بسم الله الرحمن الرحيم

مبادئ الفيزياء العامة

اعداد

د.عقيل مهدي كاظم

المقدمة

تعتبر الفيزياء من أهم العلوم الأساسية حيث إنها تبحث في طبيعة المادة وكيفية تركيبها ونوعية القوى المسئولة عن إعطاء الكون- بكل ما يحتويه من دقائق وعجائب- تكوينه الرائع والبديع. ويسعى الإنسان منذ بدء الخليقة إلى محاولة فهم ما يدور حوله من ظواهر فيزيائية مختلفة وهذا ليس بالغريب فهي ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمصيره واحتمالية بقائه وسر وجوده.

من مشاهداتنا اليومية ومن خلال تمعننا في هذا الكون الذي نعيش فيه تطالعنا ، الطبيعة الإلهية بألغاز شتى، فنحن نرى السماء وزرقتها والأرض بما تحويه من كنوز والنجوم التي تدهش الناظر أثناء الليل بتلألؤها وعددها والرياح وحركتها والرعد بزمجرته والبرق بوميضه والشمس بنورها ودفئها والقمر وسحره والصيف بحرِّه والشتاء ببرده والنهار والليل وولوجهما الواحد في الآخر . ولقد وقف الإنسان حائرا أمام الكثير من هذه الألغاز ومثلت في بعض الأحيان مصدر رعب وخوف إلى درجة أن قدَّسها بعضهم نتيجة لعدم معرفة مسبباتها ومكوناتها .

وعلى مدى التاريخ نجد أناساً أعطاهم الله العقل والذكاء والقدرة على تحدي الصعاب في محاولة كشف هوية هذه الألغاز وأسرارها ؛ ينظرون إلى الأشياء بعقل ثابت وبنظرة تعتمد على البحث والتقصي لمعرفة خفايا الأمور واستنباط الحقائق التي لا تقبل الدجل وتتحدى التجربة التي هي الحكم الأخير على مصداقية حقيقة تلك النتائج المستخلصة .

لقد بدأ الإنسان طريقه في تقصي الحقائق وكشف الألغاز بداية بسيطة. فلزمن ليس بالقصير عامل الإنسان دراسة الأشياء المادية كغيرها من الأشياء ، وذلك من خلال النطاق الضيق للتفكير الإنساني الذي يعتمد على التفسير الوصفي للأمور وفي حدود المفاهيم الدينية السائدة . وبتطوير الوسائل والسبل استطاع الإنسان أن يدفع بعجلة التقدم العلمي خطوات إلى الأمام ؛ ولقد كان لما يعرف بالطريقة العلمية (Scientific Method) في التفكير دور رائد في ما تقدم والتي يمكن تلخيصها في أنها تعتمد على ركائز رئيسية ثلاث :

١- **الملاحظة (Observation) :** وتعني ملاحظة الظاهرة تحت الدراسة ومحاولة استخلاص حقائق (Facts) معينة حول تلك الظاهرة .

٢- **النظرية أو الافتراض (Theory or Hypothesis) :** وتهدف النظرية إلى تحديد قواعد معينة لتنظيم وشرح تلك الملاحظات المستخلصة ، ونؤكد هنا إلى الحاجة إلى عقول خلاقة ومبدعة قادرة على استيعاب أبعاد الظاهرة وتقديم الافتراضات الصحيحة التي تتفق مع هذه الملاحظات.

٣- **الاختبار (Testing) :** لاختبار افتراضات تلك النظرية نلجأ إلى التجربة (Experiment) حيث إن صحة أو فشل النظرية يتوقف على مدى اتفاقها أو تعارضها مع نتائج التجربة ، وإذا ثبت أن هناك اختلافا بين النظرية ونتيجة التجربة يكون لزاما تعديل تلك الفرضيات حتى تتفق مع النتائج المستخلصة . أما إذا ثبت صحة فروض النظرية في حالات متكررة وتحت ظروف مختلفة ويصبح بالإمكان وضعها في صياغة عامة ، فإن النظرية تصبح قانوناً (Law) أو مبدأً عاماً نفترض صحته كقوانين نيوتن مثلاً ومبدأ بقاء الطاقة وثبات سرعة الضوء وغيرها . وتبقى هذه المبادئ والقوانين سارية المفعول حتى تتعارض مع التجربة من جديد .

طبيعة المعرفة الفيزيائية

إن الغرض الأساسي للفيزياء هو البحث عن قوانين محددة للظواهر التي تجري حولنا . ويمكن تعريف ظاهرة فيزيائية ما على اعتبار أنها سلسلة من التغيرات المحددة التي تحدث بمرور الزمن طبقا لقوانين معينة . هذه القوانين عادة ما توضع في صيغ رياضية لسهولة استعمالها ، وتأتي - كما سبق الذكر- من الملاحظة والتجربة . وعليه ونحن نطالع أي صيغة رياضية في أي كتاب علينا أن نعي جيدا المعنى الفيزيائي الحقيقي الذي بنيت عليه هذه المعادلات . وما نشهده اليوم من تقدم تكنولوجي كبير في شتى المجالات المختلفة ، ما هو إلا ثمرات البحث العلمي المكثف والمنظم في الظواهر الفيزيائية المختلفة والفهم الجيد لها.

ملاحظة هامة : أرقام المعادلات مكتوبة بالأرقام (... 5 4 3 2 1) وتُقرأ من اليسار لليمين فمثلا المعادلة التي رقمها (3-5) تُقرأ (معادلة رقم ثلاثة خمسة) في حين أن أرقام الأشكال والجداول وأجزاء الفصول مكتوبة بالأرقام (١ ٢ ٣ ٤ ٥ ...) وتُقرأ من اليمين لليسار فمثلا الشكل الذي رقمه (٥- ٨) يُقرأ (شكل رقم خمسة ثمانية) .

محتويات الكتاب

الفصل الأول

الوحدات والأبعاد

الوحدات و الأبعاد
Units and Dimensions

تتحدد أي كمية طبيعية بعاملين اثنين هما العدد والوحدة . أي أنه لا يمكن ذكر أعداد أو أرقام مجردة دون تحديد الوحدة التي تقاس بها تلك الكمية.

فمثلاً لتحديد كتلة جسم نقول أن كتلته تساوي ٢٠كيلوجرام و لكي نقول أن الكتلة تساوي ٢٠٠٠٠ جرام يجب أن يكون هناك علاقة بين الكيلوجرام و الجرام و هي ١كجم = ١٠٠٠جرام.

