل السطح إلى أعلاه.

١ . ما القوى المؤثرة على هذا الجسم؟ حدد اتجاه كل منها بالرسم .

٢ . احسب شغل كل من هذه القوى .

٣ . احسب الشغل الكلي المبذول على الجسم .



الحل:

١ . تؤثر على الجسم ثلاث قوى، هي : وزن الجسم، وقوة السحب، وقوة التلامس العمودية . انظر الشكل .

٢ . شغل القوة ق = |ق| |ف| جتا صفر = ٥٠٠ x ٦ x ١ = ٣٠٠٠ جول

شغل التلامس العمودية= | ر | |ف| جتا ٩٠ = صفر

شغل الوزن= | و | |ف| جتا (٩٠+ θ) = ٥٠٠ x ٦ x (-٠,٦) = -١٨٠٠جول

لاحظ أن:
جتا (٩٠+ θ) =- جا θ

٣ . الشغل الكلي = المجموع الجبري للشغل الذي تبذله كل قوة على حده .

= ٣٠٠٠+ ٠ - ١٨٠٠ = ١٢٠٠ جول .

شغل الجاذبية الأرضية:

اذا تحرك جسم في مجال الجاذبية الأرضية، فإن قوة الجاذبية تبذل عليه شغلاً يعطى بالعلاقة الآتية :

$ش_غ = \overleftarrow{و} . \overleftarrow{ف} = |\overleftarrow{و}| \, |\overleftarrow{ف}|$ جتا θ

وهناك ثلاث حالات ندرسها في ما يأتي :

أ . إذا سقط الجسم رأسياً إلى أسفل فإن إزاحةالجسم تكون باتجاه قوة الجاذبية، وتكون الزاوية بين الإزاحة والوزن تساوي صفراً .

الشغل = $|\overleftarrow{و}| \, |\overleftarrow{ف}|$ جتا ٠ = ك جـ ف

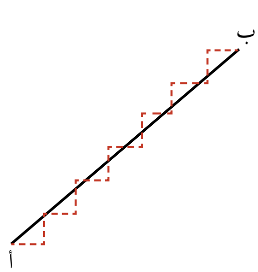
ب . إذا قذف الجسم رأسياً إلى أعلى فإن إزاحة الجسم تكون بعكس اتجاه قوة الجاذبية، وتكون الزاوية بين الإزاحة والوزن تساوي ١٨٠° .

الشغل = $|\overleftarrow{و}| \, |\overleftarrow{ف}|$ جتا ١٨٠° = - ك جـ ف

جـ . إذا تحرك الجسم أفقياً فإن إزاحة الجسم تكون عمودية على قوة الجاذبية الأرضية، وتكون الزاوية بين الإزاحة والوزن تساوي ٩٠° .

الشغل = $|\overleftarrow{و}| \, |\overleftarrow{ف}|$ جتا ٩٠° = ٠

ملاحظة : إذا تحرك جسم على سطح مائل فإنه يمكن تقسيم المسار إلى قطع أفقية ورأسية كما في الشكل(٢)، ويكون شغل الجاذبية الأرضية في الإزاحات الأفقية يساوي صفراً .



الشكل (٢): حركة الجسم على سطح مائل

سؤال

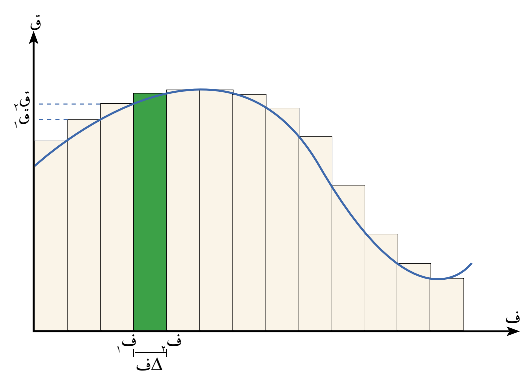
احسب الشغل المبذول ضد الجاذبية لرفع جسم كتلته ٥ كغم :

- مسافة مقدارها ٣م رأسياً لأعلى .
- على سطح مائل أملس طوله ٥م ويميل بزاوية ٥٣ ° عن الأفقي .

هل يتأثر الشغل بالمسار بين الحالة الابتدائية والحالة النهائية؟

هل تؤثر زاوية ميل السطح على مقدار الشغل المبذول على الجسم لرفعه مسافة رأسية محددة؟وضح إجابتك

٤ ـ ٢ الشغل المبذول من قوة متغيرة



الشكل(٣) : الشغل المبذول من قوة متغيرة

درست حتى الآن الشغل المبذول على جسم نقطي متحرك على خط مستقيم عند تأثير قوى ثابتة المقدار عليه، وتوصلنا إلى صيغة رياضية لحسابه . ولحساب الشغل الذي تبذله قوة متغيرة على جسم نقوم بما يأتي .

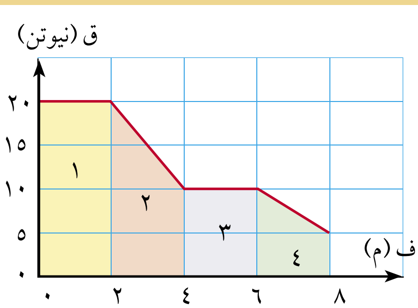
١ . نمثل العلاقة بين القوة والإزاحة بيانياً كما في الشكل(٣) .

٢ . نقسم هذه المساحة إلى مستطيلات صغيرة جداً، عرض كل منها (Δف)، وطولها (ق)، بحيث يمكن اعتبار (ق) خلال كل مساحة منها ثابتة .

الشغل الكلي = ∑ ق Δ ف ، ويساوي عددياً مجموع المساحات المظللة والموضحة بالشكل(٣)

الشغل المبذول من قوة متغيرة = المساحة المحصورة بين منحنى القوة والإزاحة .

مثال (٣):



يتحرك جسم بخط مستقيم على سطح أفقي أملس تحت تأثير قوة تتغير مع موقع الجسم كما في المنحنى المجاور . احسب مقدار الشغل الذي تبذله القوة في تحريك الجسم من صفر إلى ٨ م .

الحل:

الشغل يساوي عددياً المساحة تحت المنحنى

= مساحة المستطيل + مساحة شبه المنحرف + مساحة المستطيل + مساحة شبه المنحرف

الشغل = ٢٠x٢ + $\frac{١}{٢}$ (١٠ + ٢٠) x ٢ + ١٠x٢ + $\frac{١}{٢}$ (١٠+٥) x ٢

= ٤٠ + ٣٠ + ٢٠ +١٥ = ١٠٥ جول .

الشغل المبذول على نابض:

يوضح الشكل (٤) العلاقة الخطية بين القوة المؤثرة في نابض والاستطالة الحادثة فيه .

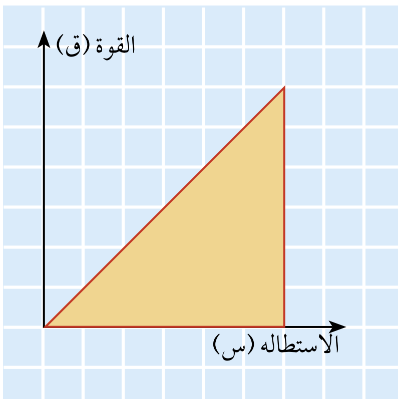
ق = أ x س ، حيث :

أ : يسمى ثابت المرونة للنابض .

ق : القوة المؤثرة في النابض

س : الاستطالة الحادثة للنابض .

الشغل المبذول على النابض= المساحة المحصورة بين منحنى القوة والإزاحة، وهي مثلثة الشكل :



الشكل (٤) : القوة المؤثرة على نابض

الشغل = $\frac{١}{٢}$ x القاعدة x الارتفاع = $\frac{١}{٢}$ س ق

= $\frac{١}{٢}$ س x أ س = $\frac{١}{٢}$ أ س^{٢} . . . . (٢)

سؤال

إذا كان الشغل المبذول على النابض = $\frac{١}{٢}$ أ س^{٢} ، ما مقدار الشغل الذي يبذله النابض على الجسم لنفس الاستطالة؟

مثال (٤):

احسب الشغل المبذول على نابض معامل مرونته ٢٠٠ نيوتن/ م إذا علمت أنه استطال بمقدار ٠,٥ متر ؟

الحل:

الشغل = $\frac{١}{٢}$ أ س^{٢} = $\frac{١}{٢}$ x ٢٠٠ x ٠,٢٥ = ٢٥ جول

٤ ـ ٣ الطاقة الحركية

لعلك شاهدت من على شاشة التلفاز الآثار المدمرة التي تخلفها الرياح والأعاصير في مناطق كثيرة من العالم، ولا بد أنك تستنتج من ذلك أن هذه الرياح والمياه المتحركة تمتلك كمية كبيرة من الطاقة تكفي لتدمير مجمعات سكنية بأكملها إذا لم يكن بالاستطاعة التحكم فيها، أما إذا تمكن الإنسان من التحكم فيها فإنه يمكن استغلالها في إنتاج الكهرباء مثلاً عن طريق تحريك توربينات أو تنفيذ أعمال أخرى، مثل إدارة طواحين الهواء وغيرها .

يسمى هذا الشكل من الطاقة التي تمتلكها الأجسام بسبب حركتها الطاقة الحركية، وعليه فأن أي جسم يتحرك يمتلك طاقة حركية، ويستطيع بذلك أن ينجز شغلاً نتيجة طاقته الحركية.

طاقة الحركة: هي الطاقة التي يمتلكها الجسم بسبب حركته وتقاس بوحدة الجول.

طاقة حركة الجسم ($ط_ح$) = $\frac{١}{٢}$ ك $ع^٢$ حيث: ك: كتلة الجسم

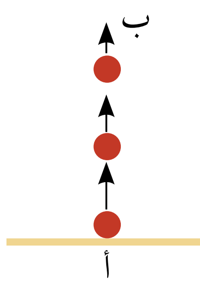
ع: سرعة الجسم

مثال (٤):

قذف جسم كتلته ٢كغم رأسياً إلى أعلى من النقطة (أ) بسرعة مقدارها ٢٠م / ث فمر بالنقطة ب التي ترتفع ١٥م عن أ. احسب كلاً من:

١. سرعة الجسم عند النقطة (ب).

٢. طاقته الحركية في النقطة (ب).



الحل:

١. $ع_ب^٢ = ع_أ^٢ + ٢ت ف$

$= ٤٠٠ - ٢ \times ١٠ \times ١٥ = ١٠٠$

$ع_ب = ١٠$ م/ث

٢. $ط_{ح ب} = \frac{١}{٢} ك ع_ب^٢$

$= \frac{١}{٢} \times ٢ \times ١٠٠$

$= ١٠٠$ جول

ولإيجاد العلاقة بين الشغل الذي يبذله الجسم وطاقته الحركية نطبق قانون نيوتن الثاني، وقوانين الحركة على جسم تتغير سرعته من $ع_١$ إلى $ع_٢$ عندما يقطع مسافة مقدارها ف تحت تأثير قوة ثابتة المقدار والاتجاه.

$(ع_٢)^٢ = (ع_١)^٢ + ٢ت ف$

$\overleftarrow{ق} = ك \overleftarrow{ت}$ ، $ت = \frac{ق}{ك}$

$(ع_٢)^٢ = (ع_١)^٢ + ٢ \frac{ق}{ك}$ ف

ق ف $= \frac{١}{٢} ك ع_٢^٢ - \frac{١}{٢} ك ع_١^٢ = ط_{ح٢} - ط_{ح١}$

$ش = \Delta ط_ح$ .... (٣)

وهذا يوصلنا إلى نظرية الشغل والطاقة التي تنص على ما يأتي:

مجموع الشغل الذي يبذل على جسم ما يساوي التغير في طاقته الحركية.

مثال (٥):

سيارة كتلتها ١٠٠٠ كغم تتحرك بسرعه ثابتة مقدارها ٣٦ كم/ ساعة . ضغط السائق على الفرامل فانخفضت سرعتها إلى ١٨ كم/ ساعة . احسب :

١ . الطاقة الحركية للسيارة لحظة ضغط السائق على الفرامل .

٢ . الطاقة الحركية للسيارة بعد الضغط على الفرامل .

٣ . التغير في الطاقة الحركية للسيارة .

٤ . الشغل الذي بذل على السيارة اثناء الضغط على الفرامل .

الحل:

١ . $ط_{ح١} = \frac{١}{٢} \times ١٠٠٠ \times \left(\frac{١٠٠٠ \times ٣٦}{٦٠ \times ٦٠}\right)^{٢} = ٥٠٠٠٠$ جول

٢ . $ط_{ح٢} = \frac{١}{٢} \times ١٠٠٠ \times \left(\frac{١٠٠٠ \times ١٨}{٦٠ \times ٦٠}\right)^{٢} = ١٢٥٠٠$ جول

٣ . $\Delta ط_{ح} = ١٢٥٠٠ - ٥٠٠٠٠ = -٣٧٥٠٠$ جول

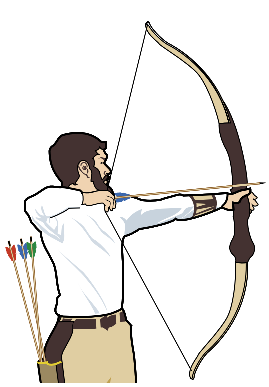
٤ . الشغل $= \Delta ط_{ح} = -٣٧٥٠٠$ جول

النقص في طاقة حركة الجسم تحول إلى طاقة حرارية .

٤ ـ ٤ طاقة الوضع

قد يمتلك الجسم شكلاً آخر من أشكال الطاقة المخزنة فيه تسمى طاقة الوضع ، ويمكننا تعريف طاقة الوضع بأنها قدرة الجسم على إنجاز شغل ما اعتماداً على موقع جزيئاته بعضها من بعض ، أو على موقعه بالنسبة لأجسام أخرى مثل الكرة الأرضية . فمثلاً عندما نسحب كتلة مربوطة بنابض ، فإننا نحدث استطالة في طول النابض ، ويتحول الشغل الذي بذل على النابض إلى طاقة وضع مخزنة في النابض ، فإذا ما تركنا الكتلة ، فإنها ستتحرك وتتحول طاقة الوضع إلى طاقة حركية للكتلة . ويسمى هذا الشكل من الطاقة والذي ينتج عن تغير في موقع جزيئات النابض بعضها من بعض طاقة الوضع المرونية .

عندما نرفع حجراً فوق سطح الأرض ، فإننا نبذل لرفعه شغلاً ضد الجاذبية الأرضية ، ويتخزن هذا الشغل على شكل طاقة وضع بسبب موقعه بالنسبة إلى سطح الأرض ، وإذا ما تركنا الحجر يسقط ، فإنه سيسقط نحو سطح الأرض نتيجة جذب الأرض له ، وتتحول طاقة الوضع المخزنة في الحجر إلى طاقة حركية يمكن الاستفادة منها في انجاز شغل ما ، ويسمى هذا الشكل من الطاقة والذي ينتج عن تغير في موقع الجسم بالنسبة للأرض طاقة الوضع الجذبي .



طاقة الوضع : هي الطاقة التي يمتلكها الجسم بسبب وضعه أو التغير الحاصل في شكله .

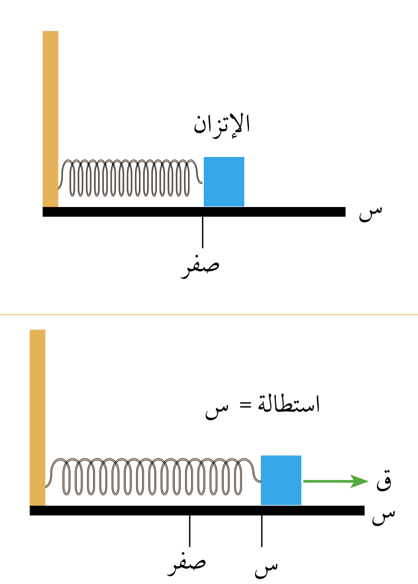
حساب طاقة الوضع:

مر معك سابقاً أن الشغل المبذول على نابض استطال أو انضغط مسافة (س) يعطى بالعلاقة الآتية:

ش = $\frac{1}{2}$ أس^2، حيث أ ثابت النابض. وحيث أن طاقة الوضع في النابض تساوي الشغل المبذول عليه، فإن طاقة الوضع المخزنة في النابض تعطى بالعلاقة الآتية:

ط$_و$ = ش = $\frac{1}{2}$أس^2 .... (٤)

ويلاحظ من هذه العلاقة أن طاقة الوضع في النابض تصل نهايتها العظمى عندما تكون مقدار استطالة النابض أو مقدار انضغاطه أكبر ما يمكن، بينما تكون صفراً عندما تكون س = صفر، أي في نقطة الاتزان.



الشكل (٥): طاقة الوضع في النابض

مثال(٦):

أثرت قوة على نابض فاستطال مسافة مقدارها ٠,٥ م. احسب:

١. الشغل المبذول على النابض.

٢. طاقة الوضع المختزنة فيه.

علما بأن ثابت المرونة للنابض ٧٥٠ نيوتن/م.

الحل:

الشغل = $\frac{1}{2}$ x أ x س^2

= $\frac{1}{2}$ x ٧٥٠ x ($\frac{1}{2}$)^2

= ٩٣,٧٥ جول

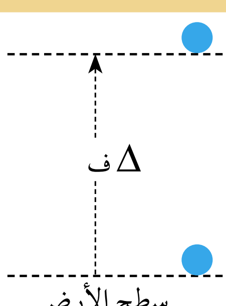
ط$_و$ = الشغل المبذول = ٩٣,٧٥ جول

عند رفع جسم من سطح الأرض رأسياً إلى أعلى مسافة مقدارها (ف)، فإننا نبذل لرفعه شغلاً يعطى بالعلاقة الآتية:

ش= ق ف = ك جـ ف، حيث ك كتلة الجسم، وجـ تسارع الجاذبية الأرضية.

وعليه فإن طاقة الوضع التي خزنت في الجسم تعطى بالعلاقة الآتية:

ط$_و$ = ش = ك جـ ف .... (٥)



الشكل (٦): طاقة الوضع لجسم في مجال الجاذبية الأرضية.

مثال(٧):

قذف جسم كتلته ٥ كغم رأسيا إلى أعلى ، فوصل إلى ارتفاع ٢٠ م عن سطح الأرض قبل أن يعود ثانية .
احسب طاقة وضع الجسم عند أقصى ارتفاع له بالنسبة للأرض .

الحل:

$ط_و$ = ك جـ ف = ٥ x ١٠ x ٢٠ = ١٠٠٠ جول

وهذا يمثل التغير في طاقة وضع الجسم بالنسبة لسطح الأرض حيث :

$ط_{و١}$ = صفر .

٤ ـ ٥ حفظ الطاقة الميكانيكية

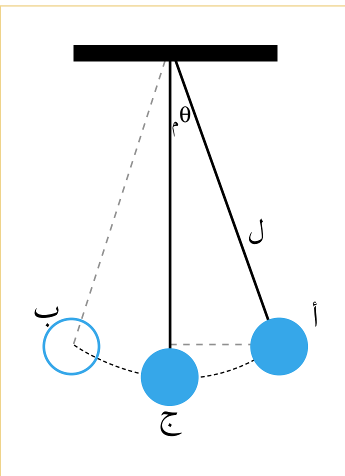
عرفت سابقاً أن الجسم يمتلك طاقة حركية بسبب حركته ، ويمكن أيضاً أن يمتلك طاقة وضع بسبب موقع جزيئاته بعضها من بعض ، أو بسبب موقعه بالنسبة لأجسام أخرى ، مثل الأرض ، ويسمى مجموع هذين الشكلين من الطاقة الطاقة الميكانيكية ، أي أن :

الطاقة الميكانيكية = طاقة الحركة + طاقة الوضع .

$ط_م = ط_و + ط_ح$ . . . . (٦)

وقد وجد أن مقدار الطاقة الميكانيكية لجسم يتحرك تحت تأثير قوى محافظة كمية ثابتة في أي لحظة ، وهذا لا يعني أن مقدار كل من الطاقة الحركية ثابت في أي لحظة بل إنّ أي زيادة في طاقة وضع الجسم يقابلها نقص في طاقة حركته والعكس صحيح لتبقى طاقته الميكانيكية ثابتة .
فلو تتبعنا حركة البندول البسيط الموضح في الشكل (٧) نلاحظ أن الجسم يمتلك طاقة وضع عظمى عند أقصى ارتفاع له عند النقطة (أ) .
وعند ترك الجسم يتذبذب فإن طاقة الوضع تتناقص وتزداد طاقة الجسم الحركية لتصل قيمتها العظمى عندما يكون الجسم في وضع الاتزان عند النقطة (ج) . وفي أي لحظة فإن مجموع طاقة الوضع وطاقة الحركة قيمة ثابتة تساوي القيمة العظمى لأي منهما .

القوة المحافظة : هي القوة التي لا يعتمد الشغل الذي تبذله على المسار بين نقطتي البداية والنهاية للحركة ؛ أي أن شغل هذه القوة على طول مسار مغلق يساوي صفراً مثل قوة الجاذبية وقوة النابض .

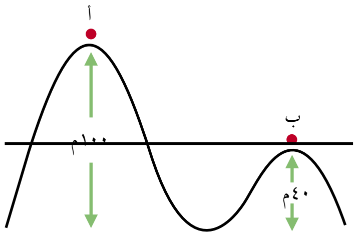


الشكل(٧) : حفظ الطاقة الميكانيكية

$ط_{و١} + ط_{ح١} = ط_{و٢} + ط_{ح٢}$ = مقدار ثابت . . . . (٧)

مثال (٨):

ينزلق جسم كتلته ٨ كغم من قمة تلة ارتفاعها ١٠٠ م، ثم يصعد تلة أخرى ارتفاعها ٤٠ م، كما في الشكل. ما سرعة المتزلج عندما يصل إلى قمة التلة الثانية؟ بإهمال الاحتكاك.



الحل:

$$\text{ط}_{\text{و ا}} + \text{ط}_{\text{ح ا}} = \text{ط}_{\text{و ب}} + \text{ط}_{\text{ح ب}}$$

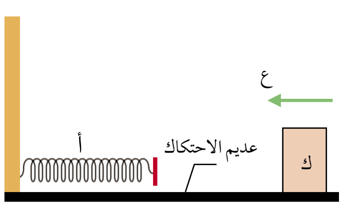
$$\text{ك جـ ف}_{\text{ا}} + \frac{١}{٢}\text{ك ع}_{\text{ا}}^{٢} = \text{ك جـ ف}_{\text{ب}} + \frac{١}{٢}\text{ك ع}_{\text{ب}}^{٢}$$

$$٨ \times ١٠ \times ١٠٠ + \frac{١}{٢} \times ٨ \times ٠ = ٨ \times ١٠ \times ٤٠ + \frac{١}{٢} \times ٨ \times \text{ع}_{\text{ب}}^{٢}$$

$$\text{ع}_{\text{ب}} = ٣٤,٦ \text{ م/ث.}$$

مثال (٩):

كتلة مقدارها ٠,٤ كغم تتحرك على سطح أفقي عديم الاحتكاك بسرعة ثابته مقدارها ١٠ م/ ث اصطدمت بنابض ثابت المرونة له ١٠٠٠ نيوتن/ م فضغطته مسافة ما كما في الشكل. جد مقدار أقصى مسافة ينضغطها النابض.



الحل:

$$\text{ط}_{\text{م}} \text{ قبل التصادم} = \text{ط}_{\text{م}} \text{ بعد التصادم}$$

$$\text{ط}_{\text{و١}} + \text{ط}_{\text{ح١}} = \text{ط}_{\text{و٢}} + \text{ط}_{\text{ح٢}}$$

$$٠ + \frac{١}{٢}\text{ك ع}^{٢} = \frac{١}{٢}\text{أ س}^{٢} + ٠$$

$$\text{س} = \text{ع}\sqrt{\frac{\text{ك}}{\text{أ}}} = ١٠\sqrt{\frac{٠,٤}{١٠٠٠}} = ٠,٢ \text{ متر}$$

الشغل الناتج عن قوة غير محافظة:

عندما تبذل قوة شغل مثل قوة الاحتكاك أو مقاومة الهواء على جسم ما فإن الطاقة الميكانيكية للجسم لن تبقى ثابتة. فإذا كان شغل القوة موجباً فان طاقته الميكانيكية تزداد بمقدار شغل القوة. أما اذا كان شغل القوة سالباً فإن الجسم يخسر طاقة بمقدار هذا الشغل. وتسمى القوى في هذه الحالة القوى غير المحافظة.

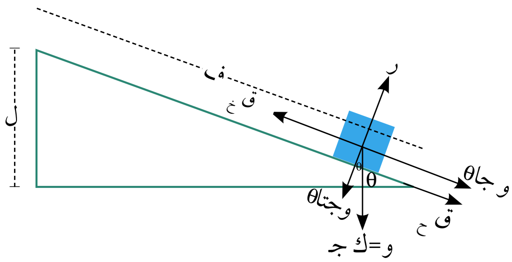
القوه غير المحافظة: هي القوة التي يعتمد الشغل المبذول منها بين نقطتين على المسار؛ أي يكون شغلها على مسار مغلق لا يساوي صفراً، مثل قوة الاحتكاك.

$$\Delta\text{ط}_{\text{م}} = \sum \text{ش}_{\text{غ}} \quad \text{.......... (٨)}$$

حيث $\sum \text{ش}_{\text{غ}}$: مجموع الشغل الناتج عن القوى غير المحافظة، أي أن:

$$(\text{ط}_{\text{ح٢}} + \text{ط}_{\text{و٢}}) - (\text{ط}_{\text{ح١}} + \text{ط}_{\text{و١}}) = \sum \text{ش}_{\text{غ}}$$

عندما تؤثر قوة خارجية على جسم كتلته (ك) وسرعته ($ع_1$) على سطح مائل خشن فتدفعه أعلى السطح مسافة (ف) كما في الشكل (٨)، فإن التغير في الطاقة الميكانيكية للجسم يساوي مجموع الشغل الذي تبذله القوى غير المحافظة.



الشكل (٨): الشغل الناتج عن قوى غير محافظة

$$(ط_{ح2} + ط_{و2}) - (ط_{ح1} + ط_{و1}) = \sum ش_{غ}$$

$$(٠ + ك\ جـ\ ل) - (\frac{١}{٢} ك\ ع^{٢} + ٠) = ق_{خ}\ ف - ق_{ح}\ ف$$

حيث $ق_{خ}$ ف: شغل القوة الخارجية، $-ق_{ح}$ ف: شغل قوة الاحتكاك.

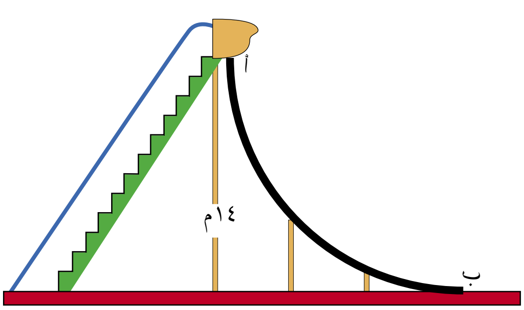
$$ق_{خ}\ ف = ك\ جـ\ ل - \frac{١}{٢} ك\ ع^{٢} + ق_{ح}\ ف$$

شغل القوة الخارجية = $\Delta ط_{ح}$ + $\Delta ط_{و}$ + شغل قوة الاحتكاك

مثال (١٠):

في مدينة الملاهي لعبة انزلاق على شكل قوس من دائرة نصف قطرها = ١٤م وارتفاعها = ١٤م، وتمس الأرض عند نهايتها كما في الشكل، فإذا بدأ طفل كتلته ٢٥ كغم الانزلاق من السكون من أعلى المسار فوصل إلى أسفله بسرعة ٦ م/ ث. احسب:

١. التغير في الطاقة الميكانيكية.
٢. متوسط قوة الاحتكاك على طول المسار.



الحل:

١. $\Delta ط_{م} = (ط_{ح2} + ط_{و2}) - (ط_{ح1} + ط_{و1})$

$$= (٠ + ك\ جـ\ ل) - (\frac{١}{٢} ك\ ع^{٢} + ٠)$$

$$= ٢٥ \times ١٠ \times ١٤ - \frac{١}{٢} \times ٢٥ \times ٦^{٢}$$

= ٣٠٥٠ جول

٢. $ش_{ح} = \Delta ط_{م}$ = ٣٠٥٠ جول

$$\text{طول القوس} = \frac{١}{٤}\ \text{محيط دائرة} = \frac{١}{٤}\ (٢\ \text{نق}\ \pi)$$

$$= \frac{١}{٤} \times ٢ \times ١٤ \times \frac{٢٢}{٧} = ٢٢\text{م}$$

$ش_{ح} = \bar{ق}_{ح}$ x طول القوس

$$\bar{ق}_{ح} = \frac{ش_{ح}}{\text{طول القوس}} = \frac{٣٠٥٠}{٢٢} = ١٣٨,٥\ \text{نيوتن}$$

٤ ـ ٦ القدرة

إذا كان لديك ٢ طن من الأسمنت معبئة بأكياس، وتريد نقلها من المخازن إلى سطح البناية و أمامك خياران: أن تستخدم الرافعة أو تستخدم ٥عمال لإنجاز المهمة، فأيهما ينجز المهمة في وقت أقصر؟

يستطيع كل من العمال والرافعة إنجاز العمل المطلوب المتمثل في رفع أكياس الأسمنت إلى سطح البناية، لكن ذلك يتطلب فترة زمنية مختلفة، إذ إنّ الزمن الذي يحتاجه العمال لنقل الأكياس يفوق بكثير الزمن الذي تستغرقه الرافعة؛ أي أن معدل انجاز الشغل لكل منهما يختلف عن الآخر، والكمية الفيزيائية التي تقيس معدل إنجاز كمية محددة من الشغل تسمى القدرة؛ أي أن:

معدل القدرة = $\frac{\text{الشغل}}{\text{الزمن}}$، وحيث أن الشغل = ق ف جتا θ، فإن:

القدرة تعبر عن مقدار الشغل المنجز في وحدة الزمن.

معدل القدرة = $\frac{\text{ق ف جتا}\,\theta}{\text{ز}}$

معدل القدرة= ق $\bar{\text{ع}}$ جتا θ ....(٩)

حيث: ($\bar{\text{ع}}$) معدل سرعة الجسم.

الواط: هو قدرة جسم أو آله تنجز شغلا مقداره جول واحد في زمن مقداره ثانية واحدة.

ولحساب القدرة اللحظية، وهي القدرة التي تبذلها القوة في لحظة معينةفإننا نستخدم السرعة اللحظية (ع) بدل معدل السرعة. أي أن:

القدرة اللحظية = ق ع جتا θ ....(١٠)

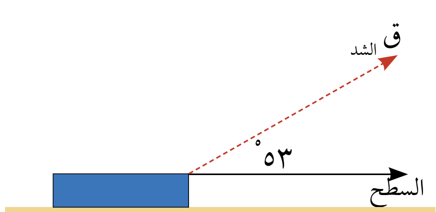
وتقاس القدرة بوحدة الواط، وتساوي جول / ث

ومن مضاعفات الواط الكيلو واط = ١٠٠٠واط، والحصان الميكانيكي = ٧٤٦واط

مثال١١:

شخص يجر صندوقاً بقوة مقدارها ٥٠ نيوتن وتميل عن الأفقي بزاوية ٥٣°، احسب معدل قدرة الشخص علما بأن الجسم تحرك أفقياً على سطح أملس مسافة ١٠ أمتار في مدة ١٠ ثواني.