١-١ الكميات الفيزيائية Physical quantities

هي التي تبني هيكل الفيزياء و بها نكتب المعادلات و القوانين الفيزيائية ، من هذه الكميات : القوة – الزمن – السرعة – الكثافة – درجة الحرارة – الشحنة و غير ذلك.

و تنقسم الكميات الفيزيائية إلى:

- **كميات أساسية:** هي الكتلة و الطول و الزمن و يرمز لها (T , L , M) على الترتيب.
- **كميات مشتقه:** هي كميات مشتقة من الكميات الأساسية مثل الحجم و السرعة و العجلة و غير ذلك من الكميات.

١-٢ وحدات الكميات الفيزيائية Units of physical quantities

أي كمية فيزيائية يجب أن يكون لها وحدة قياس إلى جانب قيمتها العددية إذ أنه لا معنى لقولنا أن المسافة بين مدينة غزة ومدينة القدس هي ٨٠ (دون ذكر وحدة القياس) لأن ٨٠ كيلو متر تختلف عن ٨٠ متر تختلف عن ٨٠ ميل حيث أن الكيلو متر والمتر والميل هي وحدات قياس الطول.

أنظمة القياس

- النظام الدولي ISU: متر – كيلوجرام – ثانيه (M K S system) و أحياناً يسمى بالنظام الفرنسي المطلق أو سنتيمتر – جرام – ثانيه (C G S system).
- النظام البريطاني: قدم – باوند – ثانيه (F B S).

الجدول (١-١) يبين وحدات القياس الأساسية والجدول (١-٢) يبين بعض وحدات القياس المشتقة.

جدول (١-١) وحدات القياس الأساسية

الكمية	الوحدة بالنظام الدولي (ISU)	الوحدة بالنظام البريطاني (FBS)
الكتلة (Mass)	كيلوجرام (Kg)	باوند
الطول أو المسافة (Length)	متر (M)	قدم
الزمن (Time)	ثانية (S)	ثانية

جدول (١-٢) وحدات القياس المشتقة

الكمية	الوحدة بالنظام الدولي (ISU)	الوحدة بالنظام البريطاني (FBS)
المساحه	متر٢ (m^2)	قدم ٢
الحجم	متر٣ (m^3)	قدم٣
الكثافة = الكتلة / الحجم	Kg/m^3	باوند / قدم٣

قوة	نيوتن (N)	ثقل باوند (LB)
الضغط = قوة / مساحة	N/m^3 (باسكال)	ثقل باوند / قدم٢

١-٣ أبعاد الكميات الفيزيائية Dimensions of physical quantities

بُعد أي كمية فيزيائية يحدِد طبيعة هذه الكمية فيما إذا كانت كتلة Mass أو طول Length أو زمن Time وتكتب أبعاد أي كمية طبيعيه بدلالة الكتلة (M) والطول (L) والزمن (T) والجدول (١-٣) يوضح أبعاد بعض الكميات الفيزيائية.

جدول (١-٣) حساب أبعاد بعض الكميات الفيزيائية

الكمية الفيزيائية	بُعد الكمية الفيزيائية
الكثافة $(\rho) = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$	$[\rho]=\frac{M}{L^3}=ML^{-3}$
السرعة الخطية $(v) = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$	$[v]=\frac{L}{T}=LT^{-1}$
السرعة الزاوية $(\omega) = \frac{\text{السرعة الخطية}}{\text{نصف قطر الدوران}}$	$[\omega]=\frac{LT^{-1}}{L}=T^{-1}$
العجلة $(a) = \frac{\text{السرعة الخطية}}{\text{الزمن}}$	$[a]=\frac{LT^{-1}}{T}=LT^{-2}$
القوة (F) = الكتلة x العجلة	$[F]=M\times LT^{-2}=MLT^{-2}$
الشغل (W) = القوة x المسافة	$[W]=MLT^{-2}\times L=ML^2T^{-2}$
القدرة $(P) = \frac{\text{الشغل}}{\text{الزمن}}$	$[P]=\frac{ML^2T^{-2}}{T}=ML^2T^{-3}$

نظرية الأبعاد و تطبيقاتها:

تحتم نظرية الأبعاد على أن يكون طرفا المعادلات الرياضية متجانسين من حيث الأبعاد. لذلك نجد أن من فوائد الأبعاد ما يلي:

أ- التحقق من صحة القوانين الفيزيائية.

ب- اشتقاق وحدات الثوابت التي تعتمد عليها العلاقات الرياضية المختلفة.

ج- التحويل من وحدات النظام الدولي (النظام الفرنسي) إلى النظام البريطاني (النظام الإنجليزي).

اختبار صحة القوانين

لإثبات صحة أي معادلة يجب أن تكون أبعاد الطرف الأيسر تساوي أبعاد الطرف الأيمن ، فمثلاً قانون البندول البسيط هو:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \tag{1-1}$$

فإذا كتبنا معادلة الأبعاد لهذا القانون فإننا نعتبر 2π عدد لا يعتمد على أي من الوحدات الأساسية و على ذلك فليس له وجود في معادلة الأبعاد.

أبعاد الطرف الأيمن هي:

$$\sqrt{\frac{L}{LT^{-2}}} = \sqrt{T^2} = T \tag{1-2}$$

أي أن أبعاد الطرف الأيمن تساوي أبعاد الطرف الأيسر وعلى ذلك يكون القانون صحيحاً.

مسائل على الفصل الأول

١- جد أبعاد كل من السرعة (v) و العجلة (a) و القوة (F) و الشغل (W) و الكثافة (ρ) و الضغط (P).

٢- أثبت صحة العلاقة التالية من حيث الأبعاد.

$$v = v_0 + at$$

حيث v ، a ، t تمثل السرعة الخطية والعجلة والزمن على الترتيب.

٣- حدد ما إذا كانت العلاقة التالية صحيحة من حيث الأبعاد أم لا.

$$v^2 = v_0{}^2 + 2a$$

****

الفصل الثاني

المتجهات

المتجهات

Vectors

٢-١ الكميات القياسية والكميات المتجهة Scalars and vectors

الكميات الفيزيائية نوعان:

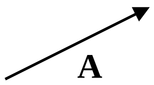
أ- **الكميات القياسية:** هي كميات فيزيائية غير متجهة يتم تعيينها تماماً إذا عرف مقدارها فقط .

ومن أمثلة الكميات الغير متجهه الكتلة ، الزمن ، الطول ، درجة الحرارة والطاقة وجميعها كميات قياسية.

ب- **الكميات المتجهة:** هي كميات فيزيائية متجهة يتم تعيينها تماماً إذا عرف مقدارها واتجاهها.