الحل:



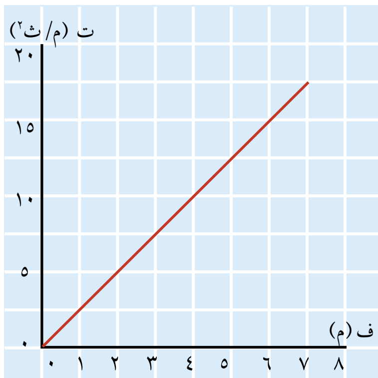
معدل القدرة= ق $\bar{\text{ع}}$ جتا θ

$\bar{\text{ع}}$ = $\frac{\text{ف}}{\text{ز}}$ = $\frac{١٠}{١٠}$ = ١ م/ ث

معدل القدرة= ق $\bar{\text{ع}}$ جتا θ

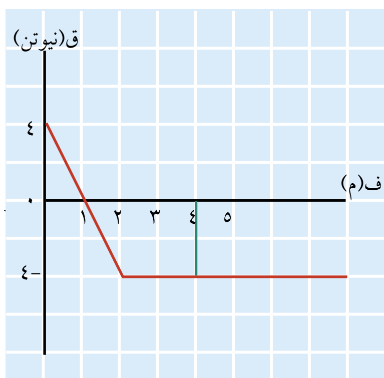
= ٥٠ x ١ x ٠,٦ = ٣٠ واط

س١ : يمثل الرسم البياني المجاور حركة جسم كتلته ١٠ كغم يتحرك باتجاه محور السينات الموجب . احسب الشغل الكلي المبذول على الجسم من قبل القوة بعد أن قطع مسافة ٥ متر .

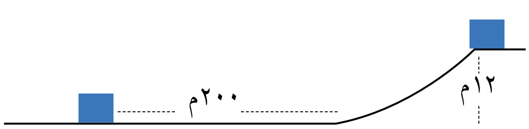


س٢ : تؤثر قوة وحيدة على جسم كتلته ٢ كغم يتحرك باتجاه محور السينات تتغير حسب الرسم البياني المرفق . فإذا كانت سرعة الجسم عند ف =صفر هي ٤ م/ ث .

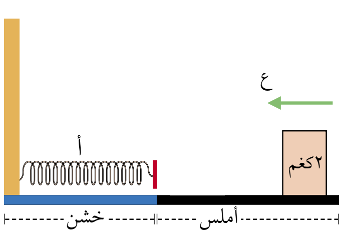
- احسب الطاقة الحركية للجسم عندما ف = ٣ م .
- عند أي مسافة تكون الطاقة الحركية للجسم= ٨ جول .
- احسب أقصى طاقة حركية يكتسبها الجسم بين ف = صفر ، و ف = ٥ م .



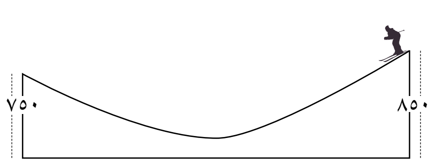
س٣ : صندوق كتلته ٢٠ كغم على قمة مرتفع عديم الاحتكاك يرتفع ١٢متر عن سطح الأرض . بدأ ينزلق نحو الأسفل حتى توقف على بعد ٢٠٠ متر من نهاية المرتفع على أرض أفقية خشنة ، احسب مقدار متوسط قوة الاحتكاك التي أدت إلى توقف الصندوق .



س٤ : في الشكل المقابل تنزلق كتلة مقدارها ٢كغم بسرعة ٤م/ ث ، ضغطت في طريقها نابضاً حتى توقفت ، فإذا كانت الأرضية أسفل النابض خشنة ومعامل احتكاكها ٠,١ ، وثابت المرونة للنابض = ١٠٠٠ نيوتن/ م ، فما المسافة التي انضغطها النابض؟



س٥ : في الشكل المقابل بدأ متزلج حركته من السكون من قمة مرتفع ثلجي ارتفاعه (٨٥٠ م) . جد السرعة التي سيصل بها قمة المرتفع الآخر(٧٥٠م) بإهمال الاحتكاك .



أسئلة الوحدة

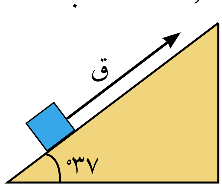
س١ : مالمقصود بالمصطلحات الآتية :
الواط ، القوة المحافظة ، طاقة الوضع المرونية ، ثابت المرونة للنابض ، الكمية المتجهة ، خاصية القصور الذاتي للأجسام .

س٢ : سقط حجر وزنه ٥٠ نيوتن من السكون من سطح بناية ارتفاعها ٤٠م عن سطح الأرض . جد طاقته الحركية على ارتفاع ٣٠ م من سطح الأرض .

س٣ : صعد رجل كتلته ٨٠ كغم إلى الدور الثالث من بناية على ارتفاع ١٠ م في زمن قدره ٤٠ ثانية . جد قدرة هذا الرجل .

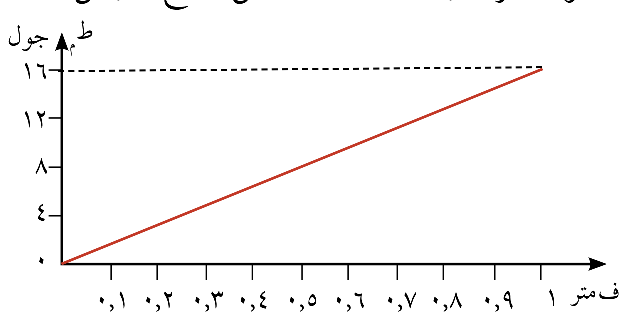
س٣ : أ – اذكر العوامل التي يتوقف عليها مقدار كل من :
١ . قوة التجاذب الكتلي بين جسمين ٢ . عزم الازدواج ٣ . قوة الاحتكاك
ب – اذكر شروط حدوث كل من :
١ . إنعدام عزم القوة . ٢ . اتزان الجسم الصلب

س٤ : صندوق كتلته ٢كغم بدأ حركته من السكون نحو الأعلى على مستوى مائل خشن بتسارع ثابت مقداره ٢م/ ث^{٢} . فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين السطحين المتلامسين = ٠,١ ، احسب كلاً من :

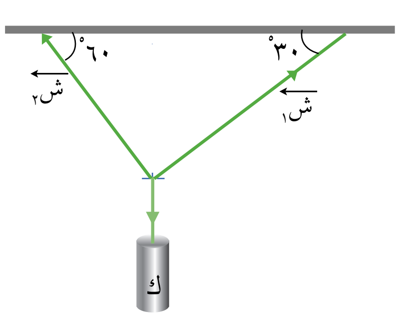


١ . قوة التلامس العمودية للمستوى على الصندوق .
٢ . قوة الاحتكاك بين سطحي الصندوق والمستوى .
٣ . مقدار القوة (ق) المؤثرة على الصندوق .
٤ . المسافة التي يتحركها الصندوق على المستوى حتى تبلغ سرعته ٣ م / ث .

س٥ : يبين الشكل منحنى طاقة الوضع لجسم ساقط سقوطاً حراً لارتفاعات مختلفة عن سطح الأرض .



فإذا كانت الطاقة الميكانيكية الكلية للجسم = ١٦ جول (ممثلة بالخط المتقطع) . احسب كلاً من :
١ . طاقة الوضع .
٢ . طاقة الحركة للجسم عندما يكون على ارتفاع ٠,٦ م .



س٦ : في الشكل المجاور جسم كتلته ١٠ كغم معلق بوساطة حبلين ، احسب قيمة كل من ش$_{١}$ ، ش$_{٢}$.

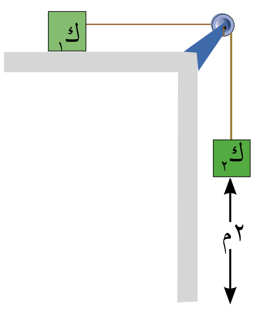
س٧ : يتحرك جسم بسرعة ثابتة مقدارها ١٠ م/ث ، على سطح أفقي أملس ينتهي بمستوى مائل أملس . احسب المسافة التي يقطعها الجسم على المستوى المائل قبل أن يتوقف .

س٨ : تحركت المجموعة في الشكل المجاور من السكون ، فإذا كانت $ك_١$ = $ك_٢$ =٢٠كغم ، والسطح الأفقي أملس ، احسب كلاً من :

١ . تسارع المجموعة .

٢ . سرعة $ك_٢$ قبل اصطدامها بالأرض مباشرة .

٣ . الزمن الذي تستغرقه حتى تصطدم بالأرض .



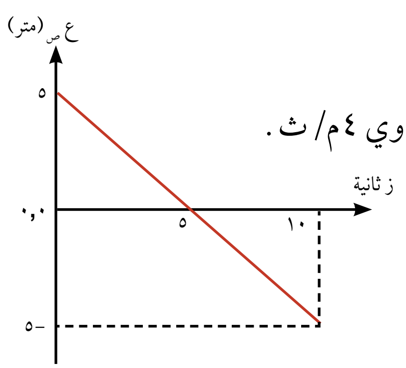
س٩ : الشكل المجاور يمثل منحنى المركبة الرأسية للسرعة والزمن لمقذوف بزاوية . اعتماداً على الرسم حدد كلاً مما يأتي :

١ . الزمن الذي يكون عنده الجسم في أقصى ارتفاع .

٢ . المدى الأفقي للقذيفة إذا كانت المركبة الأفقية للسرعة تساوي ٤ م/ث .

٣ . زمن التحليق .

٤ . أقصى ارتفاع يصله الجسم .



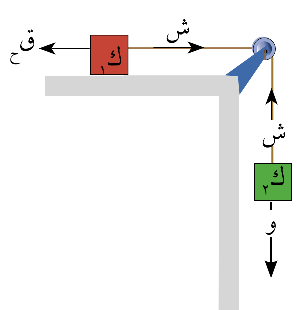
س١٠ : في الشكل المجاور إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الكتلة $ك_١$ والسطح يساوي (م) أثبت أن :

١ . تسارع المجموعة يعطى بالعلاقة :

$$ت = ج \frac{ك_٢ - م\, ك_١}{ك_١ + ك_٢}$$

٢ . الشد في الخيط يعطى بالعلاقة :

$$الشد = (١+م)\, ج \frac{ك_١\, ك_٢}{ك_١ + ك_٢}$$

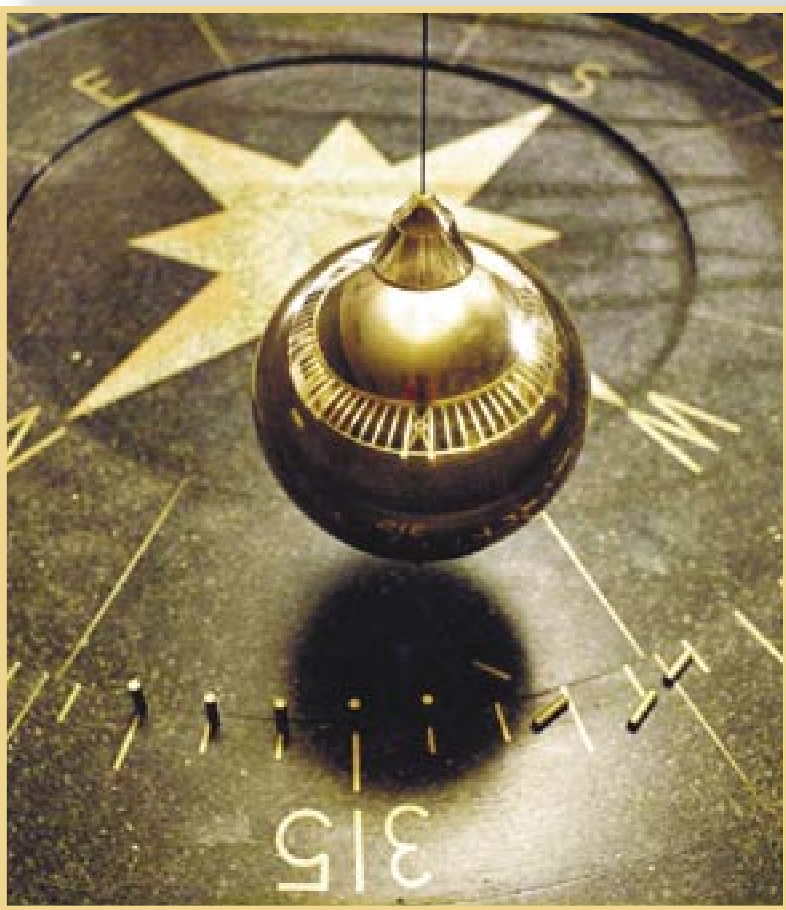


الوحـــدة

٢

الاهتزازات والأمواج

Oscillations & Waves



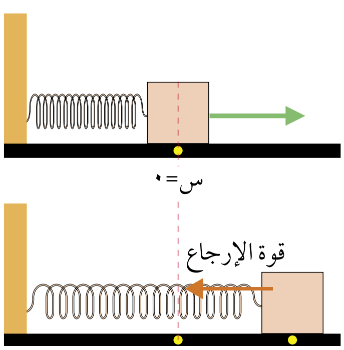
١ الحركة التوافقية البسيطة

تعرفت في سنوات سابقة الحركة الانتقالية للأجسام، وفي هذا الفصل ستتعرف أنماطاً أخرى من الحركة التي تتكرر في فترات زمنية متساوية، فما الشروط اللازمة حتى يسلك الجسم أياً من هذه الأنماط من الحركة؟ وما الذي يجعل الجسم يكرر حركته؟

هذه الأسئلة، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

١. تتعرف الحركة التوافقية البسيطة، وتميزها عن غيرها من أنماط الحركة الأخرى.
٢. تتعرف مفهوم السرعة الزاوية.
٣. تصف الحركة التوافقية البسيطة لكتلة مربوطة في نابض وللبندول البسيط.
٤. تعبر عن الحركة التوافقية البسيطة بصورتها الرياضية.
٥. تحل مسائل بسيطة على الحركة التوافقية البسيطة.

١-١ حركة كتلة مربوطة بنابض



الشكل(١): حركة كتلة مربوطة بنابض

يبين الشكل (١) كتلة مربوطة بطرف نابض مثبت طرفه الآخر بجدار رأسي، وموضوعة على سطح مستوٍ عديم الاحتكاك. عند سحب الكتلة عن موضع اتزانها (س=٠)، فإن الكتلة ستتحرك إزاحة مقدارها **(س)** عن هذا الموضع، وعند ترك الكتلة فإنها تتحرك حركة اهتزازية حول موضع الاتزان. وقد وجد أن القوة التي يؤثر بها النابض على الكتلة (قوة الإرجاع) مع الإزاحة تعطى بالعلاقة الآتية:

$\overleftarrow{ق} = -\text{أ}\ \overleftarrow{س}$ ، حيث:

$\overleftarrow{ق}$: قوة إرجاع النابض، وتقاس بوحدة نيوتن.

أ : ثابت المرونة للنابض، ويقاس بوحدة نيوتن/ متر.

$\overleftarrow{س}$: إزاحة الكتلة عن موضع الاتزان، وتقاس بوحدة المتر.

لاحظ هنا إشارة السالب (-) في العلاقة السابقة تعني أن قوة الإرجاع تكون دائماً بعكس اتجاه الإزاحة.

وبتطبيق قانون نيوتن الثاني على حركة الكتلة المربوطة بالنابض:

$\overleftarrow{ق} = ك\ \overleftarrow{ت}$ ، نجد أن:

$-\text{أ}\ \overleftarrow{س} = ك\ \overleftarrow{ت}$ ، أو:

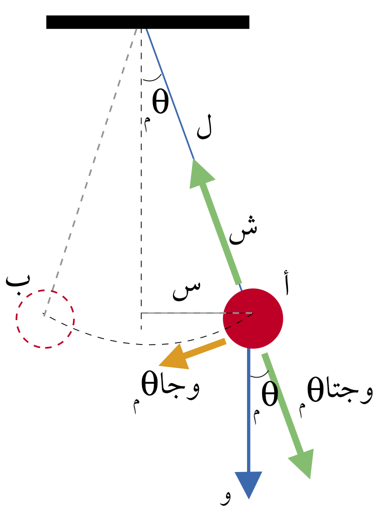
$\overleftarrow{\text{ت}} = -\frac{\text{أ}}{\text{ك}}\,\overleftarrow{\text{س}} \Leftarrow \overleftarrow{\text{ت}} \propto -\overleftarrow{\text{س}}$ .... (١)

أي أن تسارع الكتلة يتناسب طردياً مع مقدار الإزاحة، ويعاكسها في الاتجاه، ويسمى هذا النوع من الحركة الحركة التوافقية البسيطة .

الحركة التوافقية البسيطة : هي حركة اهتزازية في خط مستقيم يتناسب فيها تسارع الكتلة طردياً مع مقدار الإزاحة، ويعاكسها في الاتجاه .

١ - ٢ حركة البندول البسيط

يتكون البندول البسيط من كتلة مربوطة بخيط مثبت في حامل أفقي كما في الشكل (٢) . عند إزاحة الكتلة بزاوية صغيرة ($\theta_{\text{م}}$) عن الوضع الرأسي وتركها فإنها تتحرك متذبذبة على الجانبين .



الشكل(٢) : البندول البسيط

عندما تكون الكتلة في أعلى موضع لها عند النقطة (أ)، فإن سرعتها تساوي صفراً، وتكون الكتلة تحت تأثير مركبة الوزن (و جا $\theta_{\text{م}}$) التي تعمل على تحريكها، أما فيما يتعلق بمركبة الوزن (و جتا $\theta_{\text{م}}$) فإنها تعمل على نفس خط قوة الشد في الخيط . وعندما تترك الكتلة فإن الزاوية (θ) تتناقص حتى تصبح صفراً في الوضع الرأسي، ثم تبدأ بالزيادة حتى تصل إلى أكبر قيمة ($\theta_{\text{م}}$) عند النقطة ب في الجهة المقابلة .

وبالتعويض في قانون نيوتن الثاني، نجد أن محصلة القوى في اتجاه الحركة هي

$\sum \overleftarrow{\text{ق}} = \text{ك}\,\overleftarrow{\text{ت}}$ ، أي أن :

و جاθ = − ك ت

وحيث إن وزن الكتلة و = ك جـ ، جـ = تسارع الجاذبية الأرضية، فإن :

ك جـ جاθ= − ك ت، أي أن :

ت = − جـ جاθ .

وبما إن ($\theta_{\text{م}}$) زاوية صغيرة (θ <١٥°)، فإن جا $\theta \approx \theta$ بالتقدير الدائري.

أي أن : ت = − جـ θ،

وحيث أن الزاوية(θ) بالتقدير الدائري = $\frac{\text{طول القوس}}{\text{نصف القطر}} \approx \frac{\text{س}}{\text{ل}}$ ، فإن :

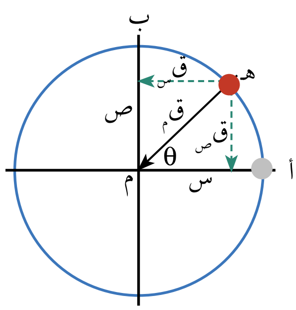
$\overleftarrow{\text{ت}} = -\frac{\text{جـ}}{\text{ل}}\,\overleftarrow{\text{س}} \Leftarrow \overleftarrow{\text{ت}} \propto -\overleftarrow{\text{س}}$ .... (٢)

لاحظ هنا أن تسارع البندول يتناسب عكسياً مع الإزاحة، أي أن البندول البسيط يتحرك حركة توافقية بسيطة .

١ ـ ٣ العلاقة بين الحركة الدائرية والتوافقية البسيطة

نفترض أن جسماً يسير في مسار دائري نصف قطره نق ومركزه م كما في الشكل (٣)، وأن هذا الجسم بدأ الحركة من النقطة (أ) على محور السينات ماراً بالنقطة (هـ) بعكس اتجاه عقارب الساعة.

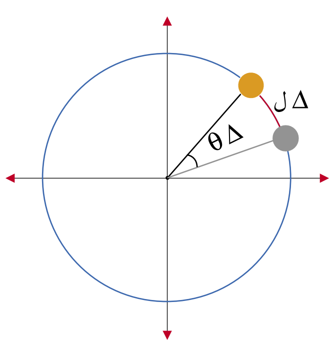
إن القوة المؤثرة على الجسم تكون دائماً باتجاه المركز ولنفترض أن هذه القوة تساوي $ق_م$، نحلل هذه القوة إلى مركبتين متعامدتين $ق_ص$، $ق_س$



الشكل (٣): الحركة الدائرية

من الشكل نلاحظ أن $ق_ص = ق_م$ جاθ واتجاهها إلى الأسفل، وبما أن جاθ $= \frac{ص}{نق}$، فإن $ق_ص = -ق_م \frac{ص}{نق}$. وبقسمة طرفي المعادلة على الكتلة نحصل على $ت_ص = -ت_م \frac{ص}{نق} = -\frac{ت_م}{نق}$ ص، أي أن تسارع الجسم في الاتجاه الصادي يتناسب عكسياً مع الإزاحة، وعليه فإن مسقط حركة الجسم على المحور الصادي هي حركة توافقية بسيطة. وينطبق الحديث نفسه على مسقط حركة الجسم على المحور السيني (أثبت ذلك)، أي أن الحركة في الاتجاه السيني هي أيضاً حركة توافقية بسيطة.

السرعة الزاوية:



الشكل (٤): إيجاد السرعة الزاوية

عندما يقطع جسم يسير في حركة دائرية منتظمة زاوية مقدارها Δ θ في زمن مقداره Δ ز، فإنه يقطع قوساً طوله Δ ل، انظر الشكل (٤). ولحساب مقدار سرعته نقسم طول القوس على الفترة الزمنية؛ أي أن:

$$ع = \frac{\Delta ل}{\Delta ز} = \frac{نق\, \Delta\theta}{\Delta ز} = نق \frac{\Delta\theta}{\Delta ز}$$

تعرف السرعة الزاوية (ω) بأنها مقدار الزاوية التي يقطعها الجسم أثناء الحركة الدائرية في وحدة الزمن، أي أن: $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta ز}$ وبناءً عليه فإن السرعة الخطية ع = نق ω.

وقد عرفت سابقاً أن التسارع المركزي لجسم في حركة دائرية منتظمة $ت_م = \frac{ع^٢}{نق} = \frac{(نق\,\omega)^٢}{نق} = نق\,\omega^٢$

والآن يمكننا كتابة معادلة التسارع للحركة التوافقية البسيطة كما يأتي:

$$ت_ص = -\frac{ت_م}{نق} ص = -\omega^٢ ص \quad ....(٣)$$

والسرعة الزاوية ω تساوي حاصل قسمة الزاوية الكلية التي يقطعها الجسم في دورة كاملة وتساوي (٢π) على زمن الدورة (ن)، أي أن: $\omega = \frac{٢\pi}{ن}$، ومنه د (التردد) $= \frac{١}{ن} = \frac{\omega}{٢\pi}$.

مثال (١):

جسم يتحرك بسرعة ثابتة مقداراً في مسار دائري منتظم نصف قطره ٢ متر ، وكان يقطع زاوية مقدارها $\frac{\pi}{\text{٢}}$ كل ثلاث ثوان ، احسب ما يأتي :

أ . السرعة الزاوية . ب . السرعة الخطية . جـ . التردد . د . الزمن الدوري .

الحل:

أ . السرعة الزاوية: $\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta \text{ز}} = \frac{\pi / \text{٢}}{\text{٣}} = \frac{\pi}{\text{٦}}$ راد/ ث

ب . السرعة الخطية : $\text{ع} = \text{نق}\ \omega = \text{٢} \times \frac{\pi}{\text{٦}} = \frac{\pi}{\text{٣}}$ م/ ث

جـ . التردد : $\text{د} = \frac{\omega}{\text{٢}\pi} = \frac{\pi / \text{٦}}{\text{٢}\pi} = \frac{\text{١}}{\text{١٢}}$ هيرتز

د . الزمن الدوري : $\text{ن} = \frac{\text{٢}\pi}{\omega} = \frac{\text{٢}\pi}{\pi / \text{٦}} = \text{١٢}$ ثانية .

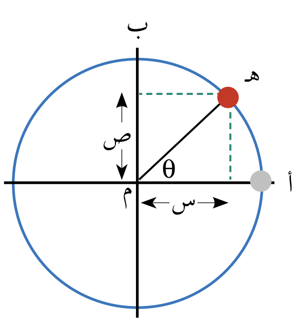
معادلات الحركة التوافقية البسيطة:

توصلنا في البند السابق إلى العلاقات التي تربط تسارع الأجسام في الحركة التوافقية البسيطة مع الإزاحة ، سواء في النابض أو البندول أوالحركة في مسار دائري منتظم ، فكانت على النحو الآتي :

في النابض : $\text{ت} = -\frac{\text{أ}}{\text{ك}}\ \text{س}$ أو $\text{ت} = -\omega^{2}\ \text{س}$

في البندول : $\text{ت} = -\frac{\text{جـ}}{\text{ل}}\ \text{س}$ أو $\text{ت} = -\omega^{2}\ \text{س}$

في الحركة الدائرية : $\text{ت}_{\text{س}} = \frac{-\text{ت}_{\text{م}}}{\text{نق}}\ \text{س}$ أو $\text{ت}_{\text{س}} = -\omega^{2}\ \text{س}$



الشكل (٥) مركبات الحركة الدائرية

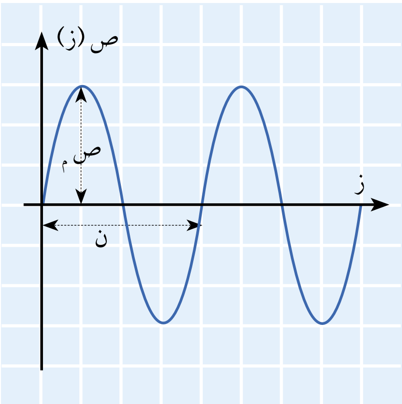
لاحظ أن قيمة السرعة الزاوية ω تعتمد على :

- ثابت المرونة وكتلة الجسم في النابض .
- تسارع الجاذبية وطول الخيط في البندول .
- تسارع الجسم و نصف قطر المدار في الحركة الدائرية .

في الشكل (٥) عندما يكون الجسم في النقطة (هـ) فإنه يقطع مسافة (ص) على المحور الصادي .

وحيث إن ص = نق جا θ ، فإن إزاحة الجسم الذي يتحرك حركة توافقية بسيطة تتغير كدالة جيبية بتغير الزاوية θ كما في الشكل(٦) . وبما أن الزاوية θ هي الزاوية التي قطعها الجسم في زمن (ز) فإن $\theta = \omega$ ز ، وبشكل عام يمكن كتابة معادلة الإزاحة في الحركة التوافقية البسيطة كما يأتي :

$\text{ص}(\text{ز}) = \text{ص}_{\text{م}}\ \text{جا}\ (\omega\ \text{ز} + \phi)$ .... (٤)



الشكل (٦) الإزاحة في الحركة التوافقية البسيطة

حيث : ص م : أقصى إزاحة ممكنة للكتلة عن نقطة الاتزان وتساوي نق .

ز : الزمن بوحدة الثانية .

ϕ : زاوية ثابت الطور ، وتحدد موضع الجسم عندما يكون الزمن يساوي صفراً ، وتحسب من معرفة موضع الجسم وسرعته عند لحظة معينة .

لاحظ من الشكل أن ص م تمثل سعة الاهتزازة ، وتساوي البعد بين نقطة الاتزان وأبعد نقطة ممكنة للحركة ، وأن الزمن الدوري (ن) هو الفترة الزمنية التي تفصل بين مرور الجسم في نقطتين متماثلتين في الطور من حيث الموضع واتجاه الحركة .

مثال (٢):

كتلة مقدارها ٢كغم ، ربطت بطرف نابض طرفه الآخر مثبت في حائط ومعامل مرونته ٢٠٠ نيوتن/ م ، إذا تحركت الكتلة على سطح أفقي أملس حركة توافقية بسيطة ، جد ما يأتي :

أ . السرعة الزاوية .　　ب . الزمن الدوري للحركة .　　جـ . التردد .

الحل:

أ . السرعة الزاوية $\omega = \sqrt{\frac{أ}{ك}} = \sqrt{\frac{٢٠٠}{٢}} =$ ١٠ راد/ ث

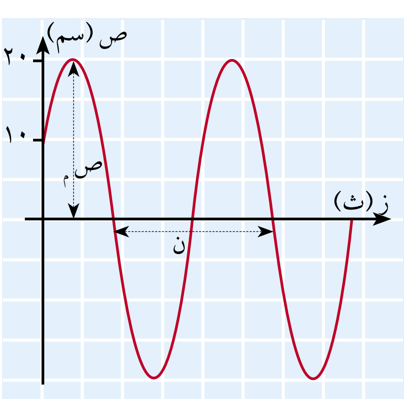
ب . الزمن الدوري للحركة ن= $\frac{٢\pi}{\omega} = \frac{٢\pi}{١٠} =$ ٠,٦٢٨ ثانية .

جـ . التردد د= $\frac{١}{ن} =$ ١,٦ هيرتز

مثال (٣):

جسم يتحرك وفق العلاقة : ص (ز) = ٢٠ جا (π ز + $\frac{\pi}{٦}$) . إذا كانت (ص) تقاس بالسنتمتر ، والزمن بالثانية فجد :

أ . سعة الاهتزازة .　　ب . التردد .　　جـ . ارسم العلاقة بيانياً .



الحل:

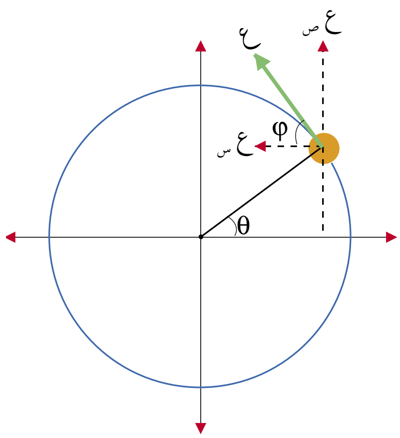
أ . سعة الاهتزازة ص م = ٢٠ سم

ب . التردد : د= $\frac{\omega}{٢\pi} = \frac{\pi}{٢\pi} = \frac{١}{٢}$ هيرتز

جـ . ص(٠) = ٢٠ جا ($\frac{\pi}{٦}$) = ١٠ سم .

السرعة في الحركة التوافقية البسيطة:

في الشكل (٧) يتحرك جسم حركة دائرية منتظمة بسرعة مقدارها (ع)، ويكون اتجاه ($\overleftarrow{\text{ع}}$) مماساً للدائرة، أي أن (ع) عمودية على نصف قطر الدائرة، ويمكن حساب مركبة السرعة في الاتجاه السيني كما يأتي:



الشكل (٧): السرعة في الحركة الدائرية

$$\text{ع}_{\text{س}} = \text{ع جتا}\varphi = \text{ع جتا}(\frac{\pi}{2} - \theta) = \text{ع جتا}(\frac{\pi}{2} - \omega\text{ز})$$

لاحظ أن جيب الزاوية =جيب تمام الزاوية المتممة.

$\text{ع}_{\text{س}} = \text{ع جا}(\omega\text{ز})$، وحيث أن $\text{ع} = \omega\ \text{نق}$ ، فإن:

$$\text{ع}_{\text{س}} = \omega\ \text{نق جا}(\omega\text{ز}) \quad \text{.......................} \quad (٥)$$

ولحساب تسارع الجسم في أي لحظة نعوض في المعادلة

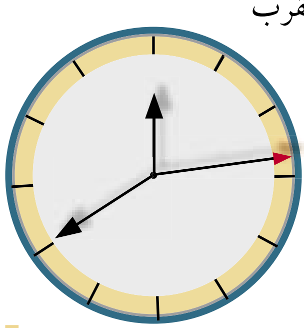
$\text{ت}_{\text{س}} = -\omega^{٢}\ \text{س}$، أي أن:

$$\text{ت}_{\text{س}}(\text{ز}) = -\omega^{٢}\ \text{س}_{\text{م}}\ \text{جا}(\omega\ \text{ز}) \quad \text{...............} \quad (٦)$$

مثال (٤)

في الشكل المجاور إذا كان طول عقرب الثواني ٢ سم، احسب ما يأتي:

أ . السرعة الزاوية   ب . التسارع المركزي لرأس العقرب   جـ . سرعة رأس العقرب



الحل:

أ . السرعة الزاوية: $\omega = \frac{\pi ٢}{\text{ن}} = \frac{\pi ٢}{٦٠} = ٠,١$ راد/ ث.

ب. التسارع المركزي لرأس العقرب

$\text{ت}_{\text{م}} = \text{نق}\ \omega^{٢} = ٠,٠٢ \times ٠,٠١ = ٢\times ١٠^{-٤}$ م/ ث^{٢}.

جـ. سرعة رأس العقرب: $\text{ع} = \text{نق}\ \omega = ٠,٠٢ \times ٠,١ = ٢\times ١٠^{-٣}$ م/ ث.

١ ـ ٤ الطاقة في الحركة التوافقية البسيطة:

عندما يتحرك جسم مربوط بنابض على سطح أملس فإنه يمتلك نوعين من الطاقة: طاقة حركية نتيجة سرعته وتعطى بالعلاقة $\text{ط}_{\text{ح}} = \frac{١}{٢}\text{ك ع}^{٢}$ ، وطاقة وضع مخزنة في النابض نتيجة استطالته، وتعطى بالعلاقة $\text{ط}_{\text{و}} = \frac{١}{٢}\text{أ س}^{٢}$، ويسمى مجموع هذين الشكلين من الطاقة الطاقة الميكانيكية للنظام ($\text{ط}_{\text{م}}$) ؛ أي أن:

$$\text{ط}_{\text{م}} = \text{ط}_{\text{و}} + \text{ط}_{\text{ح}}$$

$$\text{ط}_{\text{م}} = \frac{١}{٢}\text{أ س}^{٢} + \frac{١}{٢}\text{ك ع}^{٢} \quad \text{.......................} \quad (٧)$$

وبإهمال قوة الاحتكاك وكتلة النابض يكون مقدار الطاقة الميكانيكية ثابتاً عند جميع النقاط في مسار الجسم .
وفي اللحظة التي يكون فيها الجسم أبعد ما يمكن عن نقطة الاتزان، تكون سرعته تساوي صفراً؛ أي أن :

$$ط_م = \frac{١}{٢} أ س_م^٢ \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٨)$$

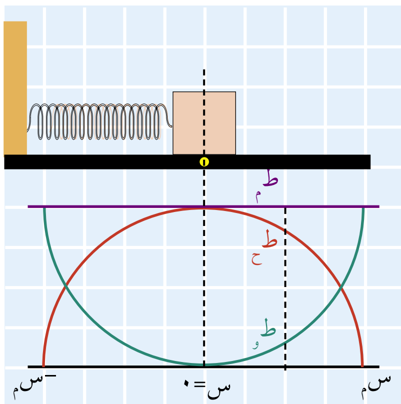
$$\frac{١}{٢} أ س_م^٢ = \frac{١}{٢} أ س^٢ + \frac{١}{٢} ك ع^٢$$

$$ع^٢ = \frac{أ}{ك} (س_م^٢ - س^٢) = \omega^٢ س_م^٢ [١ - جا^٢(\omega ز)]$$، وبأخذ

الجذر التربيعي لطرفي المعادلة، نحصل على :

$$ع = \omega س_م جتا (\omega ز) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٩)$$

والشكل (٨) يمثل الطاقة الميكانيكية لكتلة مربوطة في نابض .



الشكل (٨) : الطاقة الميكانيكية لكتلة مربوطة بنابض

مثال (٥):

ربطت كتلة مقدارها ٠,٥كغم بنابض ثابت مرونته ٧٢ نيوتن/ م على أرضية أفقية ملساء، ثم سحبت الكتلة لمسافة ١٠ سم عن موضعها الأصلي، وتركت لتتحرك حركة توافقية بسيطة، جد ما يأتي :

١. السرعة الزاوية للحركة .
٢. موضع الكتلة بعد ٢ثانية من بدء الحركة .
٣. سرعة الكتلة عندما تكون على بعد ٦ سم من نقطة الاتزان .

الحل:

١. لحساب السرعة الزاوية نستخدم العلاقة:

$\omega^٢ = \frac{أ}{ك}$ ، ومنها نجد ، $\omega^٢ = \frac{٧٢}{٠,٥} = ١٤٤$ ، أي أن $\omega = ١٢$ راد/ ث

٢. لتحديد موضع الكتلة عند أي لحظة، نستخدم العلاقة التي تصف الحركة الموجية :

$$س(ز) = س_م جا (\omega ز)$$

نعوض قيمة كل من سعة الموجة $س_م = ٠,١$ م و السرعة الزاوية $\omega = ١٢$راد/ ث :

$$س(٢) = ٠,١ جا(١٢ × ٢) = -٠,٠٩م$$

٣. يمكننا حساب سرعة الجسم إذا علمنا موضعه عند نفس اللحظة من العلاقة :

$$ع = \omega \sqrt{(س_م^٢ - س^٢)}$$

$$ع = ١٢ \sqrt{(٠,١)^٢ - (٠,٠٦)^٢} = ٠,٩٦ م/ث$$

أسئلة الفصل:

س١ : ماذا نعني بالمفاهيم الآتية :
الحركة الدورية ، السرعة الزاوية ، سعة الاهتزازة ، الزمن الدوري ، الحركة التوافقية البسيطة؟

س٢ : أي العبارات الآتية صائبة وأيها خاطئة؟ ثم صوب العبارات الخاطئة منها :

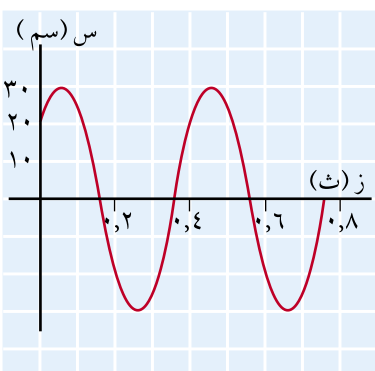
أ . يصبح الزمن الدوري للبندول ضعفي ما كان عليه عندما يكون طوله ضعفي الطول السابق .

ب . يكون التسارع لحركة توافقية بسيطة يساوي صفراً عندما يكون الجسم المهتز عند نقطة الاتزان .

جـ . يقاس التردد بوحدة ث$^{-1}$ ، وتسمى راديان .

د . يكون الفرق عند تمثيل الحركة التوافقية البسيطة بدلالة جيب الزاوية أو بدلالة جتا الزاوية في مقدار ثابت الطور فقط .

هـ . تكون سرعة الجسم المهتز صفراً عند نقطة الاتزان في الحركة التوافقية البسيطة .



س٣: يمثل الشكل المجاور حركة كتلة مقدارها ٢ كغم مربوطة بنابض يتحرك حركة توافقية بسيطة على مستوى أفقي عديم الاحتكاك ، جد ما ياتي :

أ . السعة   ب . الزمن الدوري

جـ . ثابت المرونة للنابض .   د . زاوية الطور

س٤ : إذا كانت العلاقة : س(ز) = ٠,٢ جتا (π ز + $\frac{\pi}{٦}$) تمثل حركة توافقية بسيطة ، جد ما ياتي :

أ . سعة الاهتزازة .   ب . ثابت زاوية الطور .

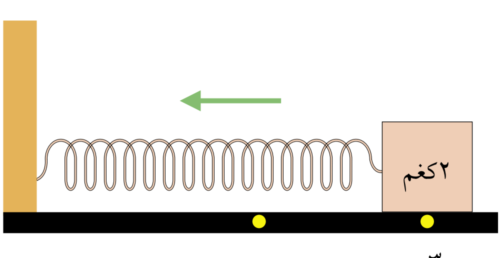
جـ . موضع الجسم في اللحظة ز = ٠ ث .   د . موضع الجسم عند ز = ١ ث .

س٥ : إذا كان الزمن الدوري لحركة توافقية بسيطة يساوي ٢ ثانية ، والسعة مقدارها ١٠ سم ، فإذا بدأ الجسم حركته من النقطة س$_م$ ، وتحرك نحو اليسار ، لاحظ الشكل المجاور ، جد ما يأتي :

أ . سرعة الجسم عند نقطة الاتزان .

ب . موضع الجسم بعد ٥ ثوان من بدء الحركة .

جـ . ارسم التمثيل البياني الذي يمثل الحركة .



س٦: بندول بسيط يعمل ١٠ دورات كاملة في ١٦ ثانية ، إذا كان تسارع الجاذبية الأرضية يساوي ٩,٨ م/ ث^٢، احسب :

أ . طول خيط البندول .

ب . زمن الدورة للبندول على سطح القمر علماً بأن تسارع الجاذبية على القمر يساوي ١,٦ م/ ث^٢ .

٢ الأمواج الميكانيكية

تعرفت في سنوات سابقة الحركة الموجية، وعرفت أن الأمواج تتواجد في كل مكان حولنا، وهي على أشكال مختلفة، فمنها الأمواج الميكانيكية التي تحتاج وسطاً مادياً تنتقل فيه، والأمواج الكهرومغناطيسية التي لا تحتاج وسطاً مادياً، وباستطاعتها الانتقال في الفراغ.

وحركة الموجة الميكانيكية تنشأ من اضطرابات (حركة اهتزازية) ذات سعات صغيرة تنتشر في الأوساط المختلفة: صلبة، وسائلة، وغازية، وحركة هذه الأمواج في الوسط يصاحبها انتقال للطاقة.

هل يكون سلوك الأمواج الميكانيكية متشابهاً دوماً في الأوساط المختلفة؟ وما الذي يحصل عندما تلتقي عدة أمواج في وسط واحد؟

هذه الأسئلة، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

١. تتعرف الأمواج الميكانيكية وتميزها عن غيرها من الأمواج.
٢. تفسر السلوك الموجي في أوساط مادية مختلفة.
٣. تعبر عن الحركة الموجية بعلاقاتها الرياضية.
٤. تحدد العوامل التي تعتمد عليها سرعة الموجة في الوسط وطاقتها.
٥. تتعرف بعض التطبيقات العملية المرتبطة بالأمواج.
٦. تنفذ بعض الأنشطة العملية المتعلقة بالأمواج.
٧. تحل مسائل عددية بسيطة على الأمواج.

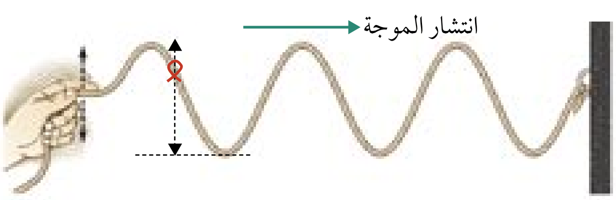
٢ - ١ تصنيف الأمواج

عرفت سابقاً أن الأمواج هي اضطرابات أو اهتزازات تنشأ نتيجة اهتزاز مصدر ما، وقد تنتشر في وسط مادي كأمواج الماء و الصوت والأمواج في حبل مشدود، وتسمى الأمواج الميكانيكية، أو تنتشر في الفراغ دون الحاجة إلى وسط مادي كأمواج الضوء، وتسمى الأمواج الكهرومغناطيسية. ويصاحب انتشار الأمواج انتقال طاقة من مكان لآخر علماً أن جزيئات الوسط الناقل لا تنتقل من موضعها بل تهتز على جانبي موضعها الأصلي. ويمكن تصنيف الأمواج حسب اتجاه اهتزاز جزيئات الوسط بالنسبة لخط انتشار الموجة إلى نوعين:

الأمواج المستعرضة: Transverse Waves

يمثل الحبل المثبت من طرفه في الشكل (١) وسطاً مرناً لنقل أي اضطراب يحدث في جزء منه، فعندما نحدث اضطراباً واحداً (نبضة) في الحبل، نلاحظ أن قمة الموجة تتحرك باتجاه الطرف الثاني مبتعدة عن الموضع الذي حدث فيه الاضطراب.

بما أن جزيئات الوسط الناقل للموجة تتحرك بشكل عمودي على اتجاه انتشار الموجة، فإن هذه الأمواج تسمى الأمواج المستعرضة، ويمكن الحصول على موجة كاملة وذلك بإحداث اضطراب يولد قمة وقاعاً بشكل متصل ودوري.

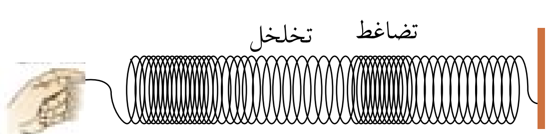


الشكل (١): الأمواج المستعرضة في حبل

الأمواج الطولية: Longitudinal Waves

عندما نؤثر على نابض بقوة سحب أو ضغط، فإننا نحصل على أمواج تسير في اتجاه طول النابض، ويسمى هذا النوع من الأمواج الأمواج الطولية، حيث تزاح جزيئات النابض باتجاه طوله، كما في الشكل (٢).

تسمى المناطق التي تزداد فيها حلقات النابض مناطق التضاغطات Compressions، والمناطق التي تقل فيها عدد الحلقات مناطق التخلخلات Rarefactions، وتتكون الموجة الواحدة من تضاغط وتخلخل.



الشكل (٢): الأمواج الطولية في نابض

٢ - ٢ تمثيل الموجات وخصائصها

تمثل الموجات رياضياً باقتران جيبي يوضح العلاقة بين إزاحة جزيئات الوسط عن موضعها الأصلي وكل من الزمن والإزاحة في اتجاه انتشار الموجة، من خلال هذه العلاقة التي تصف الموجة أو من تمثيلها البياني نستطيع معرفة القيم الفيزيائية المتعلقة بالموجة (كالسعة، والسرعة، والتسارع، . . .) في أي لحظة زمنية وفي أي موضع، حسب العلاقة:

ص (س، ز) = $ص_م$ جا (κ س − ω ز) . . . . (١)

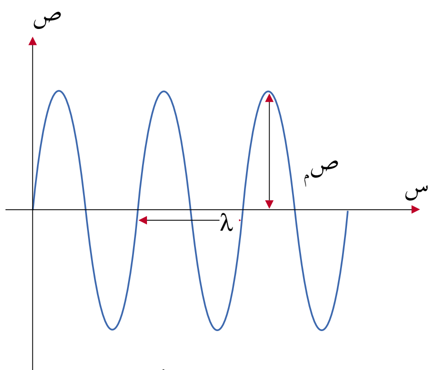
حيث :

$ص_م$: سعة الموجة، وهي أقصى ازاحة ممكنة للجزيئات عن نقطة الاتزان .

κ : العدد الموجي، وهو عبارة عن عدد الأطوال الموجية في مسافة مقدارها ١ م مضروباً في ٢ π، وتحسب من العلاقة : $\kappa = \frac{٢\pi}{\lambda}$ ، والشكل (٣) يمثل موجة تنتشر باتجاه محور السينات الموجب .

نلاحظ من العلاقة السابقة أن الموجة تنتشر مكانياً، والحد جا (κ س) هو المسؤول عن شكل الموجة الثابت، ويكون انتشار الموجة في اتجاه محور السينات الموجب . أما جزيئات الوسط المهتز فإنها تتحرك كل في موضعها حركة توافقية بسيطة .

هل تعلم؟
أن الموجة تقطع طولاً موجياً كاملاً في نفس الوقت الذي تهتز به الجزيئات دورة كاملة .



الشكل (٣) : تمثيل الأمواج

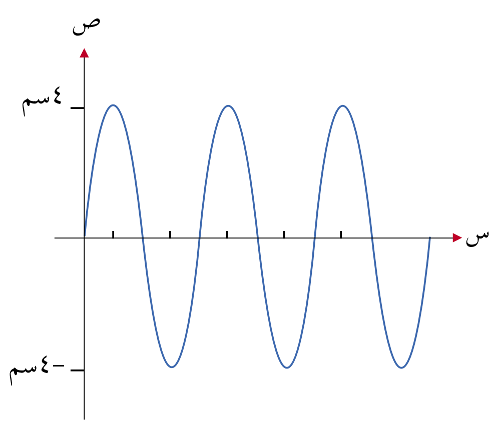
مثال (١):

موجة ميكانيكية توصف بالعلاقة الآتية :

ص (س،ز) = ٤ جا (π س − $\frac{\pi}{٣}$ز) ، ص، س مقاسة بالسنتمتر، ز بالثانية، احسب ما يأتي :

أ . سعة الموجة . ب . السرعة الزاوية .

جـ . الطول الموجي . د . الزمن الدوري .



الحل:

ص (س، ز) = $ص_م$ جا (κ س − ω ز)

أ . سعة الموجة : $ص_م$ = ٤سم = ٠,٠٤ م .

ب . السرعة الزاوية : $\omega = \frac{\pi}{٣}$.

جـ . الطول الموجي : λ، تحسب من العلاقة $\kappa = \frac{٢\pi}{\lambda} = \pi$

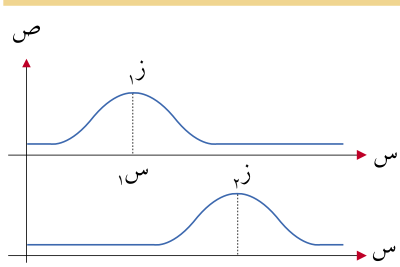
ومنها λ = ٢م

د . الزمن الدوري : ن يحسب من العلاقة : ن= $\frac{٢\pi}{\omega}$

وبتعويض قيمة $\omega = \frac{\pi}{٣}$ نحصل على ن= ٦ث .

والآن هل هناك علاقة بين كل من سرعة انتشار الموجة وسرعة جزيئات الوسط المهتز ؟

نلاحظ من الشكل (٤) أن النبضة تنتقل في الوسط المادي بعيداً عن مصدرها، عند اللحظة $ز_١$ تكون في الموضع $س_١$، وبمرور الزمن تتحرك إلى الموضع $س_٢$، وتكون السرعة التي تنتشربها ثابتة وتحسب



الشكل (٤) : سرعة انتشار الموجة

من العلاقة : $ع = \frac{\Delta س}{\Delta ز}$ ، وترتبط سرعة انتشار الموجة بكل من طول الموجة والتردد كما في العلاقة الآتية :

$$\kappa\, س - \omega\, ز = ثابت$$

$$\kappa\, \Delta س - \omega\, \Delta ز = ٠$$

$$ع = \frac{\Delta س}{\Delta ز} = \frac{\omega}{\kappa} = \lambda\, د$$

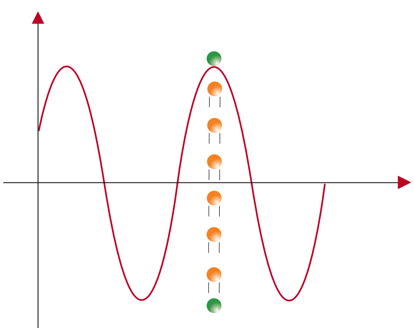
أما فيما يتعلق بسرعة جزيئات الوسط فإنها تحسب من العلاقة :

$ع_{ج} = \frac{\Delta ص}{\Delta ز}$ ، وهي متغيرة مع الزمن وفق العلاقة التي توصف بها الموجة . وفي حال كون الموجة موصوفة بدالة جيب ، تحسب سرعة الجزيء من العلاقة :

$$ع_{ج}(ز) = -\omega\, ص_{م}\, جتا\,(\kappa\, س - \omega\, ز) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٢)$$

وتكون أكبر سرعة للجزيئات عند النقطة التي يكون فيها :

$جتا\,(\kappa\, س - \omega\, ز) = \pm ١$ ، $ع_{ج}$ العظمى $= \omega\, ص_{م}$.



الشكل (٥) : سرعة جزيئات الوسط

٢ـ٣ الأمواج في حبل مشدود

عندما نحدث نبضة في حبل مشدود كما هو مبين في الشكل (٦) ، فإن النبضة تنتشر في الحبل محافظة على شكلها ، وتعتمد السرعة التي تنتقل بها النبضة على مقدار الشد في الحبل وعلى كثافة وحدة الأطوال له .

لإيجاد العلاقة التي تحدد سرعة انتشار النبضة في الحبل ، نعدّ شكل النبضة جزءاً من دائرة ، وتسارع الجزء المهتز تسارعاً مركزياً .

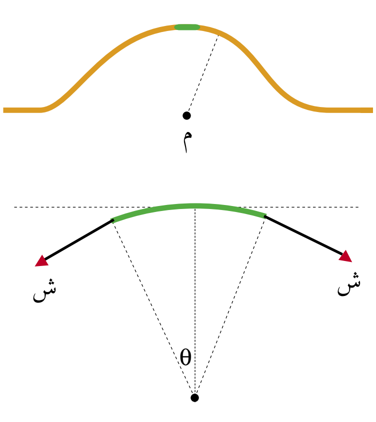
نلاحظ من الشكل أن قوة الشد تكون مماساً للحبل في كل نقطة ، وتكون محصلة قوتي الشد باتجاه المركز (م) ، وفي حال كون سعة النبضة صغيراً مقارنة بطول الحبل تكون الزوايا صغيرة ، ونستطيع استخدام التقريب $جا\theta \simeq ظا\theta \simeq \theta$ ، عندما تكون الزاوية مقيسة بالتقدير الدائري .

$\Sigma ق_{س} = صفر$ ، $\Sigma ق_{ص} = ٢\, ش\, جا\theta \simeq ٢ش\theta$

$٢\, ش\, \theta = \frac{كَ\, ع^{٢}}{نق}$ ، حيث كَ : كتلة قطعة الحبل التي طولها Δ ل .

وبما أن $كَ = \frac{ك\, \Delta ل}{ل}$ ، و $\Delta ل = ٢\, نق\theta$ ، وبترتيب حدود العلاقة السابقة وتعويض قيم كل من كَ و Δ ل نحصل على :

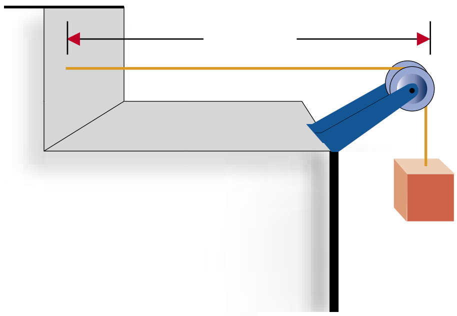
$$ع = \sqrt{\frac{ش\, ل}{ك}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٣)$$



الشكل (٦) : الأمواج في حبل مشدود

مثال (٢)

ربط خيط طوله ٦٠ سم وكتلته ١٥ غم بثقل وزنه ١٠ نيوتن كما في الشكل، جد مقدار سرعة الموجة في الخيط .



الحل:

$$ع = \sqrt{\frac{ش\ ل}{ك}}$$

$$= \sqrt{\frac{٠,٦ \times ١٠}{٠,٠١٥}} = \sqrt{٤٠٠}$$

ع = ٢٠ م/ ث .

٢ـ٤ الطاقة في الأمواج

تنتقل الطاقة في جميع أشكال الأمواج من مكان إلى آخر، ويعتمد مقدار الطاقة المصاحبة للموجة في أي لحظة زمنية على السعة والتردد وكثافة الوسط الناقل .

لنأخذ جزءاً صغيراً من حبل مشدود طوله Δل، فإن الطاقة التي يحملها هذا الجزء من الحبل تعطى بالعلاقة الآتية :

ط $= \frac{١}{٢}$ كَ $ع_{ج}^{٢}$ ، حيث كَ : كتلة الجزء الصغير من الحبل ، و ($ع_{ج}$): سرعة جزيئات الحبل .

ط $= \frac{١}{٢} \frac{ك\ \Delta ل}{ل} ع_{ج}^{٢}$ ، وبقسمة الطرفين على Δز، وحيث إن ع $= \frac{\Delta ل}{\Delta ز} =$ سرعة الموجة في الحبل، فإن

القدرة الميكانيكية المصاحبة للموجة تعطى بالعلاقة :

القدرة $= \frac{١}{٢} \frac{ك}{ل} \omega^{٢} ص_{م}^{٢} ع$ .... (٤)

تسمى $\frac{ك}{ل}$ الكثافة الطولية للحبل، وهي كتلة وحدة الطول وتقاس بوحدة كغم/ م

نلاحظ من العلاقة السابقة أنه عند زيادة السعة الموجية إلى الضعف تصبح طاقة الموجة ٤ أضعاف ما كانت عليه سابقاً، وعند مضاعفة التردد أو إنقاص الطول الموجي إلى النصف تصبح الطاقة ٤ أضعاف ما كانت عليه .

مثال (٣):

خيط مشدود، مثبت الطرف ، طوله ٤ م وكتلته ٢٠غم أحدث فيه موجة جيبية بتردد مقداره ٢٠ هيرتز ، وبسعة مقدارها ٣سم عندما كان الشد فيه ٢نيوتن، جد :

أ . مقدار سرعة الموجة في الخيط .

ب . القدرة الميكانيكية التي تنقلها الموجة .

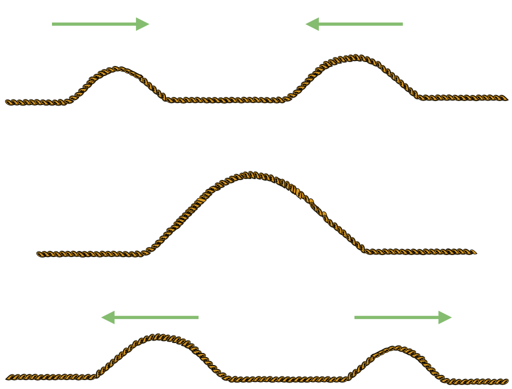
الحل:

أ. $\text{ع} = \sqrt{\frac{\text{ش ل}}{\text{ك}}} = \sqrt{\frac{\text{٢}\times\text{٤}}{\text{٠,٠٢}}} = \text{٢٠ م/ث}$

ب. $\text{القدرة} = \frac{\text{١}}{\text{٢}} \frac{\text{ك}}{\text{ل}} \omega^{\text{٢}} \text{ص}_{\text{م}}^{\text{٢}} \text{ع}$

$= \frac{\text{١}}{\text{٢}} \frac{\text{٠,٠٢}}{\text{٤}} (\text{٢}\pi \times \text{٢٠})^{\text{٢}} (\text{٠,٠٣})^{\text{٢}} \times \text{٢٠} = \text{٠,٧١}$ واط.

٢ـ ٥ تراكب الأمواج: Superposition of Waves



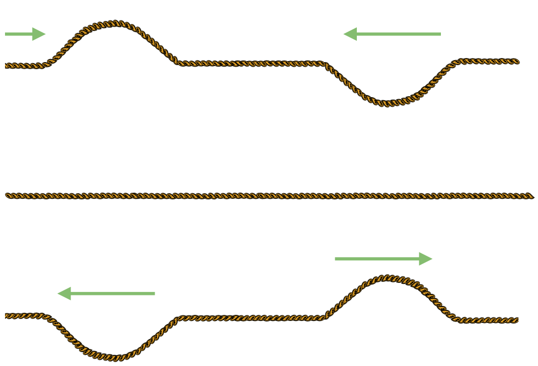
الشكل (٧): التداخل البناء

عندما تتواجد موجتان أو أكثر في وسط واحد، فالاضطراب في الوسط هو مجموع (محصلة) جميع التأثيرات الناتجة، وتكون السعة الكلية الناتجة عند نقطة معينة وفي نفس اللحظة الزمنية هي المجموع الجبري لسعات جميع الأمواج في ذلك الوسط.

تمعن الشكل المجاور الذي يبين ما يحصل لنبضتين في حبل واحد، عندما تلتقيان، ثم تفترقان في الحالتين الآتيتين:

نلاحظ أن السعة في الشكل (٧) تكون أكبر من سعة أي من الموجتين المكونتين لها؛ أي أن الموجتين تداخلتا تداخلاً بناءً، أما في الشكل (٨)، فإن السعة الناتجة من تداخل الموجتين أقل من سعة أي من الموجتين، والتداخل الناتج في هذه الحالة هو تداخل هدام.

جمع موجتين رياضياً:



الشكل (٨): التداخل الهدام

لحساب الموجة الناتجة من تداخل موجتين جيبيتين تسيران في نفس الوسط وفي نفس الاتجاه، ولهما نفس السعة والتردد والطول الموجي، ولكن تختلفان في زاوية الطور.

$$\text{ص}_{\text{١}}(\text{ز}) = \text{ص}_{\text{م}}\ \text{جا}\,(\kappa\,\text{س} - \omega\,\text{ز} + \phi)$$

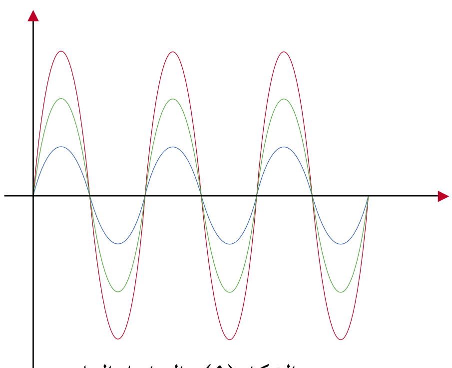
$$\text{ص}_{\text{٢}}(\text{ز}) = \text{ص}_{\text{م}}\ \text{جا}\,(\kappa\,\text{س} - \omega\,\text{ز})$$

باستخدام المتطابقة الرياضية لجمع زاويتين:

$$\text{جا أ} + \text{جا ب} = \text{٢ جتا}\left(\frac{\text{أ} - \text{ب}}{\text{٢}}\right) \text{جا}\left(\frac{\text{أ} + \text{ب}}{\text{٢}}\right)$$

عند جمع هاتين الموجتين ينتج :

$$\text{ص} = \text{ص}_{١} + \text{ص}_{٢} = ٢\,\text{ص}_{\text{م}}\ \text{جتا}\left(\frac{\phi}{٢}\right)\ \text{جا}\left(K\text{س} - \omega\,\text{ز} + \frac{\phi}{٢}\right) \quad \text{.................... (٥)}$$


الشكل (٩) : التداخل البناء

أي أن السعة الناتجة تعطى بالعلاقة : $٢\,\text{ص}_{\text{م}}\ \text{جتا}\left(\frac{\phi}{٢}\right)$ ،

وتكون قيمتها القصوى مساوية $٢\,\text{ص}_{\text{م}}$ عندما تكون قيمة $\text{جتا}\left(\frac{\phi}{٢}\right)$ قيمة عظمى ، أي عند $\phi = ٠$ ، ٢π ، ٤π ، وهكذا . فمثلاً عندما تكون زاوية الطور $\phi = ٠$ ، فإن الموجتين تتداخلان تداخلاً بناءً ، وتكون السعة مساوية للصفر عند $\phi = \pi$ ، ٣π ، ٥π ، . . . ، وهكذا ، وتتداخل الموجتان في هذه الحالة تداخلاً هداماً .