يمكن تمييز الكمية المتجهة عن الكمية القياسية وذلك بكتابة المتجه بخط عريض **A** كما هو مستخدم في الكتب أو بوضع إشارة سهم أعلى الرمز A كما هو الحال في الكتابة اليدوية $\vec{A}$. أما الكمية القياسية أو ما يُعرف بقيمة المتجه **A** مثلا فيعبر عنه بالرمز A أو |**A**| أو $|\vec{A}|$.

ومن الأمثلة على الكميات المتجهة الإزاحة والسرعة والعجلة والقوة وكمية الحركة . ويلزم تحديد اتجاه الإزاحة والسرعة والقوة بالإضافة لعدد الوحدات في كل مقدار لكي تتعرف تماماً . وتستخدم عادةً الطرق الهندسية في تمثيل الكمية المتجهة حيث يمثّل المتجه بيانياً بسهم يتناسب طوله طردياً مع مقدار المتجه واتجاهه يمثل اتجاه المتجه شكل (٢-١) .

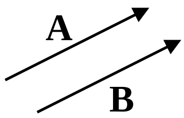


شكل (٢-١) سهم يمثل المتجه

خواص المتجهات:

- **تساوي المتجهات:**

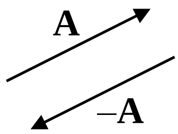
إن المتجهين **A** ، **B** متساويان إذا كان لهما نفس المقدار ونفس الاتجاه (ونفس الوحدة إن وجدت) ، أي أن **A** = **B** إذا كان مقدار **A** يساوي مقدار **B** وكان السهم الممثل للمتجه **A** يوازي السهم الممثل للمتجه **B** شكل (٢-٢) .



شكل (٢-٢) تساوي المتجهات

- **سالب المتجه:**

إذا أعطينا المتجه **A** فإن **A**– هو متجه مساوٍ له في المقدار ويعاكسه في الاتجاه شكل (٢-٣) .



شكل (٢-٣) سالب المتجه

- **جمع المتجهات:**

عند جمع المتجهات يجب أن تكون هذه المتجهات من نفس النوع فلا يمكن مثلا أن نجمع متجه قوة إلى متجه سرعة لاختلافهما في الأبعاد. وذلك ينطبق أيضا عند جمع الكميات القياسية.

إيجاد محصلة مجموعة من المتجهات:

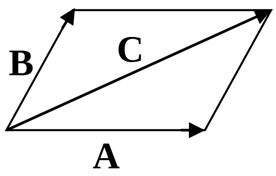
١- إذا كانت جميعها تعمل على خط واحد فإنها تجمع جبرياً بإشاراتها وذلك بعد اختيار اتجاهاً معيناً يكون موجباً .

وإذا تساوى مقدار متجهين وتضادا اتجاهاً كان محصلتهما تساوي صفر.

٢- إذا لم يكن خط تأثير المتجهات واحداً فإننا نوجد محصلتها بإحدى طريقتين:

أ- **طريقة متوازي الأضلاع:**

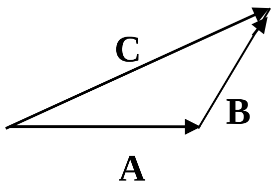
حاصل جمع المتجهين **A** و **B** هو متجه **C** ، ويسمى عادةً بالمحصلة (Resultant) . ولإجراء عملية الجمع نقوم برسم أحد المتجهين أولاً وليكن **A** بمقياس رسم مناسب ، ثم من بداية المتجه **A** نرسم المتجه **B** بنفس مقياس الرسم ثم نكمل رسم متوازي الأضلاع فتكون المحصلة هي قطر متوازي الأضلاع الذي ضلعاه المتجاوران هما المتجهان **A** و**B**. كما هو موضح في الشكل (٢-٤).



شكل (٢-٤) محصلة متجهين بطريقة متوازي الأضلاع

ب- طريقة المثلث:

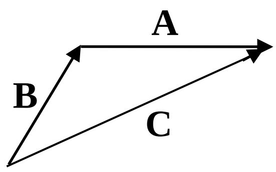
لإجراء عملية الجمع بطريقة المثلث نقوم برسم أحد المتجهين أولاً وليكن **A** بمقياس رسم مناسب ، ثم من رأس المتجه **A** نرسم المتجه **B** فتكون المحصلة **C** هي المتجه الذي يبدأ من بداية المتجه **A** وينتهي عند رأس المتجه **B** كما في الشكل (٢-٥) .



شكل (٢-٥) محصلة متجهين **A+B** بطريقة المثلث

ويمكن التعبير رياضياً عن عملية الجمع في كلتي الطريقتين بالمعادلة (2-1).

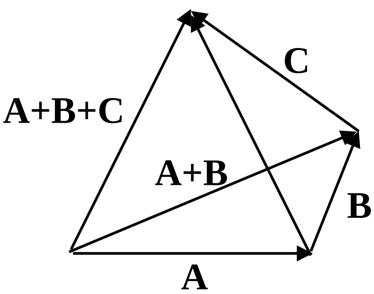
$$\boldsymbol{C} = \boldsymbol{A} + \boldsymbol{B} \qquad (2\text{-}1)$$



شكل (٢-٦) محصلة متجهين **B+A** بطريقة المثلث

لنفرض أننا بدأنا عملية الجمع بأخذ المتجه **B** أولاً ثم جمعنا إليه المتجه **A** أي قمنا بعملية الجمع **B+A** يتضح من الشكل (٢-٦) أننا نحصل على نفس المتجه **C** وبذلك نستطيع أن نكتب :

$$\mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{B} + \mathbf{A} \qquad (2\text{-}2)$$



شكل (٢-٧) محصلة ثلاث متجهات بطريقة المثلث

وتسمي هذه النتيجة بقانون التبادل للجمع .

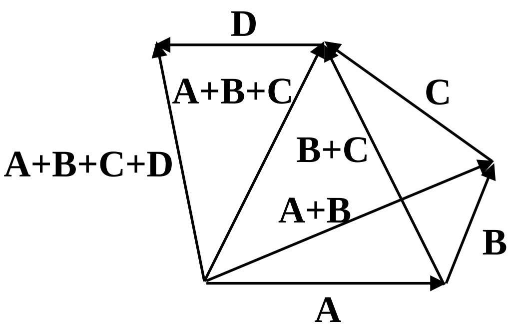
يمكن تطبيق طريقة المثلث لجمع أكثر من متجهين ، فمثلاً المتجهات الثلاث **A** و **B** و **C** يمكن جمعها كما هو مبين في الشكل (٢-٧).