٢ ـ ٦ سلوك الأمواج الميكانيكية

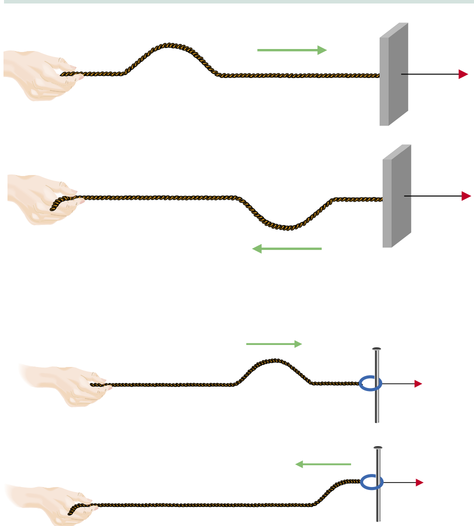
تتشابه جميع الأمواج الميكانيكية من حيث الوصف العام ، إذ إن لكل منها سعة ، وطول موجي وتردد ، وسرعة خاصة تعتمد على طبيعة الوسط الذي تنتقل فيه ، وحركة الجزيئات المولدة لهذه الموجات .

وفيما يأتي تفسير لسلوك الموجات الميكانيكية من حيث الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود .

انعكاس الأمواج وانكسارها:

عندما نحدث نبضة في حبل ، فإن هذه النبضة تنتقل عبر الحبل من طرف إلى آخر ، لكن ماذا يحدث للنبضة بعد أن تصل الطرف الآخر للحبل؟ لمعرفة ذلك قم بإجراء بالنشاط الآتي :

نشاط (١) : انعكاس الأمواج في حبل



المواد والأدوات : حبل طويل ، ومربط .

خطوات العمل :

- ثبت الحبل كما في الشكل المجاور ، وشده بيدك ، ثم أحدث نبضة فيه .
- راقب انتشار النبضة قبل وصولها الطرف المثبت وبعد أن تعكس اتجاه حركتها .
- ارسم شكل النبضة قبل وصولها الطرف المثبت .
- ارسم شكل النبضة بعد انعكاسها .
- أعد الخطوات السابقة عندما يكون أحد طرفي الحبل مثبتاً بوساطة حلقة صغيرة يمكنها الانزلاق على عمود التثبيت كما في الشكل .

لعلك لاحظت أن النبضة تنعكس إلى أسفل عندما يكون طرف الحبل مثبتاً في الجدار وذلك بسبب رد الفعل الذي يؤثر فيه الجدار على الحبل نتيجة شد جزيئات الحبل للجدار إلى أعلى، أما عندما يكون طرف الحبل حراً (مربوطاً في حلقة تتحرك على قضيب رأسي)، فإن النبضة تنعكس إلى أعلى؛ لأن جزيئات الحبل لا تؤثر على الجدار.

الأمواج الموقوفة: Standing Waves

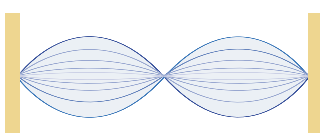
يقصد بالأمواج الموقوفة الأمواج الناتجة من تلاقي موجتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين في الوسط نفسه، ويكون لهما نفس السعة والتردد.

أ. الأمواج الموقوفة في حبل مشدود:

لتتعرف الأمواج الموقوفة تخيل موجتين في حبل مشدود مثبت الطرفين كما في الشكل(١٠)، تتحركان في اتجاهين متعاكسين، ولهما نفس السعة والتردد والطول الموجي، فإذا مثلنا الموجتين بالصورة الرياضية الآتية:

$$ص_{١}(س، ز) = ص_{م} \text{ جا } (\kappa س - \omega ز)$$

$$ص_{٢}(س، ز) = ص_{م} \text{ جا } (\kappa س + \omega ز)$$



الشكل(١٠): الأمواج الموقوفة

فيكون ناتج جمع هاتين الموجتين كما يأتي:

$$ص = ٢ ص_{م} \text{ جا } (\kappa س) \text{ جتا} (\omega ز) \quad .... (٦)$$

لاحظ أن سعة الموجة الناتجة = ٢ $ص_{م}$ جا (κس)، ويعتمد مقدار السعة على الموضع (س).

تنعدم سعة الموجة في مواضع محددة حيث جا (κس) = ٠، وتكون هذه النقاط ثابتة وتسمى بالعقد (Nodes)، وتشكل نقاط التثبيت للحبل عند طرفيه دائماً عقداً.

ولمعرفة الطول الموجي للموجة الموقوفة في الحبل الذي طوله ل، نعوض في العلاقة:

جا (κس) = صفر، أي أن: κس = ن π، ن عدد صحيح = ٠، ±١، ±٢، ....

وبتعويض $\kappa = \frac{٢\pi}{\lambda}$ نحصل على النقاط التي تحدث عندها العقد، أي عند س= $\frac{ن\lambda}{٢}$، وأقل طول ممكن للحبل عند ل= $\frac{\lambda}{٢}$. والموجة الأساسية هي الموجة التي يكون ترددها أقل ما يمكن، ويسمى التردد الأساسي ($د_{١}$)، ويعطى بالعلاقة:

$$د_{١} = \frac{ع}{\lambda} = \frac{١}{٢ل}\sqrt{\frac{ش ل}{ك}} \quad .... (٧)$$

الطاقة في الأمواج الموقوفة لا تنتقل مع الموجة بل تنحصر بين نقاط العقد.

وبشكل عام فإن تردد الأمواج الموقوفة يعطى بالعلاقة د = ن $د_{١}$، حيث ن عدد صحيح.

وفي مواضع أخرى حيث جا (κس) = ١، تكون سعة الاهتزاز أكبر ما يمكن وتسمى هذه النقاط البطون (Antinodes).

جا (κس) = ± ١، أي أن: κس = $\frac{ن\pi}{٢}$، س= $\frac{ن\lambda}{٤}$، حيث ن عدد فردي.

مثال (٤):

تداخلت الموجتان الآتيتان في حبل طوله ٤٠ سم :

$ص_1 (س، ز) = ٤$ جا $(\frac{\pi}{٤} س - ٢ ز)$ ، $ص_2 (س، ز) = ٤$ جا $(\frac{\pi}{٤} س + ٢ ز)$

حيث س، ص تقاس بالسنتمتر، والزمن يقاس بالثانية .

جد: ١ . الطول الموجي . ٢ . موضع نقاط العقد .

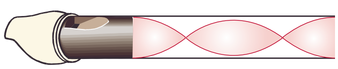
الحل:

١ . $K = \frac{٢\pi}{\lambda} = \frac{\pi}{٤}$ ، $\lambda = ٨$ سم .

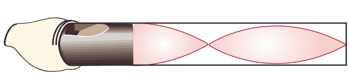
٢ . $س = \frac{ن \lambda}{٢} = ٠ ، ٤ ، ٨ ، ١٢ ، . . . ، ٤٠$ سم

ب. الأعمدة الهوائية في الأنابيب:

يمكن الحصول على أمواج طولية موقوفة في الأنابيب الهوائية كما في الصافرة والناي وغيرها من الآت النفخ الموسيقية، عن طريق إحداث تداخل بين موجتين متعاكستين في اتجاه حركتهما، ويعتمد تردد هذه الأمواج على طول الأنبوب، وكون أطرافه (نهاياته) مغلقة أم مفتوحة .



الشكل (١١): أنبوب مفتوح الطرفين



الشكل (١٢) أنبوب مغلق الطرف

- أنبوب مفتوح الطرف: كما تلاحظ في الشكل (١١) يكون موقع البطن دائماً قريباً من الطرف المفتوح للأنبوب، ويكون طول الأنبوب مساوياً لعدد صحيح من أنصاف الموجات :

$ل = ن \frac{\lambda}{٢}$ ، وبما أن $\lambda = \frac{ع}{د}$ ، نحصل على :

$د = \frac{ن ع}{٢ ل}$ . . . . (٧)

حيث، ن : عدد صحيح، ع : سرعة الصوت في الهواء وتساوي ٣٤٠م/ ث في الهواء الساكن عند درجة حرارة ٢٠ ْس .

- أنبوب مغلق الطرف: كما في الحبل المثبت الطرفين، يكون مكان العقد هو نقاط التثبيت، وهنا يكون الطرف المغلق دائماً مكاناً للعقد الموجية، انظر الشكل (١٢)، ويكون طول الأنبوب مساوياً لعدد فردي من أرباع الموجات : ويعطى التردد للأمواج المتولدة من العلاقة :

$ل = ن \frac{\lambda}{٤}$ ، حيث ن عدد فردي، ومنه :

$د = \frac{ع}{\lambda} = \frac{ن ع}{٤ ل}$ . . . . (٨)

مثال (٥):

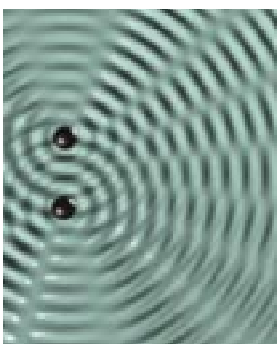
بئر ماء أسطوانية الشكل، يراد حساب عمق سطح الماء عن فوهة البئر عن طريق قياس تردد الأمواج الموقوفة المنعكسة عن الماء، فإذا كان تردد الموجة المستخدمة يساوي ٥٠ هيرتز، وكانت سرعة الصوت في الهواء ٣٤٠ م/ث، جد أكبر عمق ممكن لسطح الماء.

الحل:

يمكن أن نعدّ البئر كأنها أنبوب مغلق الطرف (عند سطح الماء)، ومن العلاقة $د = \frac{ن\,ع}{٤ل}$ يكون أقل تردد ممكن

$د = \frac{ع}{٤ل}$ ، $٥٠ = \frac{٣٤٠}{٤ل}$ ، أي أن: ل = ١,٧ متر

٢ـ٧ تداخل الأمواج وحيودها



الشكل (١٣): تداخل موجتين في حوض الأمواج

تداخل الأمواج:

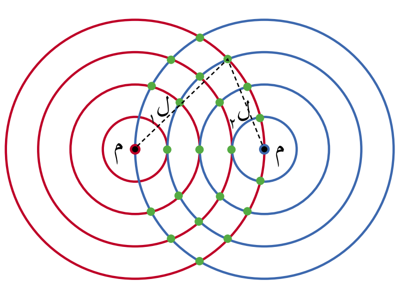
كما تعلم، لا يمكن لجسيمين التداخل بعضهما مع بعض ليحتلا نفس المكان في الوقت نفسه.

بناءً على مبدأ جمع الأمواج، يمكن لعدة أمواج متلاقية في نقطة أن تتداخل فيما بينها، وقد يكون التداخل بناءً أو هداماً، وللتحقق من ظاهرة التداخل في الأمواج الميكانيكية قم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط (٢) : تمثيل تداخل الأمواج

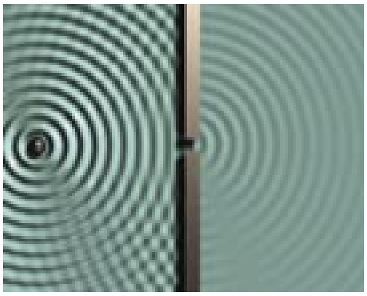
المواد والأدوات: قلم، ومسطرة، وفرجار، وشفافية عدد٢، وورقة.

خطوات العمل:



- حدد نقطة م على الورقة لتمثل مصدر نقطي للموجات.
- ارسم عدة دوائر مركزها م بزيادة مقدارها ١ سم في نصف قطر الدائرة.
- قم بتصوير الدوائر على الشفافيتين.
- ضع الشفافيتين على جهاز فوق الرأس.
- حرك الشفافيتين بعضهما مع بعض حتى تتقاطع دوائرهما كما في الشكل.
- ظلل نقاط التلاقي بين الدوائر باللون الأخضر مثلاً. فتشكل هذه النقاط مناطق التداخل للأمواج.

بشكل عام يكون التداخل بناءً إذا كان الفرق في طول المسارٍ لموجتين متلاقيتين في نقطة يساوي عدداً صحيحاً من طول الموجة، أي أن $ل_{٢} - ل_{١} = ن\lambda$. ويكون التداخل هداماً إذا كان فرق المسار يساوي عدداً صحيحاً وفردياً من أنصاف طول الموجة، $ل_{٢} - ل_{١} = \frac{ن}{٢}\lambda$ ، حيث ن عدد صحيح وفردي .



الشكل (١٤) : الحيود من فتحة

الحيود:

نسمع في كثير من الحالات الصوت القادم نحونا من مصدر خلف جدار، وهذا يدل عى أن الأمواج الصوتية تلتف حول المعيقات ، كما في الشكل (١٤) .

ونلاحظ أن انحرافاً يحصل لأمواج الماء عندما يعترض مسارها معيق بفتحة ضيقة، ويتناسب مقدار الانحراف الحاصل في الموجات على الطول الموجي لها ومقدار الفتحة في المعيق .

ولتتعرف كلاً من ظاهرتي التداخل والحيود والعوامل التي تعتمد عليها، قم بإجراء النشاط الآتي .

نشاط (٣) : التداخل والحيود في أمواج الماء

المواد والأدوات: حوض ماء، وماء، وحاجز معدني به فتحة .

خطوات العمل:

- قم بإحداث موجتين في حوض الأمواج في الوقت نفسه، فتحصل على نمط تداخل كما في الشكل المجاور، لاحظ المناطق التي تنعدم فيها الموجات .
- ضع حاجزاً معدنياً خفيفاً به فتحة في حوض الأمواج، أحدث موجة، ولاحظ ماذا يطرأ عليها، غيّر مقدار الفتحة في الحاجز، ولاحظ ما يحدث. فسر ذلك .

س١ : ماذا نعني بالمفاهيم الآتية :

الموجة الميكانيكية ، الطول الموجي ، التداخل ، الحيود؟

س٢ : أي من العبارات الآتية صائبة ؟ وأيها خاطئة؟ ثم صوب العبارات الخاطئة منها :

أ- تكون حركة الجزيئات في الموجات الطولية متعامدة مع انتشار الموجة .

ب- عندما يصبح الشد في حبل ضعفي ما كان عليه ، تصبح سرعة الموجة فيه ٤ أضعاف السرعة السابقة .

جـ- تنعكس الموجة في حبل مشدود مثبت الطرف من دون أن يتغير شكلها .

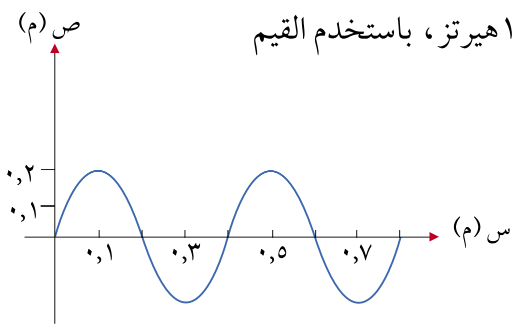
د- تتناسب القدرة التي تنقلها موجة ميكانيكية مع مربع سرعة انتشار الموجة .

س٣ : يمثل الرسم البياني المجاور موجة مستعرضة ترددها ١٠ هيرتز ، باستخدم القيم المبينة على الرسم ، جد ما يأتي :

أ- سعة الموجة .

ب- الزمن الدوري .

جـ- سرعة انتشار الموجة .



س٤ : إذا كانت العلاقة ص = ٠,٢ جا $(\pi$س + $\frac{\pi}{2}$ ز) تمثل موجة مستعرضة في حبل مشدود ، حيث ص ، س تقاس بالمتر والزمن بالثانية ، جد ما ياتي :

أ- اتجاه انتشار الموجة .

ب- ارتفاع الموجة عند س= ٠,٥ متر ، ز= ١ ثانية .

جـ- القدرة المصاحبة للموجة إذا كانت الكثافة الطولية للحبل ٦٠ غم/ م .

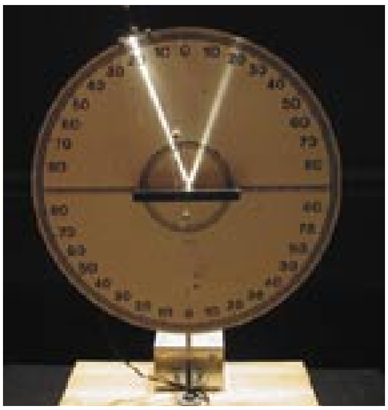
س٥ : موجة موقوفة في حبل مشدود ومثبت الطرفين طوله ١,٥ م ، إذا كان عدد العقد في الحبل ٤ .

أ- ما مقدار الطول الموجي؟

ب- ارسم شكل الموجة الموقوفة .

جـ- هل يكون هناك بطن أم عقدة عند نقطة تبعد عن طرف الحبل متراً واحداً من جهة اليمين؟

٣ طبيعة الضوء



درست في صفوف سابقة الضوء، و عرفت مصادره وسلوكه، و تكون الصور في المرايا والعدسات، لكن ما طبيعة الضوء؟ وهل يتكون من جسيمات أو موجات؟ وكيف نفسر سلوك الضوء في الظواهر المختلفة، مثل: الإنعكاس، والانكسار، والتداخل، والحيود؟

هذه الأسئلة، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

١. تتعرف الأمواج الكهرومغناطيسية.
٢. تفسر سلوك الضوء بناءً على النموذجين الجسيمي والموجي.
٣. تتحقق من مفهوم التداخل للأمواج الضوئية.
٤. تتعرف مفهوم الحيود للأمواج الضوئية.
٥. تتعرف بعض التطبيقات العملية للتداخل والحيود.
٦. تنفذ بعض الأنشطة والتجارب العملية للتحقق من السلوك الموجي للضوء.
٧. تحل مسائل عددية بسيطة على المفاهيم السابقة.

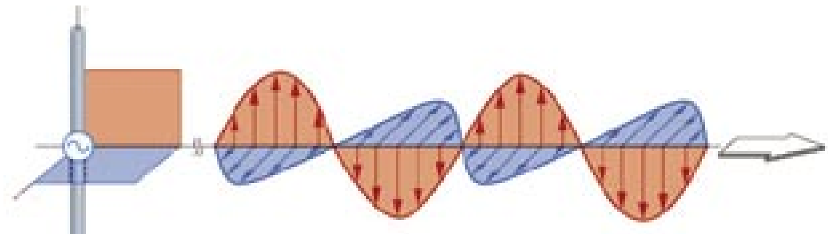
٢ ـ٧ الأمواج الكهرومغناطيسية

حاول الفلاسفة والعلماء منذ القدم فهم طبيعة الضوء و تفسير الظواهر المرتبطة به، وبقيت النظرية الجسيمية (أي أن الضوء جسيمات متناهية الصغر) التي تبناها العالم الفيزيائي اسحق نيوتن حتى بداية القرن التاسع عشر، هي الأساس الذي اعتمد عليه الفيزيائيون في تفسير معظم سلوك الضوء كالانعكاس والانكسار، ولكنَّ فشل هذا النموذج في تفسير بعض الظواهر الضوئية الأخرى وضع العلماء أمام تحد لتعديله أو استبداله، حتى جاء العالم الهولندي هايجنز ١٦٧٠م (Huygens) واقترح النموذج الموجي للضوء، واستطاع تفسير ظاهرتي الانعكاس والانكسار حسب هذا النموذج. وجاء من بعده العالم ينغ ١٨٠٣م (Young), وأثبت بالتجربة عن طريق تداخل الضوء أن الضوء ذو طبيعة موجية.

في عام ١٨٦٥م أثبت العالم ماكسويل Maxwell أن الضوء أمواج كهرومغناطيسية تتكون من مجالين: أحدهما كهربائي، والآخر مغناطيسي، يتغيران مع الزمن وينتشران في الفضاء بسرعة ثابتة، انظر الشكل (١) والفرق بين الضوء والأمواج الكهرومغناطيسية الأخرى هو في التردد الموجي فقط.

يطلق الضوء على مدى معين من الطيف الكهرومغناطيسي، الذي يمكن للعين الإحساس به.

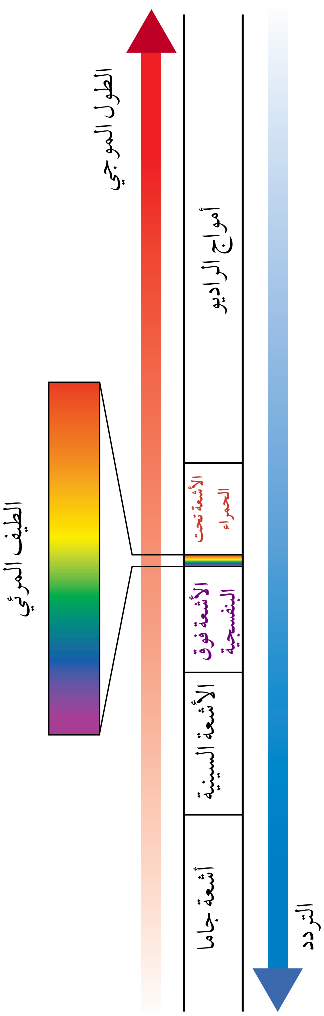
أي النموذجين هو الأصح؟ دلّت التجارب على أن كلا النموذجين يصلح لتفسير بعض السلوكات للضوء؛ أي أن للضوء طبيعة مزدوجة، يسلك أحياناً سلوك الجسيمات، وأحياناً أخرى سلوك الأمواج.



الشكل (١): الأمواج الكهرومغناطيسية

الطيف الكهرومغناطيسي:

تستخدم كلمة الطيف للتعبير عن مدى معين من التغيرات التي تخص صفة ما، ويشمل الطيف الكهرومغناطيسي الترددات المختلفة للأمواج الكهرومغناطيسية، كامواج الراديو والميكروويف، وأمواج الضوء المرئي، ومنطقة الضوء تحت الحمراء وكذلك المنطقة فوق البنفسجية، وغيرها من الإشعاعات، مثل: الأشعة السينية، وأشعة جاما، والشكل (٢) يبين المناطق المختلفة للطيف الكهرومغناطيسي، وهي كما يأتي:



الشكل (٢): الطيف الكهرومغناطيسي

أمواج الراديو:

يتراوح طولها الموجي من ٣٠ سم إلى ٣ كم، وتستخدم في البث الإذاعي والتلفازي.

أمواج الميكروويف:

تلي الأمواج الراديوية مباشرة من حيث قصر الطول الموجي، ويتراوح طولها الموجي من ٣٠٠سم إلى ٠,٣ سم، وتستخدم في الاتصالات والاستشعار عن بعد، إضافة لطهي وتسخين الطعام.

الأشعة تحت الحمراء:

تقع بين الطيف المرئي وأمواج الميكروويف، ويطلق على الجزء الأطول منها الأمواج الحرارية، وتستخدم في التصوير الليلي، بينما تستخدم الأمواج الأقصر طولاً في التحكم عن بعد.

الضوء المرئي:

تحس به العين، ويتراوح طول موجته بين ٣٥٠ - ٧٠٠ مايكرون، والضوء المرئي الذي يصلنا من الشمس ضوء مركب من الألوان جميعها، وكل لون من الطيف له طول موجي خاص به.

هل تعلم؟

أن جسم الإنسان يصدر أمواجاً حرارية تحت حمراء طولها الموجي ١٠ ميكرون، تمكن من تصويره ليلاً.

وأن الأفاعي تتحسس الحرارة المنبعثة من الأجسام الحية، مما يمكنها من مطاردة فرائسها ليلاً.

الأشعة فوق البنفسجية :

تلي الطيف المرئي، وهي أقصر منه من حيث الطول الموجي، ولا تستطيع العين البشرية الإحساس بها، ولكن قد تستطيع الإحساس بها عيون بعض الحشرات كالنحل مثلاً.

وتستطيع بعض هذه الأمواج النفاذ من الغلاف الجوي للأرض، وتضر بصحة الإنسان، وتقوم طبقة الأوزون بامتصاص الجزء الأكبر منها، ويستخدمها العلماء في التصوير الفلكي للمجرات والنجوم.

الأشعة السينية :

اكتشفها العالم الألماني رونتجن Roentgen عام ١٨٩٥م بالصدفة عندما كان يجري تجاربه على الأنابيب المفرغة، وتزداد طاقة هذه الأشعة كلما نقص طولها الموجي، لكن طاقتها لا تمكنها من اختراق الغلاف الجوي للأرض لسماكته. وتستخدم في مجالات عدة، كتصوير العظام، والكشف عن المعادن، انظر الشكل (٣).

أشعة جاما :

أقصر الأمواج الكهرومغناطيسية وأكثرها طاقة، ومصدرها الذرات المشعة والانفجارات النووية في النجوم والمجرات، ولها تأثير مدمر على الخلايا الحية؛ لذا يستخدمها العلماء في معالجة الأمراض كالسرطان؛ إذ تدمر الخلايا السرطانية.

ويتم رصد أشعة جاما عن طريق مجسات خاصة توضع على المركبات الفضائية، وتختلف عن غيرها من الأشعة؛ إذ إنها لا تنعكس عن المرايا.

ويسعى العلماء حالياً لمعرفة أصل الكون، وحجمه ومعدل اتساعه بناءً على دراسة أشعة جاما التي تطلقها المجرات.

الشكل (٣): صورة بالأشعة السينية تظهر مسماراً يربط مفاصل العظام.

التمثيل الرياضي للأمواج الكهرومغناطيسية:

يمكن التعبير عن المجالين الكهربائي والمغناطيسي اللذين يكونان الأمواج الكهرومغناطيسية في اتجاه محور السينات الموجب بالعلاقة الآتية:

$\overleftarrow{م} = م_{م}$ جا (κس − ω ز) .... (١)

$\overleftarrow{غ} = غ_{م}$ جا (κ س − ω ز) .... (٢)

حيث $\overleftarrow{م}$: تمثل المجال الكهربائي، و $\overleftarrow{غ}$: تمثل المجال المغناطيسي.

إن كلا المجالين يهتزان في اتجاه عمودي على خط انتشار الموجة، والنسبة بين قيمة المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي للموجة تساوي سرعة الموجة في الوسط، وقيمتها في الفراغ 3×10^{8} م/ث تقريباً، وهي ثابتة في الوسط المتجانس، والعلاقة التي تربط التردد والطول الموجي للأمواج الكهرومغناطيسية هي:

س = $\lambda \times$ د، حيث س: سرعة الموجة، د: التردد، λ: الطول الموجي.

مثال (١):

موجة كهرومغناطيسية مجالها الكهربائي على شكل دالة جيبية، تعطى بالعلاقة :

مَ = ٣٠٠جا ($\frac{\pi}{٣}$ x ١٠^{٦}س − π x ١٠^{١٥}ز) فولت/ م، تنتشر بالاتجاه الموجب لمحور السينات في الهواء، احسب :

أ. السعة ب. التردد جـ. الطول الموجي

الحل :

أ. السعة = ٣٠٠ فولت/ م، أقصى قيمة لشدة المجال .

ب. التردد، نلاحظ من العلاقة السابقة أن ω = π x ١٠^{١٥} راد .

ومنها د = ٥x ١٠^{١٤} هيرتز.

جـ. الطول الموجي، يحسب من العلاقة السابقة، k= $\frac{\pi}{٣}$ x ١٠^{٦} ، ومنها λ = ٦x ١٠$^{-٦}$ م .

يمتلك كل نوع من الأمواج الكهرومغناطيسية طولاً موجياً (ترددا) خاصاً به، وتبعاً لذلك يتغير تفاعل وسلوك هذه الأمواج مع المواد المختلفة . فمثلاً :

- لاتحس أعيننا بأمواج الراديو؛ لأن طولها الموجي كبير وطاقة الفوتونات قليلة مع أنها تستطيع إختراق أجسامنا، ولكن يمكن لهوائي فلزي التقاطها .
- تمتلك الأمواج تحت الحمراء أطوالاً موجية مناسبة لامتصاصها من قبل المواد وتحولها إلى حرارة .
- الأشعة السينية لها أطوال موجية قصيرة جداً؛ مما يجعلها تخترق الأنسجة الناعمة في جسم الكائنات الحية وغيرها، ولكنها لاتستطيع اختراق العظام .

وقد أدى اختلاف خصائص الطيف الكهرومغناطيسي في سلوكه وتفاعله مع المواد المختلفة إلى التطبيقات التكنولوجية المتعددة في شتى مجالات الحياة .

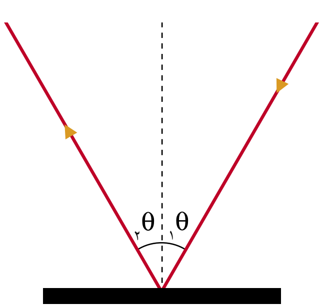
٣-٢ النموذج الجسيمي للضوء

انعكاس الضوء:

تعلمت في الصف الثامن أن الضوء ينعكس عن بعض الأجسام، انظر الشكل (٤)، وأن الانعكاس محكوم بقانوني الانعكاس :

القانون الأول : الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس تقع جميعها في مستوى واحد .

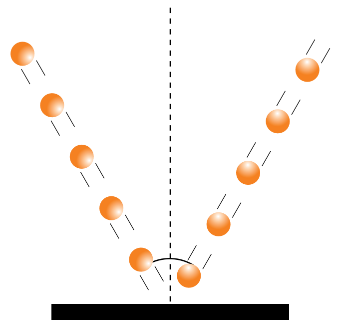
القانون الثاني : زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس ، $\theta_{١} = \theta_{٢}$.



الشكل (٤) : انعكاس الضوء

يمكن تفسير ظاهرة الانعكاس حسب النموذج الجسيمي، كما يحصل في ارتداد كرة صغيرة مرنة عن حائط أو أرضية الغرفة مثلاً ، انظر الشكل(٥)،

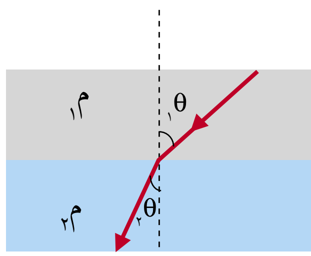
فعندما نسقط الكرة بشكل عمودي على أرضية أفقية صلبة، ترتد الكرة بشكل عمودي إذا كانت الأرضية ملساء، إما إذا دفعنا الكرة بحيث تعمل زاوية ما مع الخط العمودي على السطح فإن الكرة ترتد بنفس الزاوية في الجهة الأخرى للعمودي، أي أن النموذج الجسيمي نجح في تفسير هذه الظاهرة.


الشكل (٥): انعكاس جسيم

انكسار الضوء:

عندما ينتقل الضوء من وسط إلى آخر فإن شعاع الضوء ينحرف عن مساره بشكل مفاجىء عند الحد الفاصل بين سطحي الوسطين، انظر الشكل (٦)، وهذا ما يعرف بانكسار الضوء، ويعتمد مقدار زاوية الانكسار على معامل الانكسار النسبي بين الوسطين الذين انتقل بينهما الضوء، ومقدار زاوية السقوط.

$$\text{معامل الانكسار (م)} = \frac{\text{سرعة الضوء في الفراغ}}{\text{سرعة الضوء في الوسط}} = \frac{\text{س}}{\text{ع}}$$



الشكل (٦): انكسار ضوء

ويمكننا تحديد مقدار زاوية الانكسار من قانون سنل:

$م_١ \text{جا} \theta_١ = م_٢ \text{جا} \theta_٢$ .... (٣)

حيث: $\theta_١$ زاوية السقوط، و $\theta_٢$ زاوية الانكسار.

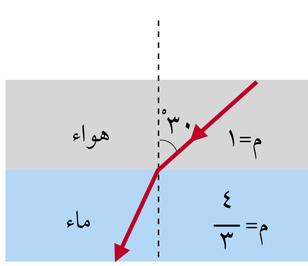
$م_١$ معامل الانكسار للوسط الأول، $م_٢$: معامل الانكسار للوسط الثاني.

ويتغير الطول الموجي للضوء في الوسط حسب معامل انكساره.

مثال (٢):

سقطت حزمة من الضوء الأحمر طولها الموجي ٠,٧ مايكرون من الهواء بزاوية مقدارها ٣٠° مع العمودي المقام على سطح الماء، إذا كان معامل الانكسار للهواء = ١ ، وللماء = $\frac{٤}{٣}$ ، احسب:

أ. زاوية الانكسار. ب. الطول الموجي للضوء في الماء.



الحل:

أ. من قانون سنل، نجد أن: $م_١ \text{جا} \theta_١ = م_٢ \text{جا} \theta_٢$

$١ \times \text{جا } ٣٠° = \frac{٤}{٣} \times \text{جا} \theta_٢$ ، إذن $\theta_٢ = \text{جا}^{-١} \frac{٣}{٨}$ ، $\theta_٢ = ٢١°$ تقريباً.

ب. $\frac{م_١}{م_٢} = \frac{\lambda_٢}{\lambda_١}$ ، أي أن: $\lambda_٢ = \frac{م_١}{م_٢} \lambda_١$

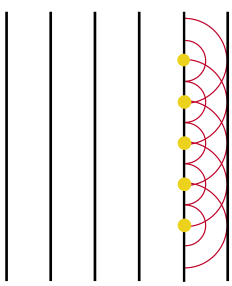
$\lambda_٢ = \frac{٠,٧ \times ٣}{٤} = ٠,٥٢٥$ مايكرون.

٣-٣ السلوك الموجي للضوء

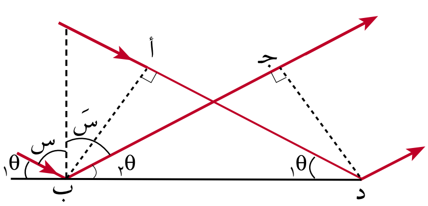
سندرس في هذا البند بعض سلوكيات الضوء ونحاول تفسيرها حسب النموذج الموجي الذي اقترحه العالم هايجنز، وسنعرض بعض الأنشطة التي تسهل علينا تفسير هذه الظواهر.

مبدأ هايجنز: Huygens' Principle

يعد العالم الألماني كريستيان هايجنز أول من افترض النموذج الموجي للضوء، ورأى أنَّ أمواج الضوء تختلف عن أمواج الماء التي تتحرك على سطح السائل في بعدين وأنّها ثلاثية الأبعاد، فمثلاً، إذا ولدت ومضة عند نقطة في الفراغ، سينتشر تأثير هذه الومضة بعد زمن قصير إلى جميع النقاط التي تبعد عنها مسافة محددة؛ أي أنها جميعاً تقع على محيط كرة مركزها النقطة المذكورة، وهذه الكرة تتسع باستمرار، وأطلق عليها هايجنز اسم مقدمة الموجة (Wavefront)، وكل نقطة في مقدمة الموجة تعدّ مصدراً ثانوياً للأمواج، انظر الشكل (٧).


الشكل (٧): مبدأ هايجنز

وقد درست سابقاً انعكاس الأمواج الميكانيكية، مثل الأمواج في حبل مشدود عن حاجز يعترض سير الموجات أو تقدمها، فعند سقوط حزمة من الضوء بشكل متوازٍ على سطح مصقول فإن هذه الحزمة تنعكس محافظة على توازيها، وحسب نموذج هايجنز نستطيع تفسير ظاهرة الانعكاس كما يأتي.



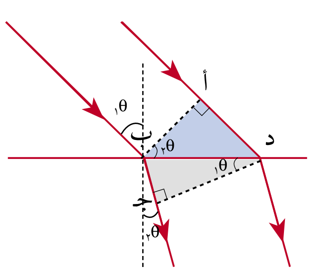
الشكل (٨): انعكاس الضوء

نلاحظ في الشكل(٨) أن الشعاع (أ) ينعكس عن السطح، وكذلك الشعاع (ب)، وبما أن سرعة الأمواج ثابتة في الوسط نفسه، يكون الزمن المستغرق من أ إلى د مساوياً للزمن من ب إلى جـ. ونلاحظ أن المثلثين ب أ د، ب جـ د متطابقان، أي أن: $\frac{\text{أ د}}{\text{ب د}} = \frac{\text{ب جـ}}{\text{ب د}}$، ومنها جتا θ_1 = جتا θ_2، أو $\theta_1 = \theta_2$، ومنه س = سَ؛ أي أن:

زاوية السقوط = زاوية الانعكاس، وهذا هو قانون الانعكاس الثاني.

لكن كيف يفسر النموذج الموجي انكسار الضوء؟

عندما تصل حزمة الأشعة الضوئية السطح الفاصل بين الوسطين كما هو مبين في الشكل(٩)، فإن مقدمات الأمواج تنحرف عن مسارها، ويكون الزمن المستغرق كي يقطع الشعاع الساقط المسافة (أ د) مساوياً للزمن المستغرق للشعاع المنكسر (ب جـ).



الشكل (٩): انكسار الضوء

$$\text{ز} = \frac{\text{أ د}}{\text{ع}_1} = \frac{\text{ب جـ}}{\text{ع}_2}\text{، أي أن: } \frac{\text{ع}_2}{\text{ع}_1} = \frac{\text{ب جـ}}{\text{أ د}} = \frac{\text{ب د جا}\,\theta_2}{\text{ب د جا}\,\theta_1}.$$

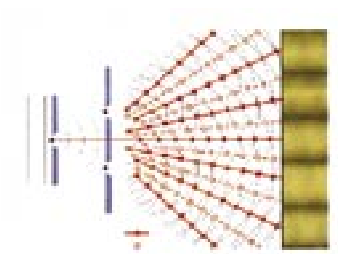
وحيث أن: $\frac{\text{ع}_2}{\text{ع}_1} = \frac{\text{م}_1}{\text{م}_2}$، وبالتعويض في العلاقة السابقة نحصل على قانون سنل.

$$\text{م}_1 \text{ جا}\,\theta_1 = \text{م}_2 \text{ جا}\,\theta_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٤)$$

تداخل الضوء:

كما علمت سابقاً فإن ظاهرة التداخل تحدث عندما تنتقل موجتان في نفس الوسط ، وتأخذ الموجة الناتجة شكلاً جديداً يكون حاصل جمع الموجتين جبرياً عند كل نقطة . فهل يمكن أن يحدث تداخل للضوء من مصدرين؟ لقد كان هذا السؤال محكاً لإثبات الطبيعة الموجية للضوء .

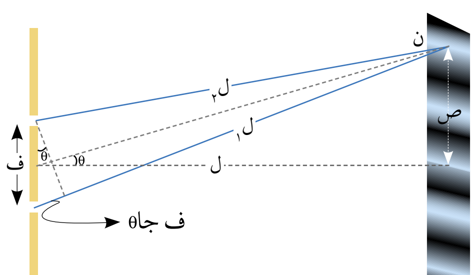
تجربة ينغ:



الشكل (١٠) : تجربة ينغ .

كان لتجربة الفيزيائي ثوماس ينغ عام ١٨٠١م أثر بالغ في دعم النموذج الموجي للضوء ، وذلك عندما حصل على نمط معين للتداخل عند مرور الضوء من خلال شقين متجاورين ، كما في الشكل (١٠) .

ونتيجة لاختلاف طول المسارين بين الضوء القادم من الشقين عند تلاقيه في نقطة ما على الحاجز ، ينتج نمطاً جديداً متكرراً من المناطق المظلمة (مناطق تداخل هدام) ، وأخرى من المناطق المضاءة (مناطق تداخل بناء) ، وتسمى هذه المناطق الأهداب ، ولاحظ ينغ في تجربته أن نمط التداخل يعتمد على لون الضوء الساقط على الشق ، فوجد أن المسافة بين منطقتين مضاءتين تتناسب طردياً مع طول الموجة الساقطة ، كما وجد أن تلك المسافة تتناسب عكسياً مع المسافة بين الشقين .



الشكل (١١) : التداخل من شقين .

ولضمان ظهور نمط التداخل فإنه يشترط استخدام مصدرين ضوئيين ، الفرق في الطور بينهما ثابت ، وقد أخذ ينغ المصدرين من نفس المصدر .

وللتوصل للعلاقة الرياضية التي تمكننا من وصف أنماط التداخل ، نفترض أن المسافة (ل) بين الشقين والحاجز كبيرة جداً نسبة إلى المسافة بين الشقين (ف) ؛ أي أن ل >> ف ، وبناءً عليه فإن الفرق بين طولي المسارين لشعاعي الضوء في حالة التداخل البناء يعطى بالعلاقة :

$ل_٢ - ل_١ = ف\ جا\theta = ن\ \lambda$ ، أي أن : $ف\ \frac{ص_ن}{ل} = ن\ \lambda$ ، ن : عدد صحيح ، ومنه

$$ص_ن = ن\ \frac{\lambda ل}{ف} \quad ....\ (٥)$$

حيث $ص_ن$: موقع الهدب المضيء ورقمه(ن) من مركز الحاجز .

أما في حالة التداخل الهدام فإن الفرق في المسافة بين طولي المسارين لشعاعي الضوء يعطى بالعلاقة :

$ل_٢ - ل_١ = ف\ جا\theta = (ن + \frac{١}{٢})\ \lambda$ ، أي أن : $ف\ \frac{ص_ن}{ل} = (ن + \frac{١}{٢})\ \lambda$ ، ومنه

$$ص_ن = (ن + \frac{١}{٢})\ \frac{\lambda ل}{ف} \quad ....\ (٦)$$

لاحظ هنا أن المسافة بين هدبين متتاليين $\Delta ص = \frac{\lambda ل}{ف}$

مثال (٣):

إذا كان البعد بين الشقين ١٥ ميكرومتر، وكان الحاجز على بعد ٠,٣ م، ما البعد بين الهدب الرئيس والهدب المضيء الذي يليه مباشرة؟ عندما يسقط ضوء طوله الموجي ٤٠٠٠ أنجستروم.

الحل:

من العلاقة: $\text{ص}_{\text{ن}} = \text{ن}\,\frac{\lambda\,\text{ل}}{\text{ف}}$، المطلوب حساب قيمة ص عندما تكون ن = ١.

$$\text{ص}_1 = 1 \times \frac{0.4 \times 10^{-6} \times 3}{15 \times 10^{-6}} = 0.08 \ \text{متر}$$

نشاط رقم (١): قياس الطول الموجي لشعاع ليزر

المواد والأدوات: ليزر، وحامل عدد ٢، وشريحة ذات شقين المسافة بينهما معروفة، وشاشة، ومسطرة.

خطوات العمل:

- ثبت الشريحة ذات الشقين في وضع رأسي على حامل.
- ثبت الليزر على حامل.
- ضع الشاشة على بعد مترين تقريباً من الشريحة.
- أسقط ضوء الليزر على الشريحة، وراقب نمط التداخل الذي يحدث على الشاشة.
- قس المسافة بين هدبين مضيئين متجاورين، (يمكنك قياس المسافة لعدة أهداب متجاورة، ثم قسمة هذه المسافة على عدد الأهداب.
- من قياس المسافة بين هدبين متتاليين، ومعرفة المسافة بين الشقين، والمسافة بين الشريحة والشاشة، احسب طول موجة الليزر.

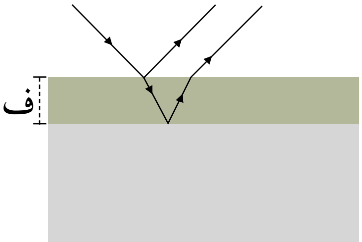
التداخل في الأغشية الرقيقة:

نشاهد كثيراً ظهور بقع ملونة من الزيت أو النفط على الشارع عندما يسقط الضوء عليها، ونشاهد أيضاً ألواناً زاهية على فقاعات الصابون كتلك التي تظهر على ريش الطيور، انظر الشكل (١٢) فكيف نفسر ذلك؟

الشكل (١٢): تداخل الضوء على ريش الطيور

تسمى هذه الظاهرة تداخل الضوء في الأغشية الرقيقة، وسبب هذه الظاهرة هو التداخل الذي يحصل بين الأمواج الضوئية عند انعكاسها من أوساط مختلفة، (سطح الغشاء العلوي والسطح السفلي له).

ولدراسة هذه الظاهرة نأخذ غشاءً رقيقاً من الزيت سمكه (ف) على سطح



الشكل (١٣): التداخل في الأغشية الرقيقة

الماء كما في الشكل (١٣)، فعندما يسقط شعاع ضوئي من الهواء على سطح الزيت ينعكس جزء منه إلى الهواء ثانيةً، ويمر الجزء الآخر في غشاء الزيت، ثم ينعكس مرة أخرى داخل الزيت عن السطح الفاصل بين الزيت والماء، وينكسر إلى الهواء على السطح الفاصل بين الهواء والزيت، ويحدث تداخل بين الشعاعين المنعكسين من السطحين.

نفترض أن الشعاع سقط عمودياً على سطح الزيت. للحصول على تداخل بناء بين الشعاعين، فإن الفرق في طول المسارين (٢ف) يساوي عدداً صحيحاً من الأطوال الموجية، وإذا ما أخذنا بعين الاعتبار أن الشعاع المنعكس عن السطح الفاصل بين الزيت والماء تغير بمقدار نصف موجة (راجع انعكاس الأمواج في حبل مشدود)، فإن العلاقة التي تربط بين الطول الموجي وسمك الغشاء تعطى كما يأتي:

$$٢ف = (ن + \frac{١}{٢}) \frac{\lambda}{م} \quad \text{.........................(٧)}$$

حيث $\frac{\lambda}{م}$ طول الموجة في الزيت، و (م) معامل انكسار الزيت، و(ن): عدد صحيح.

وفي حال التداخل الهدام فإن العلاقة التي تربط بين سمك الغشاء وطول الموجة تعطى كما يأتي:

$$٢ف = ن \frac{\lambda}{م} \quad \text{.........................(٨)}$$

هل تعلم؟
تستخدم بعض المواد، مثل فلوريد المغنيسيوم في طلاء العدسات المستخدمة في الأجهزة البصرية لتقليل الضوء المنعكس عنها.

مثال(٤):

فقاعة من الصابون سمكها ٢٥٠ نانومتر تعرضت لضوء أبيض، ومعامل إنكسار الفقاعة يساوي ١,٣٦ ما الألوان التي لا يمكن رؤيتها من الضوء المنعكس؟

الحل:

الألوان التي لا تظهر في الجزء المنعكس ضمن الطيف المرئي هي التي يكون تداخلها هداماً، ويحسب طولها الموجي من العلاقة: $٢ف = ن \frac{\lambda}{م}$

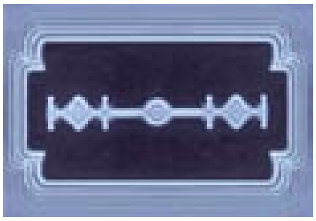
حيث: $\lambda = م \frac{٢ف}{ن}$، وبتعويض قيم ن=١، ٢، . . . نجد أن:

$\lambda_١ = \frac{٢٥٠ \times ١,٦٣ \times ٢}{١}$ = ٦٨٠ نانومتر. (اللون الأحمر).

$\lambda_٢ = \frac{٢٥٠ \times ١,٦٣ \times ٢}{٢}$ = ٣٤٠ نانومتر. (اللون فوق البنفسجي).

نلاحظ أن اللون الأحمر يختفي من الألوان الظاهرة على الفقاعة.

حيود الضوء:



الشكل (١٤) : حيود الضوء حول حواف شفرة حلاقة

يعدّ تكون الظلال للأجسام وتكون الصور في الكاميرا ذات الثقب من الدلائل التي تدعم أن الضوء يسير في خطوط مستقيمة ، غير أن هناك بعض المشاهدات التي لا تتفق مع ذلك ، فعندما يسقط شعاع ليزر على فتحة ضيقة تتكون مناطق مضيئة ومناطق مظلمة على الشاشة خلف الفتحة ، وتسمى هذه الظاهرة حيود الضوء (أي انحرافه عن السير في خطوط مستقيمة)، والشكل (١٤) يوضح حيود الضوء حول حواف شفرة حلاقة .

الحيود من شريحة ذات شق واحد:

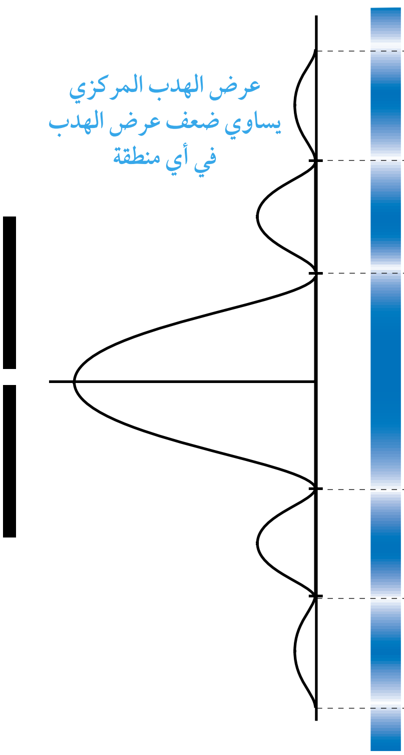
اذا سقط ضوء أحادي اللون على شريحة ذات شق واحد ، فإنه يتكون نمط حيود على الشاشة خلف الشريحة بحيث يكون هناك مناطق مضيئة ومناطق مظلمة ، انظر الشكل (١٥)، وهذه الظاهرة لا يمكن تفسيرها الا على اعتبار أن الضوء يسلك سلوكاً موجياً .

وقد وجد أن موقع الأهداب المظلمة في نمط الحيود يعطى بالعلاقة الآتية :

$$ص_{ن} = ن \frac{\lambda ل}{ف} \quad .... (٩)$$

حيث : ن عدد صحيح ، ل المسافة بين الشق والشاشة، ف عرض الشق . من العلاقة السابقة يمكننا حساب عرض الهدب المركزي كما يأتي :

$$ص_{م} = ٢ \frac{\lambda ل}{ف} \quad .... (١٠)$$



الشكل (١٥) : الحيود من شريحة ذات شق .

ويلاحظ أنّ عرض الهدب المركزي يتناسب طردياً مع طول الموجة وعكسياً مع عرض الشق ، أي أن مقدار حيود الضوء يزداد بازدياد طول الموجة وصغر عرض الشق .

تتمثل ظاهرة الحيود بوضوح عندما يكون الطول الموجي للضوء قريباً من عرض الشق .

مثال (٥) :

سقط ضوء طوله الموجي ٤٠٠ نانومتر على شريحة ذات شق واحد عرضها ٢٠ ميكرو ميتر ، فإذا كان الحاجز على بعد ٢,٥ م من الشريحة ، فأوجد عرض الهدب المركزي .

الحل:

$$ص_{م} = ٢ \frac{\lambda ل}{ف}$$

$$= ٢ \times \frac{٤٠٠ \times ١٠^{-٩} \times ٢,٥}{٢٠ \times ١٠^{-٦}} = ٠,١ \text{ متر}$$

نشاط رقم (٢): قياس قطر شعرة باستخدام الليزر

المواد والأدوات : ليزر، وحامل عدد ٢ ، وشريحة زجاجية، وشعرة، ولاصق، وشاشة، ومسطرة.

خطوات العمل :

- ثبت الشعرة على الشريحة في وضع رأسي بوساطة اللاصق وثبتها على الحامل.
- ثبت الليزر على حامل.
- ضع الشاشة على بعد مترين تقريباً من الشريحة.
- أسقط ضوء الليزر على الشعرة وراقب نمط الحيود الذي يحدث على الشاشة.
- قس بالمسطرة عرض الهدب المركزي المتكون على الشاشة.
- من قياس عرض الهدب المركزي، ومعرفة طول موجة الليزر، والمسافة بين الشريحة والشاشة، احسب قطر الشعرة.

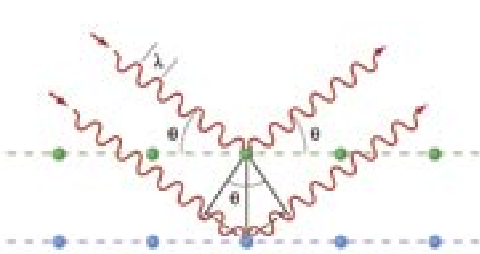
ملاحظة : تقوم الشعرة هنا مقام الشق في الشريحة، ويحدث نفس النمط من الحيود سواء أسقط الضوء على شق أم على معيق، مثل الشعرة.

الحيود في البلورات:

الشكل (١٦): مخطط حيود الضوء من بلورة.

تعرفنا سابقاً أن الحيود يعتمد على عرض الفتحة التي ينفذ من خلالها الضوء، وعلى الطول الموجي للضوء الساقط، وبما أن الطول الموجي للأشعة السينية قصير جداً، وقريب من المسافة التي تفصل الذرات في البلورات فقد تم استخدام الأشعة السينية لدراسة أنماط الحيود في البلورات وإيجاد المسافة بين طبقاتها كما في الشكل (١٦).

وقد لاحظ العالم الفيزيائي براغ (Bragg) أن الحيود يحصل عندما تسقط الأشعة السينية على البلورة بزاوية معينة مع سطحها. وتعتمد هذه الزاوية على المسافة بين السطوح في البلورة.



الشكل (١٧): الحيود من بلورة.

وقد وجد أن التداخل البناء بين الشعاعين المنعكسين يحدث عندما يكون الفرق بين طول مساري الشعاعين المنعكسين عن الطبقتين الأولى والثانية يساوي عدداً صحيحاً من الأطوال الموجية، ومن الشكل (١٧) فإن الفرق بين مسار الشعاعين يعطى بالعلاقة الآتية : ٢ف جاθ = ن λ، حيث ف : المسافة بين طبقات الذرات، وبمعرفة طول الموجة السينية، وقياس زاوية السقوط، يمكننا قياس المسافة بين ذرات البلورة من العلاقة السابقة.

أسئلة الفصل:

س١ : اذكر ثلاثة فروق بين الأمواج الميكانيكية والأمواج الكهرومغناطيسية .

س٢ : احسب التردد الذي يهتز به كل من الأمواج الكهرومغناطيسية الآتية :

- ميكرويف طولها الموجي ١ سم .
- أمواج تحت حمراء طولها الموجي ١ ميكرو متر .
- أمواج فوق بنفسجية طولها الموجي ١٠٠ أنجستروم .
- أشعة سينية طولها الموجي ٣ أنجستروم .

س٣ : إذا كان المجال الكهربائي لموجة كهرومغناطيسية يعطى بالعلاقة الآتية :

$\vec{م} = ١٠٠$ جا $(١٠^{٧}س - \omega ز)$ ، جد :

أ . سعة المجال المغناطيسي لهذه الموجة .

ب . الطول الموجي لها .

جـ . التردد

د . هل نستطيع الرؤية بوساطة هذه الأمواج؟

س٤ : سقط ضوء أبيض على غشاء رقيق معامل انكساره ١,٤ ، فكان اللون البارز على الغشاء بين اللون الأصفر والبرتقالي وطوله الموجي ٥٦٠ نانومتر ، احسب أقل سمك للغشاء .

س٥ : أي من العلاقتين الآتيتين تستخدم لإيجاد سمك غشاء يحدث تداخلاً أقصى عندما ينعكس عنه الضوء :

أ. $٢ ف = (ن + \frac{١}{٢}) \frac{\lambda}{م}$

ب. $٢ ف = ن \frac{\lambda}{م}$

أ- عندما يكون الضوء قادماً من الهواء ، وينعكس عن فقاعة صابون في الهواء كذلك؟

ب- عندما يكون الضوء قاد ماً من الهواء ، وينعكس عن فقاعة صابون على قاعدة زجاجية؟

جـ- عندما يكون الضوء قادماً من الزجاج وينعكس عن فقاعة الصابون الموجودة في الهواء في الجهة الأخرى ، علماً بأن معامل انكسار فقاعة الصابون أقل من معامل انكسار الزجاج؟

أسئلة الوحدة

س ١ : ماذا نعني بكل مما يأتي :

الحركة التوافقية البسيطة ، الطول الموجي ، قانون سنل؟

س٢ : أي العبارات الآتية صائبة ، وأيها خاطئة؟ ثم صوب الخاطئة منها .

١- يكون التسارع لجسيم يتحرك حركة توافقية بسيطة في نفس اتجاه الإزاحة الحاصلة للجسيم .

٢- السرعة للضوء في جميع الأوساط ثابتة ، وتساوي ٣×١٠^٨ م/ ث .

٣- عندما ينتقل الضوء من وسط لآخر يختلف عنه في معامل الانكسار فإن الطول الموجي يتغير .

٤- يستخدم فلوريد المغنيسيوم MgF_2 في طلاء الأدوات البصرية لزيادة انعكاس الضوء عن سطوحها .

٥- ينص مبدأ هايجنز على أن كل نقطة على مقدمة الموجة تعد مصدراً ثانوياً للموجات المتولدة لاحقاً .

٦- تعد تجربة ينغ دليلاً على أن للضوء طبيعة جسيمية .

٧- يحصل التداخل والحيود لأمواج الضوء فقط دون سواها من أنواع الأمواج الأخرى .

س٣ : أ- ما العوامل التي تحدد الزمن الدوري في حركة البندول؟

ب- ما العوامل التي تعتمد عليها سرعة الموجات(الاضطرابات) في وسط ميكانيكي؟

جـ- ما العوامل التي تعتمد عليها القدرة للموجات الميكانيكية في حبل مشدود؟

س ٤ : علل العبارات الآتية :

١- نشاهد أحياناً بعض المناطق الملونة على أرضية الشارع .

٢- نستطيع سماع الصوت القادم من فتحة ضيقة في باب غرفة ، دون أن يكون المصدر على خط مستقيم منا .

٣- يمكن مشاهدة التداخل والحيود في حوض الأمواج بسهولة ، ولكن من الصعب مشاهدة ذلك للضوء .

٤- تطلى الأدوات البصرية في كثير من الحالات بأغشية رقيقة من مواد معينة ، مثل فلوريد المغنيسيوم .

س ٥ : كتلة مقدارها ٢ , ٠ كغم مربوطة بنابض على سطح أفقي أملس ، ضغط النابض ١٠ سم عن موضع اتزانه ، وتركت الكتلة لتتحرك حركة توافقية بسيطة ، فكان ترددها ٥ هيرتز ، جد ما ياتي :

أ- ثابت المرونة للنابض

ب- أقصى سرعة تمتلكها الكتلة . وأين تحصل؟

جـ- أقصى تسارع ممكن . وأين يحصل؟

د- سرعة الجسم على بعد ٦ سم من موضع الاتزان .

س٦ : موجة مستعرضة في حبل مشدود توصف بالعلاقة :

ص = ٢٠سم جا (٤π س - ٢٠πز) ، حيث س تقاس بالسنتميتر ، و ز بالثانية ، جد ما يأتي :

أ- الزمن الدوري .

ب- الطول الموجي .

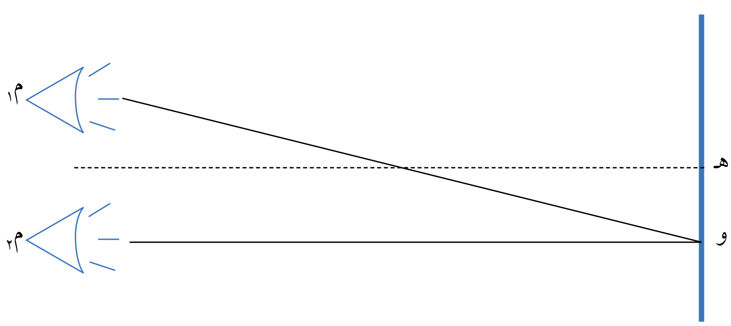
جـ- سرعة انتشار الموجة .

د- إزاحة الموجة في اللحظة ز = ٠ ثانية والموضع س = ٨ سم .

س٧ : الشكل المجاور يبين سماعتين تعملان من نفس المصدر ، وعلى تردد ١٧٠ هيرتز ، إذا كانت سرعة الصوت تساوي ٣٤٠م/ ث .

١- ما نوع التداخل عند النقطة (هـ)؟ المسافة م$_{١}$ و= ١٨م ، م$_{٢}$ و =١٥م .

٢- ما نوع التداخل عند النقطة (و)؟



الوحـــدة

٣

الديناميكا الحرارية

(Thermodynamics)

١ نظرية الحركة الجزيئية للغازات

عندما يتحدث العلماء عن المادة فإنهم يعنون كلّ شيء في الكون من أصغر هباءة غبار إلى أضخم نجم في الفضاء، والمادة هي كل شيء له كتلة ويشغل حيزاً .

وتتألف المادة من جسيمات دقيقة، وهذه الجسيمات في حركة دائمة عشوائية سواءً أكانت المادة في الحالة الصلبة أم السائلة أم الغازية، وهذا يدعونا إلى التساؤل، لماذا توجد المادة في حالات مختلفة؟ كيف نفسر حدوث ظواهر طبيعية مثل التبخر، والغليان، والتجمد، والانتشار؟ لماذا تتبخر بعض المواد أسرع من الأخرى، وما العوامل التي تؤثر في درجة غليان السوائل؟

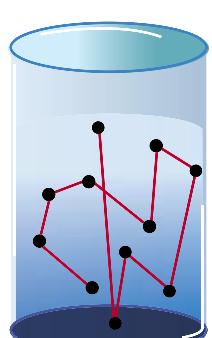
هذه الأسئلة، وغيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

١ . توضح المقصود بالحركة البراونية.
٢ . تتعرف فروض نظرية الحركة الجزيئية.
٣ . تعرف الغاز المثالي.
٤ . تذكر نص قانون أفوجادرو.
٥ . تشتق معادلة الغاز المثالي، وتستخدمها في حل مسائل عددية.
٦ . تستنتج العلاقة بين ضغط الغاز والطاقة الحركية لجزيئات الغاز.
٧ . تستنتج العلاقة بين درجة حرارة الغاز والطاقة الحركية لجزيئات الغاز.
٨ . توضح المقصود بمتوسط المسار الحر للجزيء.
٩ . تحسب متوسط المسار الحر لجزيئات الغاز.
١٠ . تفسر بعض الظواهر الطبيعية بالاعتماد على نظرية الحركة الجزيئية.