ويمكن التعبير عن هذه النتيجة رياضياً بالمعادلة

$$(\mathbf{A} + \mathbf{B}) + \mathbf{C} = \mathbf{A} + (\mathbf{B} + \mathbf{C}) \qquad (2\text{-}3)$$

وتسمى هذه المعادلة بقانون الترافق للجمع .

كذلك يمكن تعميم طريقة المثلث للجمع لتشمل أكثر من ثلاث متجهات فإذا فرضنا أن هناك أربع متجهات **A** و **B** و **C** و**D** فإننا نرسم الواحد تلو الآخر كما في الشكل (٢-٨)، وبتطبيق قاعدة المثلث للجمع ثلاث مرات متتالية نجد أن المحصلة هي:



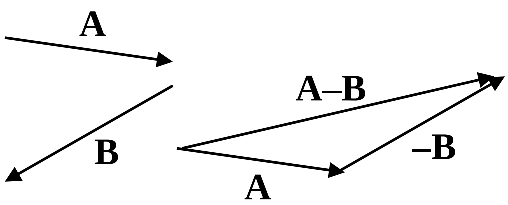
شكل (٢-٨) محصلة عدة متجهات بطريقة المثلث

$$\mathbf{R} = \mathbf{A} + \mathbf{B} + \mathbf{C} + \mathbf{D} \qquad (2\text{-}4)$$

و تبدأ من بداية المتجه **A** وتنتهي عند رأس المتجه **D** أي أن المحصلة هي الضلع الذي يقفل المضلع ولكن بالاتجاه المعاكس لدورة المتجهات الأربعة.

- **طرح المتجهات:**

إن عملية طرح المتجهات شبيهة بعملية جمع المتجهات ، فمثلاً **A** – **B** هو متجه جديد **C** ولتحديد المتجه **C** نقوم برسم المتجه **A** أولاً ومن رأس هذا المتجه نرسم سهماً موازياً ومعاكساً في الاتجاه للمتجه **B**. إن هذا السهم يمثل المتجه – **B** ، وبذلك تكون المحصلة **C** هي المتجه الذي يبدأ من بداية المتجه **A** وينتهي عند رأس المتجه – **B** شكل (٢-٩). تمثل هذه العملية رياضياً بالمعادلة (2-5) .



شكل (٢-٩) طرح المتجهات

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} - \mathbf{B} \qquad (2\text{-}5)$$

- **ضرب المتجهات:**

يمكن ضرب المتجه بكمية قياسية فمثلاً $2\mathbf{A}$ تعني متجه جديد مقداره $2A$ واتجاهه هو نفس اتجاه **A**. وبصورة عامة فإن ضرب المتجه **A** بالكمية القياسية c يعطي المتجه $c\mathbf{A}$ و اتجاهه هو نفس اتجاه **A** إذا كانت الكمية القياسية c موجبة. وعكس اتجاه **A** إذا كانت الكمية القياسية c سالبة.

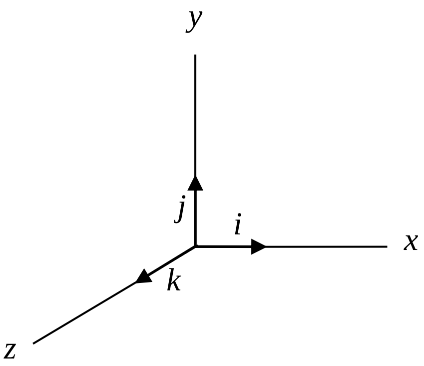
من الأمثلة الفيزيائية على ضرب المتجه بكمية قياسية الزخم الخطي (كمية التحرك الخطية) **P** وهو حاصل ضرب الكتلة m في متجه السرعة **v** ويعطي بالعلاقة (2-6).

$$\mathbf{P} = m\,\mathbf{v} \qquad (2\text{-}6)$$

٢-٢ متجهات الوحدة Unit vectors

متجه الوحدة هو متجه له اتجاه معين وقيمته هي الوحدة (Unity) ، وليس له وحدة قياس أو بُعد.

يوجد ثلاث متجهات وحدة في نظام الإحداثيات الكارتيزية (الديكارتية) هي $\boldsymbol{i}$ و $\boldsymbol{j}$ و $\boldsymbol{k}$ (يدويا تكتب $\hat{i}$ ، $\hat{j}$ ، $\hat{k}$) حيث أن هذه المتجهات تشير إلى الاتجاه الموجب للمحاور x و y و z على الترتيب كما هو موضح في الشكل (٢-١٠) ، فمثلا إذا كان المتجه **A** يتجه باتجاه x الموجب وقيمته A و **B** يتجه باتجاه y الموجب وقيمته B و **C** باتجاه z الموجب وقيمته C فإن هذا المتجهات تكتب على الترتيب بالصورة الاتجاهية التالية :



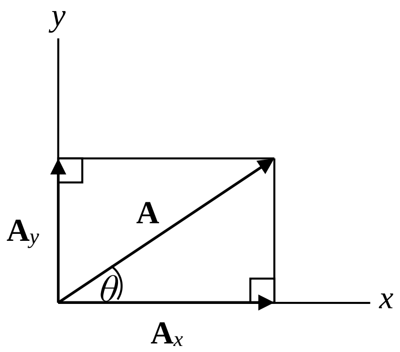
شكل (٢-١٠) متجهات الوحدة $\boldsymbol{i}$ و $\boldsymbol{j}$ و $\boldsymbol{k}$ تتجه في الاتجاه الموجب للمحاور الثلاثة x و y و z على الترتيب

$$\mathbf{A} = A\,\boldsymbol{i}\,,\ \ \mathbf{B} = B\,\boldsymbol{j}\,,\ \ \mathbf{C} = C\,\boldsymbol{k} \qquad (2\text{-}7)$$

ملاحظة : وجود الإشارة السالبة أمام أي متجه وحدة يدل على الاتجاه المعاكس فمثلا $-\boldsymbol{i}$ تشير إلى الاتجاه السالب لمحور x .

٢-٣ تحليل المتجهات Analysis of vectors

يمكن تحليل أي متجه **A** واقع في المستوى xy إلى متجهين متعامدين ، الأول موازي لمحور x ($\mathbf{A}_x$) والآخر موازي لمحور y ($\mathbf{A}_y$) وتكون محصلتهما هي نفس المتجه **A** :



شكل (٢-١١) تحليل المتجه **A** إلى مركبتين متعامدتين

$$\boxed{\mathbf{A} = A_x\,\boldsymbol{i} + A_y\,\boldsymbol{j}} \qquad (2\text{-}7)$$

فإذا كان المتجه **A** يصنع زاوية مقدارها θ مع الاتجاه الموجب لمحور x كما هو بالشكل (٢-١١) وأسقطنا من رأس المتجه **A** عمودين على المحورين x و y فإن الكميتين $\mathbf{A}_x$ و $\mathbf{A}_y$ هما مركبتا المتجه **A** ومن الشكل نجد أن :

$$\boxed{A_x = A\cos\theta\,,\ \ A_y = A\sin\theta} \qquad (2\text{-}8)$$

- إن المركبتين A_x و A_y أرقام يمكن أن تكون موجبه أو سالبه (أو صفر) و تسمى عملية إيجادهما بتحليل المتجه إلى مركباته .
- إن المركبتين A_x و A_y تشكلان ضلعين من مثلث قائم الزاوية بينما يشكل A وتر هذا المثلث و بتطبيق نظرية فيثاغورث نجد أن قيمة المتجه **A** تعطى كما في المعادلة (2-9) :

$$\mathrm{A}^2 = A_x^{\,2} + A_y^{\,2}$$

ومن الشكل (٢-١١) نجد أن

$$\tan\theta = \frac{A_y}{A_x} \qquad (2\text{-}10)$$

وعند حلها لإيجاد قيمة θ فإننا نكتب

$$\boxed{A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}} \qquad (2\text{-}9)$$

$$\boxed{\theta = \tan^{-1}\frac{A_y}{A_x}} \qquad (2\text{-}11)$$

A_x سالبة A_y موجبة	A_x موجبة A_y موجبة
A_x سالبة A_y سالبة	A_x موجبة A_y سالبة

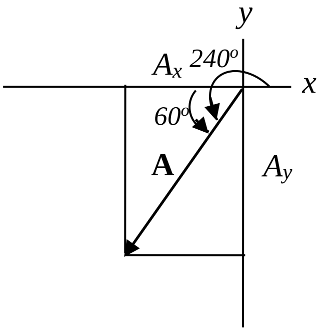
شكل (٢-١٢) إشارة المركبات حسب الربع الذي يقع فيه المتجه

المعادلة (2-11) تقرأ θ تساوي الزاوية التي ظلها $\frac{A_y}{A_x}$ ، وتعتبر قيمه θ المسئولة عن تحديد إشارات المركبات A_y و A_x لأن الزاوية θ تحدد الربع الذي يقع فيه المتجه **A** . الشكل (٢-١٢) يلخص إشارات المركبات في كل ربع.

مثال (١)

احسب المركبتين السينية والصادية للمتجهات التالية :

أ- متجه **A** قيمته *6* وحدات ويصنع زاوية مقدارها 240^o مع الاتجاه الموجب لمحور x



الحل:

$A_x = A \cos 240 = 6 \times (-1/2) = -3$

$A_y = A \sin 240 = 6 \times (-\frac{\sqrt{3}}{2}) = -5.2$

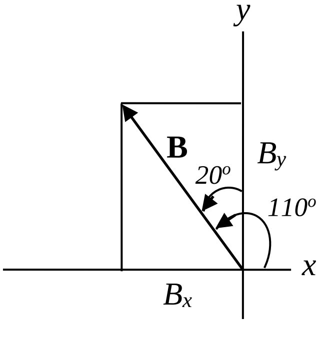
حل آخر:

$A_x = -A \cos 60 = -6 \times (1/2) = -3$

$A_y = -A \sin 60 = -6 \times (\frac{\sqrt{3}}{2}) = -5.2$

ب- متجه **B** قيمته *5* وحدات و يصنع زاوية مقدارها 110^0 مع الاتجاه الموجب لمحور x

الحل:



$B_x = B \cos 110 = -1.7$

$By = B \sin 110 = 4.7$

حل آخر:

$B_x = -B \sin 20 = -1.7$

$By = B \cos 20 = 4.7$

٤-٢ محصلة المتجهات Resultant of vectors

تستخدم طريقه تحليل المتجهات لإيجاد محصلة مجموعة منها فإذا فرضنا مثلاً ثلاثة متجهات **A** و **B** و **C** في مستوى واحد و تصنع الزوايا θ_1 ، θ_2 ، θ_3 مع الاتجاه السيني على الترتيب فإن مركبات هذه المتجهات في الاتجاه السيني هي:

$$A_x = A \cos \theta_1 \quad , \quad B_x = B \cos \theta_2 \quad , \quad C_x = C \cos \theta_3$$

وتكون محصله هذه المركبات في الاتجاه السيني هي:

$$R_x = A_x + B_x + C_x = A \cos \theta_1 + B \cos \theta_2 + C \cos \theta_3$$

بالمثل بالنسبة للمركبات العمودية في الاتجاه الصادي تكون محصلتها

$$R_y = A_y + B_y + C_y = A \sin \theta_1 + B \sin \theta_2 + C \sin \theta_3$$

قيمة محصلة مجموعة المتجهات تكون هي نفسها محصله المركبات السينية و الصادية و تعطي بالمعادلة

$$\boxed{R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}} \tag{2-12}$$

ويمكن إيجاد اتجاه المحصلة أي الزاوية θ التي تصنعها مع المحور السيني من المعادلة

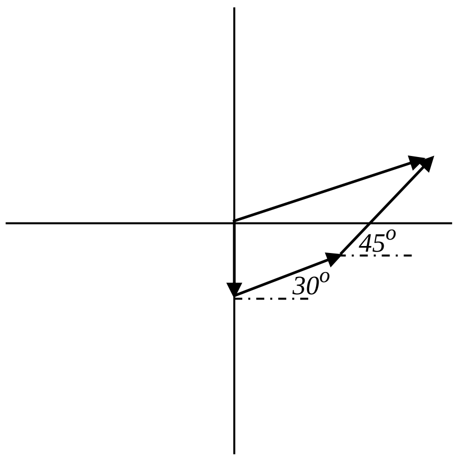
$$\boxed{\theta = \tan^{-1} \frac{R_y}{R_x}} \tag{2-13}$$

ويمكن كتابة محصلة مجموعة من المتجهات بصورتها الاتجاهية كما يلي**:**

$$\boxed{\mathbf{R} = \mathbf{A} + \mathbf{B} + \mathbf{C} = (A_x + B_x + C_x)\,\boldsymbol{i} + (A_y + B_y + C_y)\,\boldsymbol{j} + (A_z + B_z + C_z)\,\boldsymbol{k}} \tag{2-14}$$

مثال (٢)

يخرج سائح من مدينة غزة فيقطع مسافة *10 km* باتجاه الجنوب ، ثم يسير مسافة *15 km* باتجاه يصنع 30^o شمال شرق ثم يقطع مسافة *20 km* باتجاه الشمال الشرقي. ما هو موضع السائح بالنسبة لمدينة غزة ؟



شكل (٢-١٣) مثال (١)

الحل:

إن المسافات التي يقطعها السائح هي متجهات إزاحة لكل منها مقدار و اتجاه، فالمسألة هي جمع متجهات.