١ - ١ الحركة البراونية Brownian Motion

درست سابقاً أن المادة توجد في حالة من الحالات الفيزيائية الثلاث: الغازية، والسائلة، والصلبة، ومن الأمثلة على ذلك غاز ثاني أكسيد الكربون، والماء، والسكر. وقد تتساءل: لماذا يوجد ثاني أكسيد الكربون في الظروف العادية في الحالة الغازية بينما يوجد الماء في الحالة السائلة؟ وما علاقة ذلك بقوى التجاذب بين الجزيئات؟

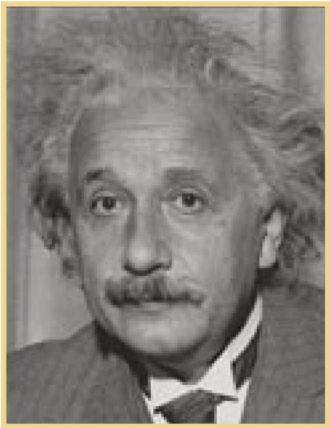
في عام ١٨٢٨م لاحظ العالم روبرت براون حركة دائمة وعشوائية لحبيبات لقاح صغيرة معلقة في الماء كما في الشكل (١).



الشكل (١): الحركة العشوائية لحبيبة لقاح في الماء

في عام ١٩٠٥م طور العالم ألبرت آينشتاين نظرية أطلق عليها اسم الحركة البراونية تكريماً للعالم براون، وفسر آينشتاين الحركة بافتراض أن حبوب اللقاح تتعرض إلى تصادمات من جزيئات غير مرئية، وهذه الأخيرة تتحرك حركة عشوائية، وأدت هذه الملاحظة وتفسير آينشتاين لها إلى تحديد صفات الحركة البراونية بما يأتي:

- لا تعتمد حركة الجزيئات على شكل الوعاء.
- تزداد سرعة الجزيئات بنقصان لزوجة السائل.
- تعتمد سرعة الجزيئات على نوع مادة السائل.
- تختلف سرعة الجزيئات من مادة إلى أخرى.



العالم الفيزيائي إلبرت آينشتاين
١٨٧٨ - ١٩٥٦م

١ ـ ٢ فروض نظرية الحركة الجزيئية

تعتمد لزوجة السائل على قوة الاحتكاك الداخلي بين جزيئات وطبقات السائل أثناء جريانه.

بنى العلماء نظرية الحركة الجزيئية على مجموعة من الفروض التي استقوها من مشاهدات متعددة، ولتوضيح هذه الفروض قم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط (١): انتشار الغازات

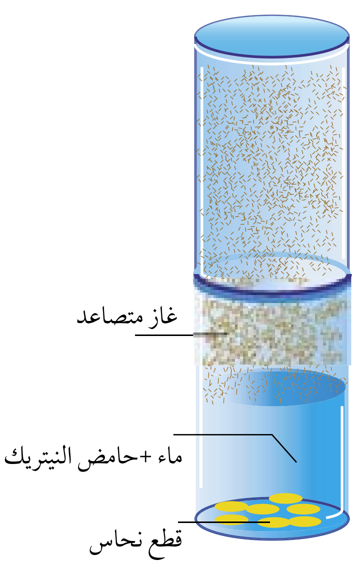
المواد والأدوات: أنبوبان زجاجيان لجمع الغاز، وحامض نيتريك مركز، وماء، وقطع صغيرة من النحاس.

خطوات العمل:

١. املأ أحد الأنبوبين بالماء إلى ثلثه.
٢. أضف إلى تلك الكمية من الماء كمية من الحامض مساوية لها.

إحذر: أضف الحامض إلى الماء، وليس العكس.

٣. أسقط بعض قطع النحاس بحذر في الأنبوب.
٤. غطِّ الأنبوب بالأنبوب الآخر كما في الشكل (٢).



الشكل (٢): انتشار الغازات

لعلك لاحظت تكون غاز بنيّ في الأنبوب السفلي، ويلون بشكل تدريجي الأنبوب العلوي. نستنتج من ذلك أن الجزيئات تتحرك في جميع الاتجاهات، ويمكن تفسير بطء حركة هذه الجزيئات بوجود تصادمات مستمرة تحدث بينها.

لقد استطاع العلماء تطوير المفاهيم حول حركة الجزيئات إلى نظرية الحركة الجزيئية، وتستند هذه النظرية على الفرضيات الآتية:

أ. يتكون الغاز النقي من عدد هائل من الجزيئات المتماثلة في الشكل والكتلة، وتخضع الجزيئات في حركتها لقوانين نيوتن في الحركة.

ب. تتحرك الجزيئات عشوائياً في جميع الاتجاهات وبشكل متجانس في أثناء حركتها تتصادم تصادمات مرنة مع جدران الوعاء الذي يحتويها كما أن الجزيئات تتحرك قبل التصادم وبعده في خطوط مستقيمة وبسرعات في المتوسط كبيرة، انظر الجدول (١).

ج. أبعاد الجزيئات (أقطارها) صغيرة جداً مقارنة مع المسافات التي تتحركها، كما أن قوى الجذب المتبادلة بين الجزيئات صغيرة جداً يمكن إهمالها مقارنة مع القوى الناتجة بينها أثناء التصادم.

د. تقتصر حركة هذه الجزيئات على الحركة الانتقالية فقط بحيث يمكن اعتبار طاقة الجزيء طاقة حركية فقط (ط $=\frac{1}{2}$ ك ع^{2})، حيث ط: طاقة الحركة، ك: كتلة الجزيء، ع: سرعة الجزيء، وتكون هذه الحركة عشوائية.

الغاز	متوسط السرعة م/ث
الهيدروجين	١٩٠٢
الهيليوم	١٣٥٢
النيون	٦٠٣
ثاني أكسيد الكربون	٤٠٨

جدول (١): متوسط سرعة جزيئات بعض الغازات عند درجة ٢٠ ْس

هل تعلم؟

- الانتشار المتجانس يعني أن عدد الجزيئات في حجم معين يساوي نفس العدد من الجزيئات في أي حجم آخر مساوٍ له.

قوة الجذب المتبادلة بين جزيئين من الهيدروجين صغيرة جداً، وتساوي ١٠$^{-٤٢}$ نيوتن.

١ ـ ٣ معادلة الغاز المثالي

لا يوجد غاز تنطبق عليه جميع الفرضيات السابقة، غير أنه في بعض الغازات، مثل الهيدروجين، والأكسجين والهيليوم، وتحت شروط محددة من الضغط ودرجة الحرارة (درجة حرارة عالية وضغط منخفض)، فإنه يمكن أن نعدّها غازات مثالية، وتنطبق الفرضيات السابقة على الغاز المثالي.

للتوصل إلى معادلة الغاز المثالي سندرس أربعة قوانين تجريبية تحكم سلوك الغازات.

قانون أفوجادرو Avogadro's Law:

في عام ١٨١١م وضع العالم الإيطالي أفوجادرو فرضه الذي أكدته بعد ذلك الكثير من التجارب، وينص على الآتي:

> يتناسب حجم الغاز مع عدد المولات الموجودة فيه تحت الظروف الثابتة من الضغط ودرجة الحرارة

أي أن: ح α ن

وقد وجد أن المول الواحد من أي غاز يشغل حجماً مقداره ٢٢,٤ لتراً في الظروف القياسية من الضغط ودرجة الحرارة، وهي ضغط جوي واحد ودرجة حرارة ٢٧٣ ْك، كما وجد أن المول الواحد من أي غاز يحتوي على عدد ثابت من الجزيئات يساوي ٦,٠٢ × ١٠^{٢٣}، وأطلق على هذا الرقم عدد أفوجادرو ($\aleph$).

ولحساب عدد الجزيئات في كمية معينة من الغاز فإننا نوجد حاصل ضرب عدد مولات الغاز في عدد أفوجادرو.

مثال (١):

ما عدد الجزيئات الموجودة في ٦٤غم من الأكسجين، إذا علمت أن الكتلة المولية للأكسجين ٣٢غم .

الحل:

$$ن = \frac{\text{كتلة الغاز}}{\text{الكتلة المولدة للغاز}} = \frac{٦٤}{٣٢} = ٢\text{مول}$$

عدد الجزيئات = ٢مول x ٦,٠٢ x ١٠^{٢٣} جزيء/ مول

= ١,٢ x ١٠^{٢٤}جزيء.

تغيرات الضغط - الحجم (قانون بويل)

ماذا يحدث لحجم غاز محصور إذا زاد الضغط المؤثر عليه عند ثبوت درجة حرارته؟

لكي تتعرف ذلك قم بإجراء النشاط الآتي :

نشاط (٢): قانون بويل

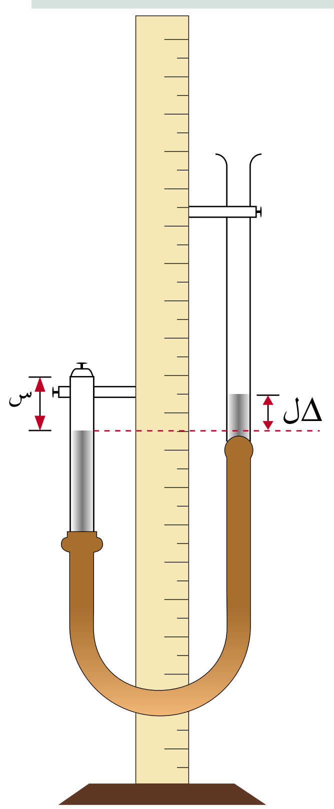
المواد والأدوات : أنبوب زجاجي مغلق، وآخر مفتوح الطرفين، وأنبوب مطاطي، وزئبق.

خطوات العمل :

١. ركب الأدوات كما هو مبين في الشكل(٣).
٢. اسكب الزئبق في الأنبوب الزجاجي المفتوح؛ كي يرتفع في الأنبوب المغلق ويحصر كمية من الهواء فيه.
٣. حرك الأنبوب المفتوح رأسياً إلى الأسفل مع إبقاء الأنبوب المغلق ثابتاً حتى يظهر مستوى الزئبق في الأنبوبين، وسجل مقدار الفرق في مستوى الزئبق بينهما (Δل)، وطول عمود الهواء في الأنبوب (س).
٤. غير ارتفاع الأنبوب المفتوح، وسجل في كل حالة مقدار (Δل) و(س)، ورتب النتائج في الجدول الآتي :

Δل (سم)					
س (سم)					

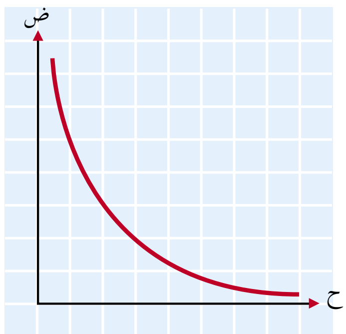
٥. مثل بيانياً العلاقة بين (Δل) و (س) ، ماذا تستنتج؟



الشكل(٣): قانون بويل

٦. مثل بيانياً العلاقة بين (Δل) و ($\frac{١}{\text{س}}$) ما شكل العلاقة التي حصلت عليها؟

٧. حيث أن ضغط الغاز يتناسب طردياً مع (Δل) ، وحجم الغاز المحصور يتناسب طردياً مع (س) . ماذا تستنتج بخصوص العلاقة بين ضغط الغاز وحجمه؟ قارن نتائجك مع الرسومات البيانية في الشكل(٤) .



الشكل(٤-أ) : علاقة الضغط مع الحجم

ضغط الزئبق عند المستوى أ يساوي

Δل × ث × جـ حيث :

ث : كثافة الزئبق .

جـ : تسارع الجاذبية الأرضية .

من النشاط السابق نستنتج قانون بويل الذي ينص على ما يأتي :

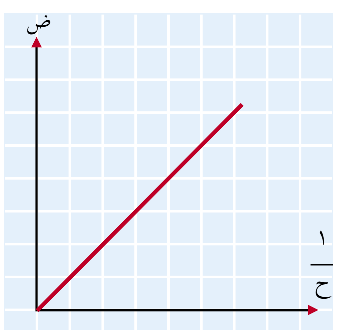
يتناسب ضغط غاز محصور تناسباً عكسياً مع حجمه عند ثبوت درجة حرارته .

ويمكن التعبير عن ذلك رياضياً كما يأتي :

الضغط× الحجم = ثابت ، وبالرموز : ض × ح = ث ، حيث ث ثابت يعتمد على درجة الحرارة وعدد المولات .

إذا كان لدينا غاز محصور حجمه ح$_{١}$ وضغطه ض$_{١}$ ، ثم أصبح ضغطه ض$_{٢}$ ، وحجمه ح$_{٢}$ ، فإنه يمكننا التعبير عن قانون بويل كما يأتي :

ح$_{١}$ ض$_{١}$ = ح$_{٢}$ ض$_{٢}$ .... (١)



الشكل(٤-ب) : علاقة الضغط مع معكوس الحجم

مثال (٢)

غاز محصور حجمه ٠,١ لتر وضغطه واحد ضغط جوي ، تمدد حتى أصبح حجمه ٠,٣ لتر ، فكم يصبح ضغطه .

الحل:

ض$_{١}$ح$_{١}$ = ض$_{٢}$ح$_{٢}$

١×٠,١ = ض$_{٢}$ × ٠,٣ ، أي أن ض$_{٢}$ = $\frac{١}{٣}$ ضغط جوي

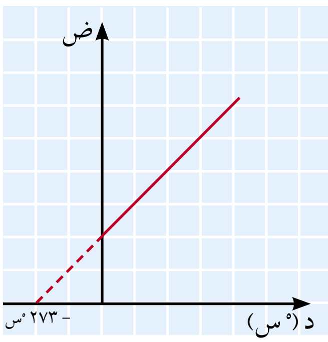
تغيرات درجة الحرارة:

إذا تغيرت درجة حرارة الغاز أصبح قانون بويل غير قابل للتطبيق ويوصف عند إذن سلوك الغاز بمعادلتين منفصلتين ، هما :

أ. **قانون الضغط (غايلوساك) .**

تبين لنا من قانون بويل أن ضغط الغاز المحصور يزداد كلما قل حجمه عند ثبوت درجة حرارته ونتساءَل الآن : ما علاقة ضغط الغاز المحصور مع درجة حرارته عند ثبوت حجمه؟

قام العالم غايلوساك بإجراء تجارب عديدة ودقيقة توصل في نهايتها إلى أن ضغط الغاز المحصور يزداد عندما ترتفع درجة حرارته إذا بقي حجمه ثابتاً، وقد وجد غايلوساك أن ضغط الغاز المحصور يزداد بمقدار $\frac{١}{٢٧٣}$ من ضغطه الأصلي عند ارتفاع درجة حرارته بمقدار درجة سلسيوس واحدة، والشكل (٥) يوضح العلاقة بين ضغط الغاز المحصور ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه.



الشكل (٥): علاقة الضغط مع درجة الحرارة

د (°ك) = °س + ٢٧٣

وقد صاغ غايلوساك قانونه بالشكل الآتي:

يتناسب ضغط غاز محصور تناسباً طردياً مع درجة حرارته عند ثبوت حجمه.

أي أن $\frac{\text{ضغط الغاز المحصور}}{\text{درجة الحرارة المطلقة}}$ = ثابت، رياضياً: $\frac{\text{ض}}{\text{د}} = \text{ثَ}$.

وبعبارة أخرى، إذا تغيرت درجة حرارة غاز محصور من د_1 إلى د_2 فإن ضغطه يتغير نتيجة لذلك من ض_1 إلى ض_2، وبفرض بقاء الحجم ثابتاً فإننا نكتب قانون غايلوساك كما يأتي:

$$\frac{\text{ض}_1}{\text{د}_1} = \frac{\text{ض}_2}{\text{د}_2} \quad .... (٢)$$

نلاحظ من الشكل أعلاه أن امتداد منحنى العلاقة يقطع محور درجة الحرارة عند درجة −٢٧٣ °س وتسمى هذه الدرجة درجة الصفر المطلق.

مثال (٣)

غاز محصور داخل وعاء ثابت الحجم، وتحت ضغط ١٠٠ سم زئبق، وبدرجة حرارة ٢٧ °س. احسب ضغط الغاز إذا أصبحت درجة حرارته ١٢٧ °س.

الحل:

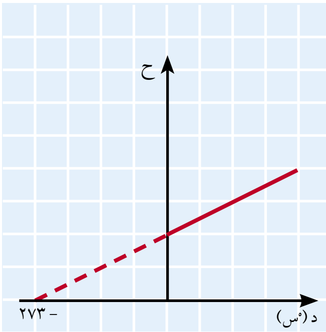
$$\frac{\text{ض}_1}{\text{د}_1} = \frac{\text{ض}_2}{\text{د}_2} \Leftarrow \frac{١٠٠}{٢٧+٢٧٣} = \frac{\text{ض}_2}{١٢٧+٢٧٣}$$

$$\frac{١٠٠}{٣٠٠} = \frac{\text{ض}_2}{٤٠٠} \Leftarrow \text{ض}_2 = \frac{١٠٠\times٤٠٠}{٣٠٠} = ١٣٣,٣ \text{ سم زئبق}$$

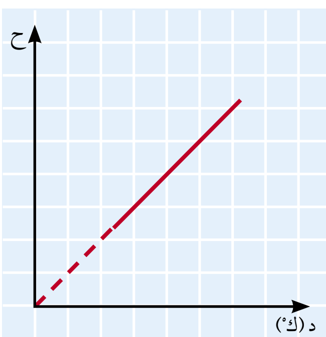
ب. قانون الحجم (شارل)

لقد تبين لنا أن ضغط الغاز المحصور يتناسب عكسياً مع حجمه عند ثبوت درجة الحرارة، وأن ضغط الغاز يتناسب طردياً مع درجة الحرارة المطلقة. ونتساءَل الآن عن العلاقة بين حجم الغاز المحصور ودرجة حرارته.
لقد قام العالم الفيزيائي شارل بإجراء تجارب دقيقة أوضحت العلاقة بين حجم كمية من غاز محصور ودرجة حرارته المطلقه.

وقد تبين عند إجراء هذه التجارب أن ارتفاع درجة حرارة الغاز المحصور بمقدار درجة سلسيوس واحدة تؤدي إلى زيادة حجم الغاز المحصور بمقدار $\frac{١}{٢٧٣}$ من حجمه الأصلي عند درجة صفر سلسيوس مع مراعاة بقاء الضغط ثابتاً، والشكل (٦) يوضح العلاقة بين حجم غاز محصور ودرجة حرارته، ومن الشكل نلاحظ أن العلاقة بين حجم غاز محصور ودرجة حرارته هي علاقة خطية، وعند مد الخط على استقامته نجد أنه يقطع محور درجة الحرارة عند (-٢٧٣°س)، ويؤول حجم الغاز المحصور عند هذه الدرجة إلى الصفر وتسمى هذه الدرجة (درجة الصفر المطلق)°ك. لاحظ الشكل (٧) الذي يمثل العلاقة بين حجم غاز محصور ودرجة حرارته المطلقة.



الشكل(٦): قانون شارل



الشكل(٧): قانون شارل

ولقد صاغ شارل هذه العلاقة على النحو الآتي:

> يتناسب حجم الغاز المحصور تناسباً طردياً مع درجة حرارته المطلقة عند ثبوت ضغطه.

أي أن:

$$\frac{\text{حجم الغاز المحصور}}{\text{درجة الحرارة المطلقة}} = \text{ثابت، رياضياً: } \frac{ح}{د} = ث.$$

وإذا كانت درجة حرارة غاز محصور ($د_١$) وحجمه ($ح_١$) ثم تغيرت درجة حرارته إلى ($د_٢$) وأصبح حجمه ($ح_٢$) عند ثبوت ضغطه فإنه يمكننا التعبير عن قانون شارل كما يلي:

$$\frac{ح_١}{د_١} = \frac{ح_٢}{د_٢} \quad ....(٣)$$

مثال (٤)

يشغل غاز محصور حيزاً حجمه ٩لتر بدرجة ١٠٠°س، ماذا يصبح حجم الغاز عند درجة صفر سلسيوس إذا بقي ضغطه ثابتاً؟

الحل:

$$\frac{ح_١}{د_١} = \frac{ح_٢}{د_٢}$$

$$\frac{٩}{١٠٠+٢٧٣} = \frac{ح_٢}{٠+٢٧٣} \Leftarrow ح_٢ = \frac{٢٧٣\times٩}{٣٧٣} = ٦,٥٩ \text{ لتر}$$

وبدمج قوانين الغازات السابقة (بويل - شارل - غايلوساك) نحصل على معادلة الغاز المثالي:

ض x ح = ن x أ x د .... (٤)

حيث:

د: درجة الحرارة المطلقة وتقاس بالكلفن (°ك)

ن: عدد مولات الغاز، وتحسب من العلاقة: $ن = \frac{\text{كتلة الغاز}}{\text{الكتلة المولية للغاز}}$

ح: حجم الغاز المحصور، ض: ضغط الغاز المحصور.

أ: ثابت الغاز العام ويساوي ٠,٠٨٢١ لتر ضغط جوي/°ك . مول

إذا كانت كتلة الغاز ثابتة (عدد المولات ثابت) فإن معادلة الغاز المثالي تصبح على الصورة:

$\frac{ض ح}{د}$ = ثابت، ومنها:

$\frac{ض_١ ح_١}{د_١} = \frac{ض_٢ ح_٢}{د_٢}$ .... (٥)

سؤال

أوجد مقدار ثابت الغاز العام بالوحدات المترية (جول/°ك . مول).

مثال (٥):

ما الحجم الذي يشغله ٦٤ غم من الأكسجين في درجة حرارة ٢٧ °س وتحت ضغط ٠,٢ x ١٠° باسكال إذا علمت أن الكتلة المولية للأكسجين ٣٢ غم، وأن ثابت الغاز العام يساوي ٨,٣١٤ جول/°ك . مول.

الحل:

$ن = \frac{\text{كتلة الغاز}}{\text{الكتلة المولية للغاز}} = \frac{٦٤}{٣٢} = ٢ \text{ مول}$

ح x ض = ن x أ x د

$ح = \frac{ن \times أ \times د}{ض} = \frac{٢ \times ٨,٣١٤ \times ٣٠٠}{٠,٢ \times ١٠^٥} = ٠,٢٥ \text{م}^٣$

مثال (٦):

كمية من غاز مثالي حجمها ٢٠٠ سم^٣، ودرجة حرارتها ٣٧°س، وضغطها يساوي ١ ضغط جوي، كم يصبح ضغطها إذا انخفضت درجة حرارتها إلى ٢٧ °س وزاد حجمها إلى ٣٠٠ سم^٣

الحل:

$$\frac{ض_1 ح_1}{د_1} = \frac{ض_2 ح_2}{د_2}$$

$$\frac{1 \times 2 \times 10^{-4}}{37+273} = \frac{ض_2 \times 3 \times 10^{-4}}{27+273} \text{ ، } ض_2 = 0{,}65 \text{ ضغط جوي .}$$

١ - ٤ ضغط الغاز طبقاً للنظرية الحركية للغازات

ينشأ ضغط الغاز طبقاً للنظرية الحركية للغازات نتيجة اصطدام جزيئات الغاز المتحركة بجدران الإناء الذي يحتويه ؛ فعندما تصطدم الجزيئات بالجدار فإنها تؤثر بقوة على هذا الجدار وينشأ عنها ضغط.

لو افترضنا أن جزيء كتلته (ك) ومتوسط سرعته (ع)، فإن طاقته الحركية تعطى بالعلاقة الآتية :

$$ط_ح = \frac{1}{2} ك ع^2 .$$

وبالاعتماد على قوانين نيوتن في الحركة وبعض المفاهيم في علم الميكانيكا، مثل كمية التحرك والتصادمات، أمكن التوصل إلى علاقة تربط بين ضغط الغاز ومعدل طاقة جزيئاته الحركية، فقد وجد أنه عند ثبوت الحجم فإن ضغط الغاز يساوي ثلثي متوسط الطاقة الحركية للجزيئات في وحدة الحجوم، أي أن

جزيئات الغازات المختلفة لها نفس معدل الطاقة الحركية على نفس درجة الحرارة.

$$ض = \frac{2}{3} \bar{ط}_ح ن_1 \quad \text{.............................. (٦)}$$

حيث $\bar{ط}_ح$ متوسط الطاقة الحركية للجزيء، $ن_1$ عدد الجزيئات في وحدة الحجوم.

١ - ٥ درجة حرارة الغاز

من العلاقة السابقة يتبين لنا أن ضغط الغاز المحصور يتناسب مع معدل الطاقة الحركية للجزيئات. وقد عرفنا سابقاً أنه عند ثبوت حجم الغاز فإن ضغط الغاز يتناسب طردياً مع درجة حرارته المطلقة (قانون غايلو ساك)، وهذا يوصلنا إلى أن درجة الحرارة المطلقة للغاز تتناسب طردياً مع معدل الطاقة الحركية لجزيئاته، وبناءً عليه وحسب النظرية الحركية للغازات فإن درجة حرارة الغاز تعدّ مقياساً لمعدل طاقة حركة جزيئات الغاز.

لو افترضنا أن لدينا مولاً واحداً من غاز، فإن عدد جزيئاته يساوي عدد أفوجادرو (κ)، أي أن : $ن_1 = \frac{\kappa}{ح}$،

وبتطبيق المعادلة رقم (٦) نحصل على :

$$ض ح = \frac{2}{3} \bar{ط}_ح \kappa$$

وبالرجوع إلى معادلة الغاز المثالي : ض ح = أ د ، فإن :

$$\bar{ط}_ح = \frac{3}{2} \frac{أ}{\kappa} د$$

وحيث أن أ هو ثابت الغاز ، و K هو عدد أفوجادرو ، فإن $\frac{أ}{K}$ ثابت جديد ، وقد أطلق على هذا الثابت ثابت بولتزمان(β) ، ويساوي ١,٣٨ x ١٠^-٢٣^ جول/ كلفن ، وعليه فإن متوسط الطاقة الحركية للجزيء تساوي :

$$\bar{ط}_{ح} = \frac{٣}{٢} \beta \, د \quad \text{.......................} (٧)$$

من العلاقة السابقة يمكننا التوصل إلى علاقة بين معدل سرعة الجزيئات ودرجة الحرارة كما يأتي :

$$\frac{١}{٢} ك \, \overline{(ع^٢)} = \frac{٣}{٢} \beta \, د$$

$$ع_{ر} = \sqrt{\overline{(ع^٢)}} = \sqrt{\frac{٣ \beta د}{ك}} = \sqrt{\frac{٣ أ د}{ك_{م}}} \quad \text{..................} (٨)$$

حيث $ك_{م}$ (الكتلة المولية للغاز) = كتلة الجزيء x عدد أفوجادرو

١ - ٦ معادلة الغاز الحقيقي

لم تستطع النظرية الحركية للغازات تفسير حيود الغازات عن معادلة الغاز المثالي عند الضغوط العالية أو درجات الحرارة المنخفضة وذلك للأسباب الآتية :

١ . أهملت النظرية الحركية ، حجم جزيئات الغاز بالنسبة لحجم الوعاء الذي يشغله ، إلا أنه عند الضغوط العالية أو درجات الحرارة المنخفضة يتقلص الحجم الذي يشغله الغاز ، ولا يمكن إهمال حجم جزيئات الغاز بالنسبة لحجم الوعاء الذي يشغله.

٢ . أهملت النظرية الحركية أيضاً في فروضها قوى التجاذب بين جزيئات الغاز ، وهذا يمكن قبوله عند درجات الحرارة العالية والضغوط المنخفضة ، ففي هذه الحالة تكون المسافات بين جزيئات الغاز كبيرة بدرجة تجعل قوى التجاذب هذه غير مؤثرة ، إلا أنه عند درجات الحرارة المنخفضة والضغوط العالية ، يتقلص الحجم الذي تشغله جزيئات الغاز وتتقارب الجزيئات من بعضها ، وتقل المسافات بينها بدرجة تجعل هذه القوى تبدأ في التأثير ، وبذلك فإن الطاقة الكلية لا تكون هي طاقة الحركة فقط وإنما تتوزع بين طاقتي الوضع والحركة.

هل تعلم؟
تفيد معادلة فاندرفالز في وصف خصائص الغازات وتفسيرها مثل اللزوجة والإنتشار والتوصل إلى قيم تجريبية لأبعاد جزيئات الغاز.

قام العالم فاندرفالز (van der Waals) بتعديل معادلة الغاز المثالي ، لكي تصبح صالحة للتطبيق على الغازات الحقيقية ، وقد أدخل عليها تعديلين : أحدهما للضغط ، والآخر للحجم ؛ لتصبح كما يأتي :

$$(ض + س \frac{ن^٢}{ح^٢})(ح - ن \, ص) = ن \, أ \, د \quad \text{......................} (٩)$$

حيث : س : معامل تصحيح الضغط ، ص : معامل تصحيح الحجم.

والجدول (٢) يبين قيم (س، ص) التجريبية لبعض الغازات.

اسم الغاز	الرمز	س (جول م^{٣}/ مول^{٢})	ص (م^{٣}/ مول)
الهيدروجين	H_2	٠,٠٢٤٧	٢,٦٥ x ١٠$^{-٥}$
النيتروجين	N_2	٠,١٣٦١	٣,٨٥ x ١٠$^{-٥}$
الهيليوم	He	٠,٠٠٣٤١	٢,٣٤ x ١٠$^{-٥}$

الجدول (٢) : قيم (س، ص) التجريبية لبعض الغازات.

مثال (٧):

وضعت كمية من النيتروجين مقدارها ٥٦غم في أسطوانة حجمها ٠,١ م^{٣} تحت درجة حرارة ٢٧ ْس ، فإذا علمت أن كتلة المول الواحد من النيتروجين تساوي ٢٨غم ، احسب ضغط الغاز في الأسطوانة على اعتبار أن الغاز :

أ. مثالي .	ب. حقيقي

الحل:

عدد مولات الغاز = $\frac{٥٦}{٢٨}$ = ٢مول ، درجة الحرارة المطلقة (د) = ٢٧+٢٧٣=٣٠٠ ْك

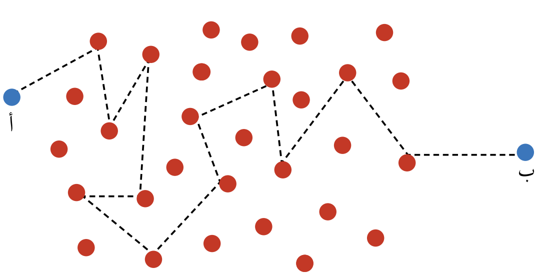
أ. الغاز مثالي: بالتعويض في معادلة الغاز المثالي، ض = $\frac{\text{ن أ د}}{\text{ح}} = \frac{٢ x ٨,٣١٤ x ٣٠٠}{٠,١}$ = ٤٩٨٨٤ باسكال

ب. الغاز حقيقي: بالتعويض في معادلة فاندرفالز، ض = $\frac{\text{ن أ د}}{\text{ح} - \text{ن ص}} - \text{س} \frac{\text{ن}^{٢}}{\text{ح}^{٢}}$

$$= \frac{٢ x ٨,٣١٤ x ٣٠٠}{٠,١ - ٢ x ٣,٨٥ x ١٠^{-٥}} - ٠,١٣٦١ \left(\frac{٢}{٠,١}\right)^{٢}$$

= ٤٩٨٦٨ باسكال

١ - ٧ المسار الحر للجزيء



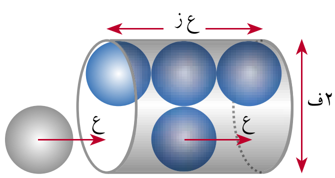
الشكل (٨) : تصادم جزيئات الغاز

تتحرك الجزيئات في الغاز حركة دائمة وعشوائية، وفي اثناء ذلك يصطدم بعضها ببعض وبجدران الوعاء الذي تتواجد فيه، كما في الشكل (٨)، فعندما يتحرك الجزيء من الموضع (أ) إلى الموضع (ب) يكون قد قام بعدد من التصادمات، ونلاحظ أن طول المسار الذي يسلكه الجزيء بين كل تصادمين متتاليين مختلف، ونستطيع نظرياً حساب متوسط طول المسار الحر بجمع أطوال المسارات

وقسمتها على عدد التصادمات، ويسمى متوسط المسافة التي يقطعها الجزيء بين تصادمين متتاليين بمتوسط طول المسار الحر للجزيء.