الرسم يوضح الحالات المتعاقبة لسير السائح و يوضح موقعه الحالي من مدينة غزة والتي تمثل نقطة الأصل، ولإيجاد قيمة واتجاه المحصلة (الموضع بالنسبة لمدينة غزة) نعمل على تحليل الإزاحات الثلاثة في الاتجاهين السيني والصادي ثم نحسب المحصلة مقدارا واتجاها.

$R_x = 0 + 15 \cos 30 + 20 \cos 45 = 15 \times 0.866 + 20 \times 0.707 = 27.13\ Km$

$R_y = -10 + 15 \sin 30 + 20 \sin 45 = -10 + 15 \times 0.5 + 20 \times 0.707 = 11.64\ Km$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(27.13)^2 + (11.64)^2} = \sqrt{736 + 135.5} = \sqrt{871.5} = 29.5 Km$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{11.64}{27.13} = \tan^{-1} 0.429$$

$$\theta = 23.2^O$$

ملاحظة/ يمكن كتابة المحصلة بصورتها الاتجاهية كما يلي:

$\mathbf{R} = R_x\, \boldsymbol{i} + R_y\, \boldsymbol{j} = 27.13\, \boldsymbol{i} + 11.64\, \boldsymbol{j}$

مسائل على الفصل الثاني

١- سيارة تتحرك *5km* باتجاه الجنوب بعد ذلك *2km* باتجاه الغرب. أوجد محصله الإزاحة (مقداراً و اتجاها).

٢- سيارة تقطع مسافة $20km$ شمالاً و بعد ذلك تقطع مسافة $35km$ باتجاه 60° غرب الشمال . أوجد مقدار و اتجاه محصله الإزاحة .

٣- إذا كان **A** يمثل إزاحة مقدارها $3m$ باتجاه يصنع 30° مع الاتجاه الموجب للمحور السيني و كانت ***B*** تمثل إزاحة مقدارها $3m$ بالاتجاه الموجب للمحور الصادي. أوجد بيانياً ما يلي

ا) **A + B**   ب) **A - B**   ج) **B - A**   د) 3**A - B**

٤- المتجه **A** يصنع زاوية مقدارها θ مع الاتجاه الموجب لمحور السينات . أوجد مركبات **A** قي الحالات التالية :

ا) $\theta = 60^{\circ}$, $A = 8m$

ب) $\theta = 120^{\circ}$, $A = 6m$

ج) $\theta = 225^{\circ}$, $A = 12m$

٥- أوجد محصلة القوى الآتية التي تؤثر في نقطه على جسم علماً بأنها مقدره بالنيوتن :

150 بزاوية 20° ، 100 بزاوية 120° ، 80 بزاوية 170° ، 120 بزاوية 240° و جميع الزوايا مقاسه بالنسبة للاتجاه الموجب لمحور السينات .

****

الفصل الثالث

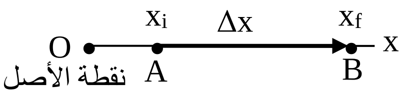
الحركة الخطية المنتظمة

الحركة الخطية المنتظمة
Linear Motion

تعتبر الحركة من المواضيع الهامة التي يتحتم علينا دراستها ابتداءً من حركه الجسيمات الصغيرة إلي كرة القدم و السيارة وانتهاءً بحركة النجوم والكواكب. ويسمى العلم الذي يبحث في حركة الجسيمات بعلم الميكانيكا . في هذا الفصل سندرس حركة الجسيمات في خط مستقيم ومن خلاله أيضا سنتعرف على مفاهيم الإزاحة والسرعة والتسارع وعلاقتها ببعضها البعض ومع الزمن أيضا.

٣-١ الإزاحة Displacement

نعرف إزاحة الجسم بأنها التغير في موضعه بالنسبة إلى نقطه إسناد (مرجع) معينة وهي كمية متجهة تعتمد على نقطة البداية ونقطة النهاية بغض النظر عن المسار الذي يتبعه الجسم في تحركه.



شكل (٣-١) Δx تمثل إزاحة الجسم على خط مستقيم من الموضع A إلى الموضع B

عندما يتحرك جسم على خط مستقيم و ليكن محور x فإن اتجاه حركته يكون محدداً على هذا المحور. أي أن إزاحة الجسم هي Δx فإذا كانت موجبة فإن ذلك يعني أنها باتجاه محور x الموجب و إذا كانت سالبة فيعني أنها باتجاه محور x السالب. يبين الشكل (٣-١) جسماً ينتقل على محور x من الموضع الابتدائي A عند زمن t_i إلي الموضع النهائي B عند زمن t_f. إزاحة الجسم تعطى حسب الصيغة التالية:

$$\boxed{\Delta x = x_f - x_i} \qquad (3\text{-}1)$$

ملاحظة/ يجب التفريق بين المسافة distance والإزاحة displacement حيث أن المسافة تمثل الطول الفعلي للمسار الذي يقطعه الجسم وهي كمية قياسية ، أما الإزاحة فتمثل أقصر مسافة بين نقطة البداية ونقطة النهاية وهي كمية متجهة.

٣-٢ السرعة (الاتجاهية) المتوسطة Average velocity

نعلم أن حركة جسم ما من موضع عند زمن ابتدائي t_i إلى موضع آخر عند زمن نهائي t_f تستغرق فترة زمنية Δt. تعرّف السرعة المتوسطة بأنها نسبة الإزاحة إلى الزمن واتجاهها هو اتجاه الإزاحة وتعطى بالعلاقة :

$$\boxed{\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}} \qquad (3\text{-}2)$$

٣-٣ السرعة (الاتجاهية) اللحظية Instantaneous velocity

تعرف على أنها معدل تغير متجه الموضع بالنسبة للزمن وهي تعبر عن سرعة الجسم عند لحظة معينة

وتعطى حسب العلاقة :

$$\boxed{v = \frac{dx}{dt}} \qquad (3\text{-}3)$$

٣-٤ السرعة القياسية المتوسطة Average speed

نعرف متوسط السرعة القياسية لجسم ما بأنها نسبة المسافة الكلية التي يقطعها الجسم للزمن الكلي ، وإذا رمزنا للسرعة القياسية بالرمز **s** إن :

$$\boxed{s = \frac{d}{t}} \qquad (3\text{-}4)$$

حيث d المسافة الكلية المقطوعة خلال زمن مقداره t.