والآن ما هي العوامل التي يعتمد عليها متوسط طول المسار الحر للجزيء؟ وهل قيمته ثابتة لجميع الغازات؟ وهل تتغير قيمته بتغير الخصائص الفيزيائية للغاز كالكثافة مثلاً؟

لحساب متوسط طول المسار الحر للجزيء، نفترض أن لدينا جزيئاً قطره (ف) ويسير بسرعة متوسطة مقدارها (ع). فخلال فترة زمنية مقدارها (ز)، فإنه سيقطع مسافة مقدارها (ع ز)، ويقوم خلال ذلك بصدم جميع الجزيئات التي تقع مراكزها ضمن أسطوانة افتراضية طولها (ع ز)، ومساحة مقطعها العرضي π ف^{٢}، انظر الشكل (٩)، حيث تمثل هذه الأسطوانة الافتراضية جميع الجزيئات التي يحتمل أن يصطدم بها الجزيء خلال هذه الفترة، ويكون عدد التصادمات المحتملة مساوياً لعدد الجزيئات التي توجد في هذه الأسطوانة، ويمكن حسابها من العلاقة:



الشكل(٩): المسار الحر للجزيء

عدد التصادمات = عدد الجزيئات في الأسطوانة

= عدد الجزيئات في وحدة الحجوم x حجم الأسطوانة

= ن$_{١}$ x π ف^{٢} x ع ز

حيث ن$_{١}$: عدد الجزيئات في وحدة الحجوم، وبناء على التعريف السابق فإن :

$$\text{متوسط طول المسار الحر}\ (\lambda) = \frac{\text{المسافة الكلية المقطوعة}}{\text{عدد التصادمات}}$$

$$\lambda = \frac{\text{ع ز}}{(\text{ن}_{١} \times \pi \times \text{ف}^{٢} \times \text{ع ز})} = \frac{١}{\pi\ \text{ف}^{٢}\text{ن}_{١}}$$

هل تعلم؟

يبلغ متوسط طول المسار الحر لجزيئات الهواء على ارتفاع ١٠٠ كم حوالي ١ م، وعلى ارتفاع ٣٠٠ كم، حوالي ١٥ كم. هل تستطيع تفسير ذلك؟

وقد افترضنا عند اشتقاق هذه العلاقة أن جميع الجزيئات الأخرى تبقى ساكنة أثناء التصادم، أما إذا اعتبرنا ان هذه الجزيئات في حالة حركة كما في الوضع الطبيعي فلا بد من تعديل العلاقة السابقة لتصبح كما يأتي:

$$\lambda = \frac{١}{\sqrt{٢}\ \pi\ \text{ف}^{٢}\text{ن}_{١}} \quad \text{.........................} (١٠)$$

مثال (٨)

احسب متوسط طول المسار الحر لجزيئات الهواء في درجة الصفر سلسيوس وواحد ضغط جوي ($١,٠٣ \times ١٠^{٥}$ باسكال)، إذا علمت أن قطر الجزيء يساوي ٣×١٠^{-١٠}م، وعدد الجزيئات في وحدة الحجوم تساوي $٢,٧٣ \times ١٠^{٢٥}$ جزيء / م^{٣}.

الحل: $$\lambda = \frac{١}{\sqrt{٢}\ \pi\ \text{ف}^{٢}\text{ن}_{١}} = \frac{١}{\sqrt{٢}\ \pi\ (٣ \times ١٠^{-١٠})^{٢} \times ٢,٧٣ \times ١٠^{٢٥}} = ١,٠٣ \times ١٠^{-٧}\ \text{م}$$

١ - ٨ تفسير بعض الظواهر الطبيعية

١. التبخر والتكاثف:

إذا وضعت كمية من الكحول في وعاء صغير مكشوف، تلاحظ بعد فترة من الزمن أن كمية الكحول قد اختفت، فماذا حصل للكحول؟ وكيف تفسر اختفاءه؟

عرفت من نظرية الحركة الجزيئية أن المادة تتألف من جزيئات في حالة حركة عشوائية مستمرة وأنّها تمتلك طاقة حركية، وحيث أن سرعة جزيئاتها متفاوتة فإن الجزيئات التي تمتلك طاقة حركية عالية تستطيع التغلب على قوى التماسك بينها وبين الجزيئات الأخرى فتفلت من سطح السائل، وباستمرار تصادم الجزيئات أثناء حركتها تزداد الطاقة الحركية لجزيئات جديدة أخرى فتستطيع الإفلات من سطح السائل، وتستمر العملية حتى لا يبقى من السائل شيء، عندها نقول: أن السائل قد تبخر. ولكن ماذا يحدث إذا كان الوعاء مغلقاً؟ إن الجزيئات التي أفلتت من سطح السائل تبقى فوقه فتصطدم مع بعضها ببعض؛ مما يؤدي إلى انخفاض طاقة بعضها فتعود إلى سطح السائل ثانية، وتسمى عودة الجزيئات الى السائل عملية التكاثف، وعندما يصبح معدل تبخر السائل مساوياً لمعدل تكاثف بخاره نقول: إن السائل في حالة اتزان مع بخاره، ويكون هذا الاتزان ديناميكياً، بمعنى استمرار عمليتي التبخر والتكاثف.

٢- الغليان:

تعلمت سابقاً أن السائل عندما يبدأ بالتحول من حالة السيولة إلى الحالة الغازية تبقى درجة حرارته ثابتة عند درجة معينة تعرف بدرجة الغليان، عندها تزداد سرعة تكون الفقاعات في جميع أجزاء السائل. إذا راقبت وعاء زجاجي يغلي فيه ماء لاحظت تكون فقاعات غاز في أسفل الوعاء، ثم تبدأ في الارتفاع إلى أعلى وأثناء ارتفاعها يزداد حجمها، إلى أن تصل سطح السائل، فكيف نفسر ذلك بالاعتماد على نظرية الحركة الجزيئية؟

إن الماء يحتوي على هواء مذاب ونتيجة للتسخين تتكون فقاعات تحتوي على هواء وبخار ماء، تكون في حالة حركة مستمرة، ويكبر حجمها إلى أن يصبح ضغطها الداخلي مساوياً للضغط الخارجي، عندها تبدأ الحركة لأعلى، ويزداد حجمها مع الارتفاع، وعندما تصل الفقاعة سطح الماء تنفجر ويتصاعد منها بخار الماء فوق السطح، وهنا نقول: إن الماء بدأ بالغليان.

س١ : وضح المقصود بكل مما يأتي :
الحركة البراونية ، الغاز المثالي ، متوسط طول المسار الحر للجزيء .

س٢ : علل كلا مما يأتي :
١) لا تنطبق معادلة الغاز المثالي على الغاز إذا كان ضغطه كبيراً، ودرجة حرارته منخفضة .
٢) تثبت درجة حرارة السائل أثناء غليانه ، وتنخفض أثناء تبخره .
٣) ينصهر الجليد على درجات حرارة أقل من الصفر المئوي إذا ازداد الضغط الواقع عليه .
٤) لا يغلي الماء عند درجة الحرارة نفسها في القدس وأريحا .
٥) تعمل طناجر الضغط على انضاج الطعام بزمن أقل مقارنة بالطناجر العادية ، إذا استخدم مصدر الحرارة نفسه ، ولنفس الزمن .
٦) يمكن للماء أن يتجمد ودرجة حرارته أعلى من درجة صفر سلسيوس .
٧) يمكن للماء أن يغلي على درجة(٢٠)°س دون تسخين .

س٣ : فسر كلاً مما يأتي بناء على نظرية الحركة الجزيئية :
ضغط الغاز ، درجة حرارة الغاز

س٤ : كمية من غاز محصور حجمها ٦٠سم^{٣} بدرجة ٧٢°س وضغط ٥٧ سم زئبق . كم يصبح الحجم :
١) إذا أصبحت درجة حرارته ١٠٠ °س مع بقاء ضغطه ثابتاً؟
٢) اذا أصبحت درجة حرارته ١٠٠ °س وازداد ضغطه ليصبح ١٠٠ سم زئبق؟

س٥ : احسب عدد المولات التي تحتويها كمية من غاز مثالي محصور ، ، حجمها يساوي ٥٠ لتراً، وضغطها يساوي ١,٢ x ١٠^{٥} باسكال بدرجة ٧٢°س .

س٦ : كمية من غازالهيدروجين محصور في إناء حجمه ١٠ لتر ، ودرجة حرارته ٧٢ °س . احسب الضغط الناشئ عن مول واحد من هذا الغاز ، إذا اعتبرنا الغاز :
١) مثاليا ٢) حقيقيا

س٧ : بناء على نظرية الحركة الجزيئية قارن بين جزيئات غازي الهيدروجين والنيتروجين من حيث :

أ) الكتلة ب) السرعة ج) الطاقة الحركية .

على فرض أن لهما نفس درجة الحرارة .

س٨ : جمعت كمية من الأكسجين كتلتها ٠,٦٤ كغم في أسطوانة حجمها ٠,٥ م^{٣}، بدرجة ٢٧°س . احسب الضغط داخل الأسطوانة إذا علمت أن الكتلة المولية للأكسجين تساوي ٣٢ غم، وأن ثابت الغاز العام = ٨,٣١٤ جول/ ك . مول .

س٩ : غاز محصور في أسطوانة تحت حجم ثابت، فإذا علمت أن نصف قطر جزيء الغاز المحصور ٣x١٠$^{-١٠}$م، وكثافته الجزيئية ٣ x ١٠^{٢٥} جزيء/ م^{٣} ومتوسط سرعة حركة الجزيء ٥٠٠ م/ ث احسب :

١- طول متوسط المسار الحر للجزيء .

٢- عدد التصادمات التي يحدثها الجزيء في الثانية الواحدة .

س١٠ : فقاعة هوائية في قاع بحيرة على عمق ٤٠ م حيث درجة الحرارة ٤°س حجم الفقاعة ٢٠ سم^{٣}، ارتفعت الفقاعة إلى السطح حيث درجة الحرارة ٧°س احسب حجم الفقاعة عند السطح .

٢ قوانين التحريك الحراري

يُعنى علم التحريك الحراري بدراسة الطرق الفيزيائية المتعلقة بالحرارة والشغل والطاقة الداخلية للمادة. فعند تلامس جسمين، أحدهما ساخن، والآخر بارد، فإن الحرارة تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم البارد حتى تتساوى درجة حرارتيهما.

وتعمل الحرارة التي اكتسبها الجسم البارد على زيادة الطاقة الداخلية له، حيث ينتج عن ذلك ارتفاع في درجة حرارته أو تغير في حالته، كما أن فقدان الجسم الساخن للحرارة ينقص من الطاقة الداخلية له، وينتج عنه انخفاض في درجة حرارته أو تغير في حالته، فما العلاقة بين كمية الحرارة المكتسبة والمفقودة والتغير في الطاقة الداخلية للمادة؟ وما الطرق التي يمكن بها زيادة أو إنقاص الطاقة الداخلية للمادة؟

هذه الأسئلة، وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عنها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

١. تعرف مفهوم النظام الحراري.
٢. توضح مفهوم الطاقة الداخلية للنظام وتفسر منشأها.
٣. تذكر العلاقة بين الشغل المبذول على النظام والتغير الحاصل في طاقته الداخلية.
٤. تذكر نص القانون الأول في التحريك الحراري.
٥. توضح المقصود بالعمليات الحرارية: ادياباتك، آيزوثيرمال، آيزو كورك، آيزوبارك.
٦. تطبق القانون الأول للتحريك الحراري على العمليات الحرارية أعلاه.
٧. تذكر صيغة كلاوسيوس وكلفن وبلانك للقانون الثاني في التحريك الحراري.
٨. تبين أهمية القانون الثاني للتحريك الحراري في الطبيعة.
٩. تعرف الآلة الحرارية، وتعطي أمثلة عليها.
١٠. تتعرف دورة كارنو، وأهميتها، ومراحلها.

٢ - ١ النظام الحراري

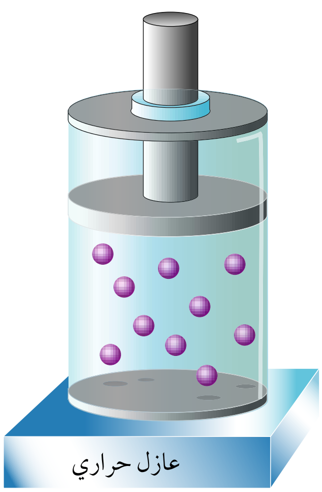
النظام الحراري هو جزء محدود من المادة والطاقة له حدود معلومة ومفصولة عن الوسط المحيط به بإطار معين، ويمكن إخضاعه للدراسة من أجل دراسة خصائصه الحرارية فقط. ويلعب النظام الحراري دوراً أساسياً بدارسة العلاقة بين الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية المرتبطة بالحركة العشوائية لجزيئات وذرات النظام، ويتم دراسته من خلال علم الديناميكا الحرارية، وهو علم يهتم بالعلاقة بين الحرارة والشغل، وهو علم تجريبي، جميع قوانينه وأساسياته مستخلصة من التجارب والمشاهدات الطبيعية.

ومن الأمثلة على الأنظمة الحرارية: الآلة البخارية، نظام التدفئة المركزية، نظام التكييف، نظام التبريد في الآلات والمحركات.

يوجد نوعان من الأنظمة الحرارية، هما:

أ. النظام المغلق: وهو نظام معزول تماماً عن الوسط المحيط به، ولا يتم تبادل أي طاقة حرارية بينه وبين الوسط المحيط به، فتبقى كمية حرارته ثابتة، مثل: غاز محصور في وعاء معزول حرارياً، انظر الشكل (١).

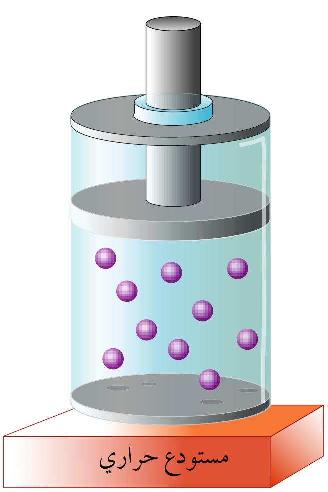
ب. النظام المفتوح: وهو نظام يسمح بتبادل الطاقة الحرارية بينه وبين الوسط المحيط به، مثل معظم الأنظمة الحرارية في الحياة العملية، انظر الشكل(٢).



الشكل (١): نظام مغلق

تتم دارسة النظام الحراري بطريقتين:

- الدارسة المجهرية (microscopic): وتُعنى بإبراز التفاصيل الكاملة لحركة الذرات أو الجزيئات في النظام والعلاقات بينها، وهو ميدان الميكانيكا الإحصائية.
- الدراسة الجاهرية (macroscopic): وتُعنى بدراسة العلاقة بين متغيرات النظام، مثل: الحجم، والضغط، ودرجة الحرارة، والكتلة، والطاقة الداخلية، وهو ميدان علم الديناميكا الحرارية.



الشكل (٢): نظام مفتوح

٢ - ٢ الطاقة الداخلية للغاز (طد)

من المعلوم أن الحرارة تنتقل من الجسم الذي درجة حرارته أعلى إلى الجسم الذي درجة حرارته أقل، ويستمر الانتقال حتى تتساوى درجة حرارة الجسمين.

وقد عرفت سابقاً أن جزيئات المادة في حالة حركة مستمرة، وأنها تمتلك طاقة حركية بسبب حركتها، وتختزن طاقة وضع بسبب القوى المتبادلة بينها، ومجموع هذين الشكلين من الطاقة يسمى الطاقة الداخلية.

لذا يمكن زيادة الطاقة الداخلية للنظام بإحدى الطريقتين أو كلتيهما .

أ. تزويد النظام بطاقة حرارية بوساطة مصدر حراري .

ب. بذل شغل على النظام .

أما إذا خسر النظام كمية من الحرارة أو بذل النظام نفسه شغلاً فإن طاقته الداخلية تقل .

٢ - ٣ حساب كمية الحرارة

عرفت أنه إذا سخن غاز محصور أو برد فإنه يكسب أو يخسر كمية من الحرارة (طاقة حرارية) . فعندما تتغير درجة حرارة الغاز من ($د_١$) إلى ($د_٢$) فإن كمية الحرارة المكتسبة ($ك_ح$) تعطى بالعلاقة الآتية :

$ك_ح = ن \times ح_ن \times \Delta د$ ،   حيث :

ن : عدد مولات الغاز ، $ح_ن$: الحرارة النوعية المولية للغاز .

وقد وجد أن كمية الحرارة المكتسبة تعتمد على المسار الذي يسلكه الغاز ، فإذا تغيرت درجة حرارة الغاز وبقي حجمه ثابتاً فإن الحرارة النوعية للغاز هي الحرارة النوعية عند ثبوت الحجم ، ويرمز إليها بالرمز ($ح_ح$) ، أما إذا تغيرت درجة الحرارة وبقي ضغطه ثابتاً فإن الحرارة النوعية للغاز هي الحرارة النوعية عند ثبوت الضغط ، ويرمز إليها بالرمز ($ح_ض$) ، والجدول الآتي يبين الحرارة النوعية عند ثبوت الضغط والحرارة النوعية عند ثبوت الحجم لبعض الغازات .

نوع الغاز	($ح_ض$) جول/ مول كلفن	($ح_ح$) جول/ مول كلفن
الهيليوم	٢٠,٨	١٢,٥
الهيدروجين	٢٠,٨	٢٠,٤
الأكسجين	٢٩,٤	٢١,١
ثاني أكسيد الكربون	٣٧,٠	٢٨,٥

الجدول رقم(١) : الحرارة النوعية لبعض الغازات .

تعرف الحرارة النوعية المولية للغاز عند ثبوت حجمه (ضغطه) بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة واحد مول من الغاز درجة سلسيوس واحدة عند ثبوت حجمه (ضغطه) .

مثال(١):

غاز مثالي من الهيدروجين ضغطه ٣×١٠^{٥} باسكال وحجمه ٠,٠٩ $م^٣$ ودرجة حرارته ١٨٥ °س ، خفضت درجة حرارة الغاز مع بقاء ضغطه ثابتاًحتى أصبحت ١٥ °س ، فإذا علمت أن ثابت الغاز العام ٨,٣١٤ جول/ك . مول ، وأن الحرارة النوعية عند ثبوت الضغط ($ح_ض$) = ٢٠,٨ جول / °ك . مول ، فأوجد :

أ. عدد مولات الغاز .   ب. كمية الحرارة المفقودة .

الحل:

أ. $ن = \frac{ض_1 ح_1}{أ د_1} = \frac{٣ \times ١٠^٥ \times ٠,٠٩}{٨,٣١٤ \times (١٨٥+٢٧٣)} = ٧,١$ مول .

ب. $ك_ح = ك \times ح_{ض} \times \Delta د$

$= ٧,١ \times ٢٠,٨ \times (١٥ - ١٨٥) = -٢,٥ \times ١٠^٤$ جول .

٢ - ٤ شغل الغاز المحصور

في الشكل المجاور أسطوانة بها غاز محصور مزودة بمكبس خفيف قابل للحركة إلى أعلى وإلى أسفل بسهولة، فإذا زود الغاز ببطء بكمية من الحرارة، فإن الغاز سيتمدد ببطء شديد بحيث يبقى دائماً في حالة اتزان، وسيبذل شغلاً أثناء تمدده، وعليه فإن ضغط الغاز يساوي الضغط الجوي، أي أن :

$ض_{غاز} = ض_{خارجي} = ض. = $ ثابت

إذا تحرك المكبس مسافة (Δف) فإن الشغل الذي يبذله الغاز (ش) يساوي القوة x المسافة،

أي أن : ش = ق x Δف

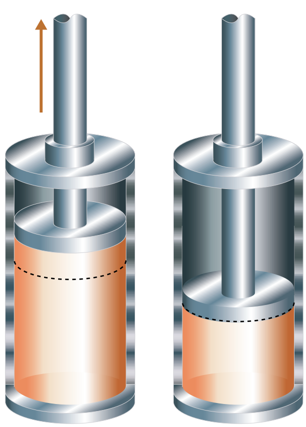
= ض. x م x Δف ،

ش = ض. x Δح .... (١)

حيث : م : مساحة المكبس .

ض. : ضغط الغاز المحصور .

Δح : التغير في حجم الغاز (م Δ ف)، وتقاس بوحدة م^٣ .



الشكل (٣) : شغل غاز محصور تحت ضغط ثابت .

مثال (٢):

غاز محصور حجمه ٥ لتر تمدد تحت ضغط ثابت مقداره ١ x ١٠^٥ باسكال فأصبح حجمه ١٥ لتراً.

احسب الشغل الذي بذله الغاز .

الحل:

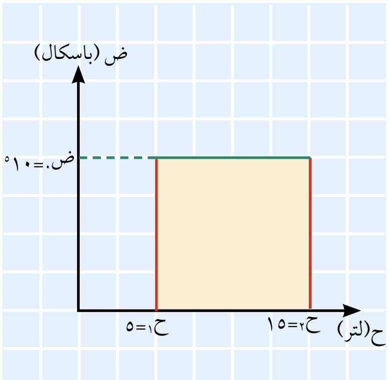
ش = ض x Δح

= ١ x ١٠^٥ x (١٥ - ٥) x ١٠$^{-٣}$

= ١ x ١٠^٣ جول

حساب الشغل بيانياً:

في المثال السابق يمكن حساب الشغل بيانياً عن طريق تمثيل العملية على منحنى الضغط والحجم (ض ح) كما في الشكل(٤). فعند تغير الحجم من $ح_{١}$ إلى $ح_{٢}$ على ضغط ثابت ض. ، فإن:



الشكل (٤): شغل الغاز على ضغط ثابت

الشغل الذي يبذله الغاز = الضغط x التغير في الحجم

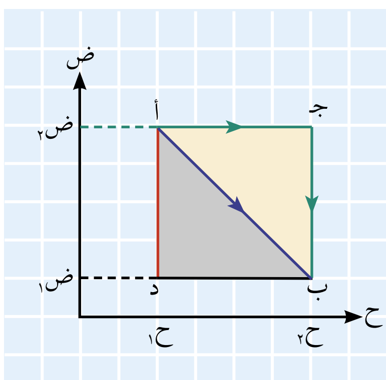
$= ض_{.} \times (ح_{٢} - ح_{١})$، ويساوي عددياً المساحة المحصورة تحت المنحنى (المساحة المظللة).

وفي الشكل (٤) المساحة المظللة هي مساحة مستطيل، وعليه فإن:

الشغل = مساحة المستطيل

$= (١٥ - ٥) \times ١٠^{-٣} \times ١٠^{٥} = ١٠^{٣}$ جول.

اعتماد شغل الغاز على المسار:



الشكل (٥): اعتماد الشغل على المسار

في الشكل (٥) إذا انتقل الغاز من (أ) إلى (ب) عبر المسار (أجـ ب) فإن الشغل المبذول يساوي عددياً مساحة المستطيل (أ جـ ب د)، أي أن:

$ش = (ض_{٢} - ض_{١})\,(ح_{٢} - ح_{١})$

وإذا انتقل الغاز عبر المسار (أ ب) مباشرةً فإن الشغل يساوي مساحة المثلث (أ ب د)، أي أن:

$ش = \frac{١}{٢}\,(ح_{٢} - ح_{١})\,(ض_{٢} - ض_{١})$

وهذا يوضح أن الشغل الذي يبذله الغاز المحصور للانتقال بين حالتين مثل (أ ، ب) يعتمد على المسار الذي يسلكه النظام، ولا يعتمد على حالة البداية والنهاية له.

نتيجة:

١. الطاقة الحرارية التي يكتسبها نظام ما أو يفقدها تعتمد على المسار الذي يسلكه النظام عند انتقاله من حالة ابتدائية معينة إلى حالة نهائية أخرى، مثلها في ذلك مثل الشغل.

٢. حيث أن الشغل والحرارة يعتمدان على المسار فإن أياً منهما لن يكون محفوظاً حفظاً مستقلاً عن الآخر في أي عملية تحريك حراري.

٥ـ٢ قوانين التحريك الحراري

الاتزان الحراري:

عندما يتبادل نظامان حرارة، فإن الحرارة تنتقل من النظام الساخن إلى النظام الأقل سخونة إلى أن تتساوى درجة حرارتيهما فيصبح النظامان في حالة اتزان حراري، وهي حالة لا يكون فيها تبادل فعلي للطاقة الحرارية داخل النظام، وذلك بأن تكون المتغيرات التي تصف حالته كالضغط ودرجة الحرارة هي نفسها في جميع أجزاء النظام فيقال : إن النظام متزن مع ذاته .

القانون الصفري:

إذا كان النظامان (أ)، (ب) في حالة اتزان حراري مع نظام ثالث (ج) فإن النظام (أ) يكون في حالة اتزان حراري مع النظام (ب).

أ	ج	ب

القانون الأول للتحريك الحراري:

إذا انتقل نظام من حالة اتزان معينة (ض$_1$، ح$_1$، د$_1$) إلى حالة اتزان جديدة (ض$_2$، ح$_2$، د$_2$)، فإن التغير في درجة حرارته (Δد) والتغير في طاقته الداخلية (Δط$_د$) لا يعتمدان على المسار الذي سلكه النظام .

وقد وجد أن الفرق بين كمية الحرارة التي اكتسبها النظام أو فقدها (ك$_ح$)، والشغل الذي بذله النظام أو بذل عليه (ش) لا يعتمد على المسار بين الحالتين .

وهذا الفرق (ك$_ح$ − ش) يساوي التغير في الطاقة الداخلية للنظام (Δط$_د$)، وهذا هو القانون الأول للتحريك الحراري .

نص القانون:

التغير في الطاقة الداخلية للنظام يساوي كمية الحرارة التي اكتسبها أو فقدها النظام مطروحاً منها الشغل الذي بذل على النظام أو بذله النظام .

رياضياً :

Δط$_د$ = ك$_ح$ − ش .... (٢)

حيث : Δط$_د$ = ط$_{د2}$ − ط$_{د1}$ = التغير في الطاقة الداخلية .

ك$_ح$: كمية الحرارة، وتكون موجبة إذا اكتسب النظام حرارة، وسالبة إذا فقد النظام حرارة .

ش : الشغل، ويكون موجباً إذا بذل النظام شغلاً وسالباً إذا بذل شغلاً على النظام .

Δط$_د$ = صفراً إذا بقيت درجة حرارة النظام ثابتة، أو إذا كان مسار التحريك الحراري مغلقاً ويكون هذا في حالة مسار مغلق (دورة كاملة) .

ملاحظات على القانون الأول للتحريك الحراري:

١ . إن القانون الأول للتحريك الحراري لا يميز بين الشغل وكمية الحرارة، حيث يمكن زيادة الطاقة الداخلية لنظام ما بتزويده بحرارة، أو ببذل شغل عليه أو بكليهما .

٢ . القانون الأول للتحريك الحراري هو قانون حفظ الطاقة، فأي زيادة في أي شكل من أشكال الطاقة يصاحبه نقص في شكل آخر.

٣ . الشغل والحرارة يعتمدان على المسار الذي يسلكه النظام على الرغم من أن كلاً منهما لن يكون محفوظاً حفظاً مستقلاً عن الآخر في أية عملية تحريك حراري.

٤ . التغير في الطاقة الداخلية (Δط$_{د}$) بين حالتين ثابت مهما كان المسار الذي يسلكه النظام بينهما.

مثال(٣) :

احسب التغير في الطاقة الداخلية لنظام إذا:

أ . فقد كمية حرارة مقدارها (٥٠٠٠)جول تحت حجم ثابت.

ب . زُود النظام بكمية حرارة مقدارها (٢٠٠٠) جول وبذل النظام شغلاً مقداره (٥٠٠) جول.

الحل:

أ . بما أن حجم الغاز بقي ثابتاً إذن الشغل الذي يبذله الغاز = صفر

Δط$_{د}$ = ك$_{ح}$ − ش

= −٥٠٠٠ − ٠ = −٥٠٠٠جول

ب . Δط$_{د}$ = ٢٠٠٠ − ٥٠٠ = ١٥٠٠ جول.

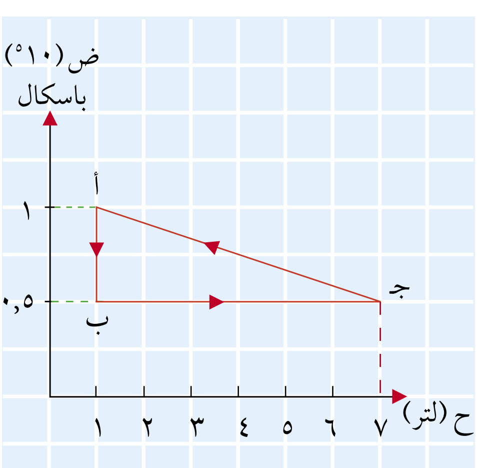
مثال(٤) :

في الشكل المجاور مر غاز بسلسلة عمليات حرارية عبر المسار (أ←ب←جـ←أ)،

إذا كان ض. = ١٠^{٥} باسكال، احسب:

أ . الشغل الكلي المبذول.

ب . كمية الحرارة المتبادلة بين الغاز والوسط.



الحل:

أ . الشغل الكلي = مساحة المثلث

= $\frac{1}{2}$ مساحة القاعدة x الارتفاع

= $\frac{1}{2}$ x (٧−١) x ١٠$^{-٣}$ x ٠,٥ x ١٠^{٥} = ١٥٠ جول

ب . بما أن المسار مغلق إذن Δط$_{د}$ = ٠، وعليه:

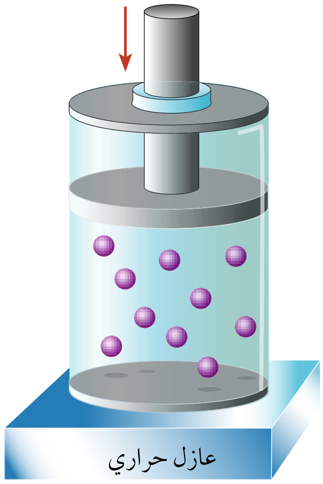
Δط$_{د}$ = ك$_{ح}$ − ش

٠ = ك$_{ح}$ − ١٥٠

ك$_{ح}$ = ١٥٠ جول

تطبيقات على القانون الأول للتحريك الحراري :

عرفت أنه يمكن تغيير الطاقة الداخلية للغاز بطريقتين : إما ببذل شغل على الغاز، أو بتزويده بحرارة من مصدر حراري، ويمكن للغاز أن ينتقل بين الحالتين حسب إحدى العمليات الآتية :



الشكل (٦) : العملية الكظيمة

١ . **العملية الكظيمة (Adiabatic)** : هي عملية تحريك حراري لا يحدث فيها تبادل حراري بين النظام والوسط المحيط به حيث يكون النظام مغلقاً حرارياً، ويكون الغاز محصوراً في أسطوانة معزولة حرارياً ومزودة بمكبس حر الحركة دون احتكاك، وأي شغل مبذول يساوي التغير في طاقته الداخلية .