٣-٥ التسارع المتوسط Average acceleration

عندما يتحرك جسم ما بسرعة معينة على خط مستقيم و تزداد سرعته نقول بأنه يتسارع وإذا تناقصت سرعته فنقول أن تسارعه سالب أي أنه يتباطأ وبشكل عام نعرف متوسط التسارع (العجلة المتوسطة) a بأنه نسبة تغير السرعة اللحظية للزمن.

$$\boxed{\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}} \qquad (3\text{-}5)$$

٣-٦ التسارع اللحظي Instantaneous acceleration

يعرف على أنه معدل تغير السرعة اللحظية بالنسبة للزمن وتعطى حسب العلاقة :

$$a = \frac{dv}{dt} \qquad (3\text{-}8)$$

مثال (٣-١)

يتحرك جسم من نقطة الأصل شرقاً مسافة 40m في ست ثواني ، ثم غرباً مسافة 20m في أربع ثواني ، و أخيراً شرقاً مسافة 60m في عشر ثواني . أوجد

أ) إزاحة الجسم

ب) متوسط سرعته المتجهة

ج) متوسط سرعته المتجهة خلال الفترة الزمنية الثانية .

د) المسافة الكلية التي يقطعها

هـ) متوسط سرعته القياسية.

الحل:

أ) بما أن الجسم يتحرك من نقطه الأصل على خط مستقيم فتكون إزاحة الجسم

$$\Delta x = x_1 + x_2 + x_3$$

وحيث أن الإزاحة كمية متجهة فإنه يجب الأخذ بعين الاعتبار إشارة الإزاحات الثلاثة وعليه فإن الإزاحة الكلية

$$\Delta x = 40m - 20m + 60m = 80m$$

وحيث أن الإزاحة موجبة فإنها تكون باتجاه الشرق.

ب) متوسط السرعة المتجهة

$$\bar{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{80m}{6s + 4s + 10s} = 4\ m/s$$

وبما أنها موجبه فهي أيضاً في اتجاه الشرق.

ج) في الفترة الزمنية الثانية كانت

التغير في المسافة $= \Delta x = (20 - 40)m = -20m$

التغير في الزمن $= \Delta t = 4s$

$$\bar{v} = \frac{-20m}{4s} = -5\ m/s$$

و بما أنها سالبه تكون باتجاه الغرب.

د) المسافة الكلية التي يقطعها الجسم

المسافة $= d = 40m + 20m + 60m = 120m$

ه) معدل سرعته القياسية

$$s = \frac{d}{t} = \frac{120m}{6s + 4s + 10s} = 6\ m/s$$

و تختلف عن متوسط سرعة الجسم المتجهة و التي مقدارها $4\ m/s$.

٣-٧ الحركة الخطية بعجله منتظمة Linear motion with constant acceleration

عندما يتحرك جسم ما بسرعة متزايدة أو متناقصة بمعدل ثابت فإن حركته تكون بعجله منتظمة a تعرف بأنها السرعة بالنسبة للزمن.

دعنا نفترض أن جسماً ما يسير بسرعة $v_1 = v_0$ عند بداية الحركة $t_1=0$ و بعد زمن معين $t_2 = t$ أصبحت سرعته $v_2 = v$ فإن التسارع (عجلة الجسم)

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{V - V_0}{t - 0} \qquad (3\text{-}9)$$

وتتلخص قوانين الحركة الخطية ذات العجلة المنتظمة فيما يأتي:

أولاً: إذا كان الجسم يتحرك بسرعة ابتدائية v_0 وبعجلة منتظمة a ، فمن المعادلة (3-9) تكون سرعته v عند الزمن t هي

$$v = v_0 + at \qquad (3\text{-}10)$$

ثانياً: إذا كانت المسافة التي يقطعها الجسم خلال الزمن t هي x فإن:

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \qquad (3\text{-}11)$$

وهذه العلاقة تربط بين المتغيرات الثلاث t و a و x

ثالثاً : من تعريف العجلة

$$a = \frac{V - V_0}{t} \qquad \therefore \; t = \frac{V - V_0}{a}$$

إذا عوضنا في العلاقة (3-11) عن قيمه t نحصل على**:**

$$\boxed{V^2 = V_0^2 + 2ax} \qquad (3\text{-}12)$$

مثال (٣-٢)

يتحرك جسم من السكون بتسارع منتظم $5\ m/s^2$. جد سرعته بعد مضي ثلاث ثوان على حركته.

الحل:

$$v_0 = 0 \quad , t = 3\ s \quad , a = 5\ m/s^2$$

$$v = v_0 + at$$

$$v = 0 + (5)\ (3) = 15\ m/s$$

مثال (٣-٣)

تتسارع طائرة بدءا من السكون إلى أن تصل سرعتها إلى *360 Km/hr* وهي السرعة اللازمة للإقلاع . جد التسارع اللازم لذلك إذا كان طول المدرج *1200 m* .

الحل:

$$v_0 = 0 \quad , \quad v = 360\ Km/hr = 360 \times 10^3 / 60 \times 60 = 100\ m/s$$

$$x = 1200\ m$$

$$v^2 = v_0^2 + 2ax$$

$$(100)^2 = 0 + 2\ (a)\ (1200) \Rightarrow 10000 = 2400\ (a)$$

$$a = 10000 / 2400 = 4.16\ m/s^2$$

مثال (٣-٤)

تتحرك سيارة من السكون على خط مستقيم بتسارع منتظم مقداره $2.5\ m/s^2$. جد

أ) الزمن اللازم حتى تقطع مسافة *50 m* .

ب) سرعتها في نهاية هذه الفترة.

الحل:

$$v_0 = 0 \quad , \quad a = 2.5\ m/s^2 \quad , \quad x = 50\ m$$

$$v^2 = v_0^2 + 2ax$$

أ)

$$x = v_0 t + 1/2\ at^2 \Rightarrow 50 = (0)\ (t) + 1/2\ (2.5)\ t^2$$

$$50 = (2.5 / 2)\ t^2 = 1.25\ t^2$$

$$t^2 = 50 / 1.25 = 40$$

$$t = (40)^{1/2} = 6.32\ s$$

ب)

$$v = v_0 + at \Rightarrow v = 0 + (2.5)\ (6.32) = 15.8\ m/s.$$

مثال (٣-٥)

كانت حافلة تسير على خط مستقيم بسرعة $45\ km/hr$ ، عندما شاهد سائقها حائطا أمامه استعمل الفرملة لإيقاف الحافلة ، ولكنه اصطدم بالحائط بعد أربع ثوان من بداية استعمال الفرملة. فإذا كان الحائط على بعد $40\ m$ من مقدمة الحافلة جد:

أ) تسارع (تباطؤ) السيارة قبل التصادم.