أ . عند ضغط المكبس إلى الداخل يقل الحجم، ويكون شغل الغاز سالباً .

$\Delta ط_{د} = ك_{ح} - ش$ ، ولأن النظام معزول .

فإن $ك_{ح} =$ صفر $\Leftarrow \Delta ط_{د} = ٠ - (-ش)$

$\Delta ط_{د} = + ش$

وهذا يعني أن الطاقة الداخلية تزداد بمقدار الشغل المبذول على الغاز وتزداد أيضاً درجة حرارة الغاز، حيث أن الطاقة الداخلية تعتمد على درجة حرارة الغاز فقط .

ب . إذا تمدد الغاز، يزداد حجمه، ويكون شغل الغاز موجباً، $ك_{ح} =$ صفر ؛ لأن النظام معزول .

وعليه : $\Delta ط_{د} = ك_{ح} - ش = ٠ - ش$

$\Delta ط_{د} = - ش$

إذن تقل الطاقة الداخلية بمقدار الشغل الذي بذله الغاز وتقل تبعاً لذلك درجة حرارة الغاز .

هل تعلم؟

يمكن اعتبار العمليات التي تحدث في زمن قصير نسبياً عمليات كظيمة . وتؤدي العمليات الكظيمة دوراً مهماً في الهندسة الميكانيكية ؛ إذ تكون معظم عملياتها كظيمة .

مثال (٥) :

وعاء معزول حرارياً يحتوي على غاز محصور، احسب مقدار التغير في طاقة الغاز الداخلية إذا :

أ . بذل شغل خارجي على الغاز مقداره ١٠٠ جول.

ب . بذل الغاز شغلاً مقداره ١٠٠ جول .

الحل:

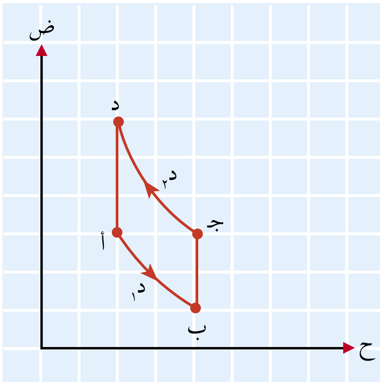
$ك_{ح} = ٠$ ، لأن النظام معزول .

أ . $\Delta ط_{د} = ك_{ح} - ش = ٠ - (-١٠٠) = ١٠٠$ جول .

ب . $\Delta ط_{د} = ك_{ح} - ش = ٠ - ١٠٠ = -١٠٠$ جول .

٢ . **العملية تحت درجة حرارة ثابتة (أيزوثيرمال) (isotermal) :**

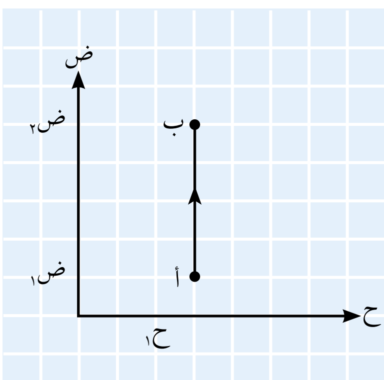
إذا كان لدينا غاز محصور في أسطوانة وسمحنا للغاز بالتمدد مع بقاء درجة حرارته ثابتة . هذا الإجراء تحت درجة حرارة ثابتة يسمى (تمدد تحت درجة حرارة ثابتة) وعكس هذا الإجراء يسمى تقلص تحت درجة حرارة ثابتة .



الشكل (٧) : عملية تمدد وتقلص الغاز تحت درجة حرارة ثابتة

في الشكل (٧) المنحنى من (أ ⟵ ب) يمثل عملية تمدد تحت درجة حرارة ثابتة (د$_1$)، بينما المنحنى (جـ ⟵ د) يمثل عملية تقلص تحت درجة حرارة ثابتة (د$_2$). لذا يمكن تعريف العملية الأيزوثيرمية بأنها عملية تمدد أو تقلص للغاز المحصور تحت درجة حرارة ثابتة.

٣ . **العملية تحت حجم ثابت (أيزوكورك) isochoric :**



الشكل (٨): العملية تحت حجم ثابت

اذا وجد حجم معين من غاز محصور في أسطوانة (وعاء) غير قابل للتمدد وزود هذا النظام بكمية من الحرارة (بالتسخين مثلاً)، لاحظ الشكل (٨)، فإن :

الشغل الذي يبذله الغاز = ض Δح = صفراً، حيث الحجم لم يتغير .

إذن Δط$_{د}$ = ك$_{ح}$ − ش

= ك$_{ح}$ − ٠ = ك$_{ح}$

لذلك تزداد الطاقة الداخلية للنظام بمقدار الطاقة الحرارية التي يكتسبها، وتقل الطاقة الداخلية للنظام بمقدار الطاقة الحرارية التي يفقدها .

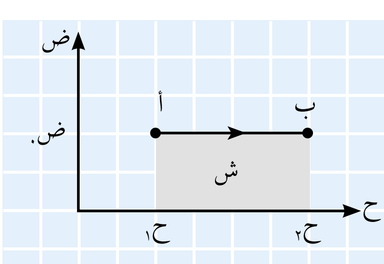
لاحظ أن طاقة الجزيئات قد زادت وزادت طاقتها الحركية وزاد الضغط .

من الأمثلة على هذا النوع الاشتعال والانفجار المفاجئ والسريع في آلات الاحتراق الداخلي مثل محرك السيارة .

٤ . **العملية تحت ضغط ثابت (أيزوبارك) isobaric:**

كيفية العملية :

١ . أسطوانة تحتوي غاز محصور ومزودة بمكبس خفيف قابل للحركة لأعلى ولأسفل بسهولة .
٢ . زود النظام ببطء بكمية من الحرارة، فتمدد الغاز ببطء ورفع المكبس لأعلى .
٣ . ولأن التغير في الحجم كان بطيئاً فإن هناك اتزاناً ميكانيكياً، وعليه فإن ضغط الغاز سيبقى ثابتاً ومساوياً الضغط الجوي (ض$_{غاز}$ = ض$_{.}$) لاحظ الشكل (٩) .



الشكل (٩): العملية تحت ضغط ثابت

الشغل الذي بذله الغاز = ض. Δح

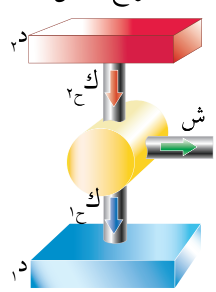
ش = ض. (ح$_2$ − ح$_1$) = المساحة المحصورة تحت المنحنى .

إذن Δط$_{د}$ = ك$_{ح}$ − ش .

من الأمثلة على هذا النوع ما يتم في الآلة البخارية .

الآلة الحرارية:

هي جهاز يعمل على تحويل الطاقة الحرارية إلى أشكال أخرى مفيدة للطاقة، مثل الطاقة الميكانيكية والطاقة الكهربائية.



الشكل (١٠): الآلة الحرارية

تقوم الآلة الحرارية بدورة مكونة من عدة مداخل، هي:

١ . أخذ طاقة حرارية ($ك_{ح٢}$) من مستودع ذي درجة حرارة عالية ($د_٢$).

٢ . بذل شغل (ش) من الآلة الحرارية.

٣ . تزويد الآلة طاقة حرارية ($ك_{ح١}$) إلى مستودع ذي درجة حرارة أقل ($د_١$).

بتطبيق القانون الأول للتحريك الحراري:

$\Delta ط_د = (ك_{ح٢} - ك_{ح١}) - ش$

ولأن العمليات السابقة تتم في دورة كاملة $\Leftarrow \Delta ط_د = صفر$

(لأن النظام يعود إلى نفس الحالة الابتدائية من حيث قيم الحجم والضغط ودرجة الحرارة).

$$\Leftarrow ش = ك_{ح٢} - ك_{ح١}$$

فعالية الآلة الحرارية: هي النسبة بين الشغل الكلي الناتج في دورة كاملة لآلة حرارية وكمية الحرارة التي تمتصها الآلة (الحرارة المدخلة).

$$الفعالية = \frac{ش}{ك_{ح٢}} \% = \frac{ك_{ح٢} - ك_{ح١}}{ك_{ح٢}} \% \quad .... (٣)$$

مثال(٦):

آلة حرارية تأخذ ٢٠٠٠ جول من مستودع ساخن وتخرج حرارة إلى مستودع بارد مقدارها (١٢٠٠) جول.

احسب:

١ . الشغل الذي تنجزه الآلة. ٢ . فعالية الآلة.

الحل:

١ . $ش = ك_{ح٢} - ك_{ح١} = ٢٠٠٠ - ١٢٠٠ = ٨٠٠$ جول

٢ . $الفعالية = \frac{ش}{ك_{ح٢}} \times ١٠٠\% = \frac{٨٠٠}{٢٠٠٠} \times ١٠٠\% = ٤٠\%$

القانون الثاني في التحريك الحراري:

يوضح القانون الأول في التحريك الحراري مبدأ حفظ الطاقة، حيث أن أي زيادة في شكل من أشكال الطاقة في النظام يصاحبه نقص في شكل آخر منها، كما أنه لا يفرق بين الشغل والطاقة؛ إذ يمكن زيادة الطاقة الداخلية للنظام بتزويده بحرارة أو ببذل شغل عليه.

يوجد في الواقع فرق مهم بين الحرارة والشغل، إذ يمكن أن يتحول الشغل كلياً إلى طاقة حرارية، لكن العكس

غير صحيح فلا يمكن تحويل الحرارة كلياً إلى شغل دون إحداث تغيير في الوسط المحيط بالنظام.
ولتوضيح ذلك نعرض المثالين الآتيين:

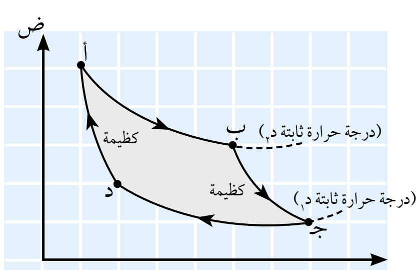
١. عندما يتصل جسمان مختلفان في درجة الحرارة فإن الحرارة تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم البارد، لكن العكس مستحيل إذا لا يمكن أن تنتقل الحرارة من الجسم البارد إلى الجسم الساخن.
٢. يتناقص اهتزاز بندول تدريجياً بفعل اصطدامه بجزيئات الهواء والاحتكاك عند نقطة التعليق، وفي النهاية تتوقف حركته فتكون الطاقة الميكانيكية للبندول قد تحولت كلياً إلى طاقة حرارية، ومن المستحيل أن يستأنف البندول حركته من تلقاء نفسه، بمعنى أنه لا يمكن أن تتحول طاقته الحرارية لا كلياً ولا جزئياً إلى طاقة ميكانيكية.

نلاحظ أن المثالين السابقين يمثلان العمليات التي تحدث حدوثاً طبيعياً في اتجاه واحد (العمليات اللاعكوسية).
والقانون الثاني للتحريك الحراري يبحث في أي العمليات ممكنة الحدوث وأيها مستحيلة.

الصيغ المختلفة للقانون الثاني للتحريك الحراري:

١. صيغة كلاوسيوس الأولى (الثلاجة المستحيلة): تسري الحرارة سرياناً طبيعياً من الجسم الساخن إلى الجسم البارد ومن المستحيل أن تسري الحرارة من الجسم البارد إلى الساخن بشكل طبيعي.
٢. صيغة كلاوسيوس الثانية (الثلاجة): من غير الممكن أن تكون النتيجة الوحيدة لعملية حرارية هي سريان كمية من الحرارة من مستودع حراري ذي حرارة منخفضة إلى مستودع آخر ذي درجة أعلى دون الحاجة إلى بذل شغل ميكانيكي.
٣. صيغة كلفن وبلانك (الآلة الحرارية المستحيلة): من المستحيل تصميم آلة حرارية بحيث تكون النتيجة الوحيدة لعملية حرارية دورية امتصاص طاقة حرارية من مستودع حراري وتحويلها كلياً إلى شغل ميكانيكي.

دورة كارنو (آلة كارنو الحرارية):



الشكل (١١): دورة كارنو

آلة كارنو الحرارية: هي آلة مثالية تكون مادة التشغيل فيها غازاً مثالياً، وتعمل بين مستودعي حرارة، وتشكل الحد الأعلى لفعالية الآلات الحرارية كلها.

أهمية آلة كارنو:

١. تعميق فهم الآلات الحرارية عملياً ونظرياً.
٢. تساعد في تحديد كيفية زيادة فعالية الآلات الحرارية.

مراحل دورة كارنو: وهي أربع مراحل عكوسية تألف دورة تشغيل كاملة، لاحظ الشكل (١١)، والمراحل هي:

١. المرحلة (أ ⟵ ب): يتمدد فيها الغاز تحت درجة حرارة ثابتة $\Leftarrow \Delta\text{ط}_{\text{د}} = ٠$، وشغل الغاز موجب.

$$\Leftarrow \Delta\text{ط}_{\text{د}} = \text{ك}_{\text{ح}} - \text{ش}$$
$$٠ = \text{ك}_{\text{ح}} - \text{ش}$$
$$\text{ك}_{\text{ح}} = \text{ش}$$

فتكون كمية الحرارة التي يمتصها الغاز من المستودع الساخن ($ك_{ح٢}$) تتحول بالكامل إلى شغل يبذله الغاز أثناء تمدده.

٢. المرحلة (ب ⟵ ج): يتمدد الغاز بعملية كظيمة؛ لأن الغاز معزول $\Leftarrow \Delta$ $ط_د = -ش$

$\Leftarrow \Delta$ د: سالبة

أي أن الشغل الذي يبذله الغاز أثناء تمدده يؤدي إلى نقص في طاقته الداخلية فتقل درجة حرارته إلى ($د_١$).

٣. المرحلة (ج ⟵ د):

يضغط الغاز تحت درجة حرارة ثابتة ($د_١$)

$\Leftarrow \Delta$ $ط_د$ = ٠ ، ش: سالب $\Leftarrow$ ٠ = $ك_ح$ - (-ش)

$ك_ح$ = - ش

كمية الحرارة التي يفقدها الغاز إلى المستودع البارد ($ك_{ح١}$) تتحول بالكامل إلى شغل سالب يبذله الغاز أثناء انضغاطه.

٤. المرحلة (د ⟵ أ):

يضغط الغاز بعملية كظيمة $\Leftarrow \Delta$ ط: موجبة $\Leftarrow \Delta$ د موجبة، أي أن الشغل المبذول على الغاز أثناء انضغاطه يؤدي إلى زيادة في طاقته الداخلية فتزداد درجة حرارته إلى ($د_٢$).

فعالية آلية كارنو = ١ - $\frac{ك_{ح١}}{ك_{ح٢}}$

وحيث أن الطاقة الداخلية في آلة كارنو تعتمد على درجة الحرارة فإن:

$\frac{ك_{ح١}}{ك_{ح٢}} = \frac{د_١}{د_٢}$ إذن:

فعالية آلة كارنو = ١ - $\frac{د_١}{د_٢}$ حيث $د_١$ ، $د_٢$ (كلفن) ....(٤)

فعالية كارنو: هي أعلى فعالية تصلها آلة حرارية؛ أي لا يمكن أن تكون فعالية آلة حقيقية تعمل بين مستودعي حرارة أكبر من فعالية آلة كارنو التي تعمل بين نفس مستودعي الحرارة.

مثال (٧):

آلة حرارية مثالية تعمل على درجة حرارة ٢٧° س وتتسرب إليها كمية من الحرارة مقدارها ٤٠٠ جول على تلك الدرجة كل دورة، وتعطى إلى المحيط الخارجي ٣٢٠جول. احسب:

١. فعالية الآلة. ٢. درجة حرارة المحيط الخارجي.

الحل: ١. فعالية الآلة = $\frac{ش}{ك_{ح٢}} = \frac{ك_{ح٢} - ك_{ح١}}{ك_{ح٢}} = \frac{٤٠٠ - ٣٢٠}{٤٠٠}$ = ٢٠٪

٢. فعالية الآلة = ١ - $\frac{د_١}{د_٢}$ ⟵ ٠،٢ = ١ - $\frac{د_١}{٣٠٠}$

$د_١$ = ٢٤٠ ك

أسئلة الفصل

س١ : وضح المقصود بكل من : الطاقة الداخلية ، النظام ، الآلة الحرارية ، درجة الحرارة ، العملية العكوسية ، الحرارة النوعية بثبوت الضغط ، النظام المغلق ، الاتزان الحراري .

س٢ : اكتب الصيغة الرياضية للقانون الأول في التحريك الحراري ، وبين كيف يمكن استخدامه لإثبات أن الطاقة الكلية لأي نظام حراري معزول محفوظة .

س٣ : أعط أمثلة عملية على كل مما يأتي :

١ . عملية حرارية تحت حجم ثابت .

٢ . عملية حرارية تحت ضغط ثابت .

٣ . عملية حرارية كظيمة .

٤ . النظام الحراري .

س٤ : علل ما يأتي :

١ . ترتفع درجة حرارة غاز محصور عند ضغطه بسرعة .

٢ . الحرارة النوعية لغاز تحت حجم ثابت أقل منها لنفس الغاز تحت ضغط ثابت .

٣ . تنخفض درجة حرارة غاز محصور عند تمدده بسرعة .

٤ . كفاءة آلة حرارية تكون في الغالب أقل من الكفاءة المثالية لها .

س٥ : ارتفعت درجة حرارة (٥) كغم من غاز النيتروجين من ١٠°س إلى ١٣٠°س تحت حجم ثابت ، علماً بأن $ح_{ح}$ = ١٤٧ جول / كغم . ك ، احسب :

١ . كمية الحرارة المعطاة .

٢ . الشغل الذي بذله الغاز .

٣ . الزيادة في الطاقة الداخلية .

س٦ : تمددت كمية من غاز الهيليوم مقدارها ٣ مول من حجم٠٫٠٦٧ م^{٣} ، تحت ضغط ثابت مقداره ١ باسكال ، إلى حجم مقداره ٠٫١٣٤ م^{٣} ، علماً بأن $ح_{ض}$ = ٢٠٫٨ جول / مول . ك . احسب :

١ . التغير في درجة الحرارة ، إذا كانت درجة الحرارة الابتدائية ٢٧٣ ك .

٢ . مقدار الطاقة الحرارية المضافة إلى الغاز .

٣ . الشغل المبذول من الغاز .

٤ . التغير في الطاقة الداخلية للنظام .

س٧ : ما هي الفعالية المثالية لآلة حرارية تعمل بين درجتي حرارة ١٠٠ °س و صفر°س؟ إذا أعطيت الآلة ٤٠٠٠ سعر . احسب :

١ . مقدار الشغل الذي تحصل عليه .

٢ . مقدار كمية الحرارة المتحولة للخزان الحراري البارد .

أسئلة الوحدة

س١ : ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي :

١ . يتحدد متوسط المسار الحر للجزيء بالعوامل الآتية :

١ . الكثافة الجزئية للغاز وسرعة جزيئاته .

٢ . الكثافة الجزئية وقطر الجزيئات .

٣ . درجة الحرارة المطلقة ، الضغط ، الحجم .

٤ . الضغط عند ثبات الكثافة الجزيئية .

٢ . يتحدد عدد التصادمات التي تحدثها كتلة معينة من الغاز بالعوامل الآتية :

١ . قطر الجزيء وسرعة الجزيئات والزمن .

٢ . قطر الجزيء والكثافة الجزيئية والزمن .

٣ . قطر الجزيء وسرعة الجزيئات والكثافة الجزيئية والزمن .

٤ . قطر الجزيء وسرعة الجزيئات والكثافة الجزيئية .

٣ . إحدى العبارات الآتية غير صحيحة ، حددها :

١ . الضغط الناشئ عن مول واحد من الغاز المثالي أقل منه للغاز الحقيقي لنفس الحجم ودرجة الحرارة .

٢ . حجم جزيئات الغاز الحقيقي كبيرة لدرجة لا يمكن إهماله .

٣ . تتفاعل جزيئات الغاز الحقيقي فيما بينها بقوى ينشأ عنها طاقة وضع .

٤ . لا يجوز تطبيق القانون العام للغازات على الغاز الحقيقي دون تعديل .

٤ . إحدى العبارات التالية ليست صحيحة ، حددها :

١ . الطاقة الداخلية هي مجموع طاقتي الوضع والحركة لجزيئات النظام .

٢ . طاقة الوضع لنظام من الغاز المثالي تساوي صفراً ، لأن جزيئات الغاز مهملة الحجم .

٣ . التغير في طاقة الوضع لأي غاز حقيقي في كل عملية تحت حجم ثابت تساوي صفراً .

٤ . إذا كان النظام (أ) في حالة اتزان حراري مع النظام (ج) وكان النظام (ب) في حالة اتزان حراري مع النظام (ج) فإن النظامين (أ+ب) في حالة الاتزان الصفري .

٥ . تعمل الآلة الحرارية من خلال امتصاص طاقة حرارية عند درجة معينة وتحويلها .

١ . إلى شغل بالكامل .

٢ . إلى شغل بشكل جزئي وطرد الفرق إلى وسط درجة حرارته أقل .

٣ . إلى شغل بشكل جزئي وطرد الفرق إلى وسط درجة حرارته أعلى .

٤ . إلى شغل بشكل جزئي وطرد الفرق إلى وسط درجة حرارته مساوية لدرجة حرارة الخزان الحراري .

٦ . تنتقل الطاقة الحرارية تلقائياً من الوسط الأعلى درجة حرارة إلى الوسط الأقل، بغض النظر عن الطاقة الداخلية لكل وسط . هذه الحقيقة تعرف :

١ . بالقانون الأول في الديناميكا الحرارية .

٢ . بالقانون الثاني في الديناميكا الحرارية .

٣ . بقانون حفظ (بقاء) الطاقة .

٤ . بقانون حفظ (بقاء) الكتلة .

س٢ : سخن مول من بخار الماء الذي درجة حرارته ١٢٧°س في وعاء محكم الإغلاق (وغير قابل للتمدد) حتى أصبح ضغطه مثلي ما كان عليه عند بدء التسخين . احسب :

١ . درجة حرارته النهائية .

٢ . الطاقة الحرارية التي امتصها البخار .

٣ . التغير في الطاقة الداخلية للبخار .

علماً بأن ($ح_ن$) لبخار الماء = ٢٦ جول / مول . ك .

س٣ : تحول ٢ سم^{٣} من الماء بدرجة ١٠٠°س إلى بخار حجمه ٣٣٤٢ سم^{٣} ، بدرجة ١٠٠°س تحت ضغط جوي (١,٠١٣ × ١٠^{٥}) باسكال فإذا علمت أن الحرارة الكامنة لتصعيد الماء ٥٣٩ سعراً / غ، كثافة الماء = ١ × ١٠^{٣} كغم / م^{٣}. احسب :

١ . الشغل المبذول في عملية التحويل .   ٢ . الزيادة في الطاقة الداخلية .

س٤ : تمثل كل من الصيغ الآتية مبدأ عمل آلة حرارية . بيّن ما هو ممكن، وما هو مستحيل منها مع بيان السبب .

١ . $ك\, ح_٢ \longrightarrow ش$.

٢ . $ك\, ح_٢ \longrightarrow ك\, ح_١ + ش$.

٣ . $ك\, ح_١ + ش \longrightarrow ك\, ح_٢$.

٤ . $ك\, ح_٢ \longrightarrow ك\, ح_٢$.

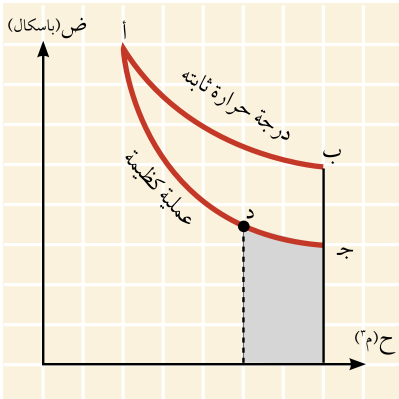
س٥ : تعمل آلة حرارية على درجة ٢٧ °س، وتتسرب إليها كمية من الحرارة مقدراها ٤٠٠٠ جول على تلك الدرجة في كل دورة، وتعطي إلى المحيط الخارجي ٣٢٠٠ جول . احسب :

١ . فعالية الآلة .

٢ . درجة حرارة المحيط الخارجي

٣ . الشغل الذي تنجزه هذه الآلة .

س٦ : يبين الشكل المجاور عمليات حرارية مختلفة لغاز مثالي :



- العملية (أب) ذات درجة حرارة ثابتة .
- العملية (أجـ) عملية كظيمة .
- العملية (ب جـ) تحت حجم ثابت .
- إذا كانت الحرارة المضافة من أ ← ب = ٤٠٠ سعر

علماً بأن : ١ سعر = ٤,٢ جول .

والتغير في الطاقة الداخلية من جـ ← أ =١٠٠٠ سعر ،

والمساحة المظللة= ٥١٠ سعر .

احسب كلاً مما يأتي :

١ . الشغل الذي بذله الغاز من أ ← ب .

٢ . كمية الحرارة المضافة للنظام من ب ← جـ .

٣ . التغير في الطاقة الداخلية من جـ ← د .

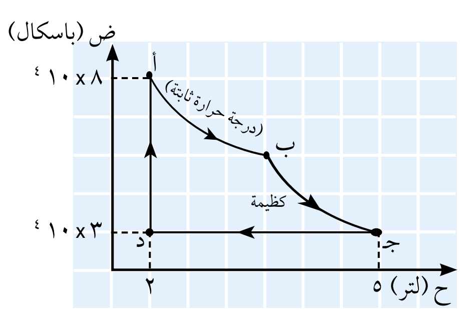
٤ . الشغل الذي بذله الغاز من د ← أ .

س٧ : وضع مول واحد من الهيليوم في أسطوانة ذات مكبس متحرك، ثم تعرض النظام إلى سلسلة من العمليات الحرارية كما هو مبين في الشكل فإذا علمت أن ثابت الغازات العام أ = ٨.٣١٤ جول / مول . ك وأن المساحة تحت المنحنى (أ ب) = ١٣٢ جول، $ح_{ح}$ = ١٢,٥ جول / مول . ك $ح_{ض}$ = ٢٠,٨ جول/ مول .ك

احسب كلاً مما يأتي :

١ . درجة الحرارة عند كل من أ ، ب ، جـ ، د .

٢ . كمية الحرارة المنتقلة ($ك_{ح}$) ، التغير في الطاقة الداخلية (Δ $ط_{د}$) خلال كل مرحلة وخلال الدورة الكاملة أ ← ب ← جـ ← د ← أ .



قائمة المراجع والمصادر

- إبراهيم شريف (١٩٧٧). الحرارة، دار المعارف، مصر.
- أحمد شوقي عمار (١٩٨٥). الحرارة، دار الراتب، بيروت.
- الخطيب، أحمد شفيق؛ وآخرون (٢٠٠٤). الموسوعة العلمية المعاصرة. مكتبة لبنان ناشرون، لبنان.
- الخطيب، أحمد شفيق؛ وآخرون (١٩٩٨). االموسوعة العلمية الشاملة. مكتبة لبنان ناشرون، لبنان.
- رأفت كامل واصف (٢٠٠٣). أساسيات الفيزياء الكلاسيكية والمعاصرة. دار النشر للجامعات، القاهرة.
- محمد عطية سويلم (١٩٩٧). الفيزياء العامة، دار الفكر، الأردن.
- محمد شحادة الدغمة (٢٠٠٠). خواص المياه والحرارة، مكتبة الفلاح، الكويت.
- (١٩٩٨). الفيزياء المتقدمة، المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر، دمشق.
- (١٩٩٧). الفيزياء العامة، جامعة القدس المفتوحة.

- David Halliday (2001). Fundamentals of Physics , 6th ed, John Wiley & sons, Inc, New York.
- David Halliday (1997). Fundamentals of Physics: EXTENDED, 5th ed, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Franctis Weston Sears (1960). College Physics:Mechanics, Heat, and Souund, 3th ed, Addison - Wesley Iublishing Company, Inc, London.
- Joseph Abruscato (1986). Holt, Rinehart and Winston, Publishers, New York.
- Sears & salinger.(1974). Thermodynamics, .
- Symonl. (1980). Mechanics,
- Paul M. Fishbane (1993). Physics: Forscientists And Engineers, Prentice - Hall Internatiional, Inc, New Jersey.
- Walter A. Thurber (1977). Exploring Physical Science, 4th ed, Allyn And Baconm Inc, New York.
- http://library.thinkquest.org
- http://www.darvill.clara.net
- http://zebu.uoregon.edu
- http://www.angelfire.com
- http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/class/energy/u511a.html
- http://www.wellesley.edu/physics/phyllisflemingphysics/104-p-workenergy.html.
- /http:///www.taftan.com/thermodynamics
- http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu
- http://www.cord.edu/dept/physics
- http://www.hazemsakeek.com/physics-Lectures/Mechanics
- http://www.grc.nasa.gov.
- www.schoolarabia.net

ساهم في انجاز هذا العمل:

لجنة المناهج الوزارية: (قرار الوزير بتاريخ ٢٣ / ١١ / ٢٠٠٢م)

- د. نعيم أبو الحمص (رئيساً)
- د. عبد الله عبد المنعم (نائب الرئيس)
- زينب الوزير (عضواً)
- جهاد زكارنة (عضواً)
- هشام كحيل (عضواً)
- د. صلاح ياسين (أمين السر)

اللجنة الفنية للمتابعة:

- د. صلاح ياسين (منسقاً)
- د. عمر أبو الحمص (عضواً)
- د. هيفاء الآغا(عضواً)
- د. غازي أبو شرخ(عضواً)
- أ. صبحي الكايد (عضواً)
- أ. جميل أبو سعدة (عضواً)
- أ. منير الخالدي (عضواً)
- أ. محمد مطر (عضواً)

المشاركون في ورشة عمل الكتاب:

محمد صالح العضافية	باسمة جميل محمد	معاوية إبراهيم السيد
عيسى محمد صبري	فتحي أحمد عطية	سفيان أحمد صويلح
منذر علي عام	أيمن محمود الشروف	خميس عبد الله برحة
زياد محمد عواد	حسام عارف إبراهيم	عنان سمير ناجي
محمد يوسف حمد	عبد الفتاح صبري شمارل	إسماعيل شاكر الشروق
مهند مراد بهار	صالح عبد ياسين	ثروت بهجت يقين
زاهر مصطفى عطوة	محمد حسين عبد رومي	سالم عبد اللطيب طنجير
هاني فهمي أبو بكر	أحمد سيف الدين جبر	عزيز شوابكة
رائد صبحي أحمد	سماء حاتم جبر	رشا عمر
عبد الرحمن محمد الدارس	نعمة ترافع	أحمد سياعرة
مرسي عدنان سمارة	خديجة عبد اللطيف حسين	محمد صباح
حازم خليل صلاح	رؤوفة محمد أبو النجا	نهى عطير
أحمد عودة براهمة	علا كاظم جابر	عنان وحيد برغوثي
آية كامل شحادة	فوزي محد حمدان	إيهاب شكري
جمال صالح علي		

تم الجزء الأول بحمد الله،