ب) سرعة السيارة لحظة التصادم.

الحل:

أ) لدينا المعلومات التالية

$$t = 4\ sec$$

$$v_0 = 45\ km/hr = 45\ (1000\ m / 60 \times 60\ sec) = 12.5\ m/s$$

$$x = 40\ m$$

$$x = v_0t + 1/2\ at^2$$

$$40 = (12.5)\ (4) + (1/2)\ a\ (4)^2$$

$$a = -\ 1.5\ m/s^2$$

نلاحظ ظهور إشارة سالب وهذا يعني أن تسارع السيارة كان بالاتجاه المعاكس لحركتها (تباطؤ).

ب) أصبحت لدينا جميع المتغيرات معلومة ما عدا السرعة النهائية لحظة التصادم ، وبالتالي:

$$v = v_0 + at \Rightarrow v = 12.5 + (-1.25)\ (4) = 7.5\ m/s.$$

٣-٨ قوانين نيوتن للحركة Newton's law of motion

وضع نيوتن ثلاثة قوانين أساسية للحركة هي :

القانون الأول:

يظل الجسم الساكن في حالة سكون ما لم تؤثر عليه قوة تغير من حالته . و كذلك الجسم المتحرك بسرعة منتظمة في خط مستقيم يظل على حركته ما لم تؤثر عليه قوى تغير من حالته .

و يوضح هذا القانون خاصية القصور للأجسام . فالجسم الساكن يقاوم أي تغير في حالة سكونه و كذلك الجسم المتحرك بسرعة منتظمة يقاوم أي تغير في حالة حركته. وهذا هو ما يعرف بالقصور الذاتي للأجسام.

القانون الثاني:

إذا أثرنا بقوة F على جسم ما فإنها تحدث أو تحاول أن تحدث تغيراً في حالة الجسم عن حالة سكونه أو حركته الخطية بسرعة منتظمة. وعندما تتغير حالة الجسم تحدث عجلة تسارع a يكون اتجاهها في نفس اتجاه القوة المؤثرة.

و قد وجد نيوتن أن النسبة بين القوة المؤثرة إلى العجلة الناتجة تكون دائماً ثابتة للجسم الواحد و تساوي كمية المادة بداخله أي كتلته.

$$\boxed{F = m\ .\ a} \qquad (3\text{-}13)$$

إذا كان زمن تأثير القوة هو t و كان مقدار التغير في سرعة الجسم في تلك الفترة هو Δv فمن تعريف العجلة

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

∴ معادلة القوة (3-13) تكون

$$F = m\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$F \, . \, \Delta t = m \, \Delta v = m \, (v_2 - v_1) = mv_2 - mv_1$$

حيث v_2 , v_1 هما سرعتا الجسم عند البدء وعند الانتهاء من تأثير القوة أو على طرفي الفترة الزمنية Δt.

الكمية mv تعرف بكمية الحركة ويرمز لها بالرمز P وتقاس بوحدة $Kg.m/sec$ وتعطى حسب العلاقة

$$\boxed{P = mv} \qquad (3\text{-}14)$$

ولما كان حاصل ضرب القوة × الزمن يساوي دفع القوة (Impulse)

$$\boxed{I = F \, . \, \Delta t}$$

حيث I هي الدفع ، فإنه يمكن بذلك كتابة القانون التالي:

$$\boxed{I = \Delta P = P_2 - P_1 = mv_2 - mv_1} \qquad (3\text{-}15)$$

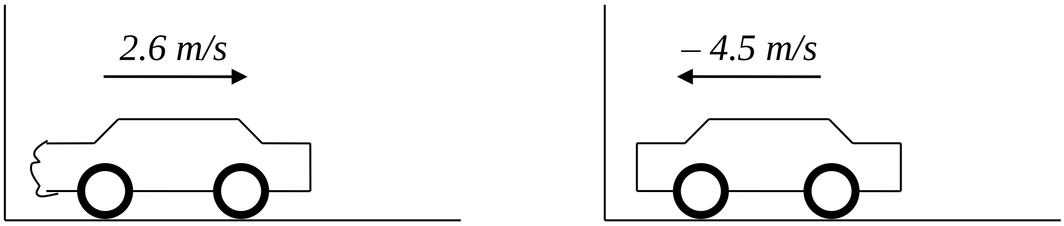
بمعنى أن التغير في كمية حركة جسم يساوي دفع القوة المؤثرة والمسببة لهدا التغير، ووحدة قياس الدفع هي نفس وحدة قياس كمية التحرك ($Kg.m/sec$).

مثال (٣-٦)

سيارة كتلتها $1500 \, kg$ تصطدم بجدار كما هو موضح بالشكل (٣-٢). السرعة الابتدائية للسيارة $v_i = 4.5 \, m/s$ باتجاه اليسار والسرعة النهائية $v_f = 2.6 \, m/s$ باتجاه اليمين.

أ) جد الدفع الناشيء عن التصادم.

ب) إذا كان متوسط القوة المبذولة على السيارة هي $F = 1.76 \times 10^5 \, N$ جد زمن التصادم Δt.



بعد التصادم شكل (٣-٢) قبل التصادم

الحل:

أ) نعتبر أن الاتجاه الموجب هو الاتجاه إلى اليمين والسالب إلى اليسار.

$$I = \Delta P = P_2 - P_1 = mv_2 - mv_1$$

$$I = m\,(v_2 - v_1) = 1500\,\{2.6 - (-4.5)\}$$

$$I = 1500\,\{2.6 + 4.5\} = 1.07 \times 10^4\ kg\ .\ m/s$$

ب)

$$I = F\ .\ \Delta t$$

$$\Delta t = I\,/\,F = 1.07 \times 10^4\,/\,1.76 \times 10^5$$

$$\Delta t = 60.5 \times 10^{-3}\ sec$$

الكتلة والوزن Mass & Weight

الكتلة: هي مقدار ما يحتويه الجسم من مادة.

الوزن: هو قوة جذب الأرض للجسم.

فإذا كانت كتلة الجسم هي m وعجلة الجاذبية الأرضية هي $\boldsymbol{g}$ فإن وزن الجسم $\boldsymbol{W}$ يُعطى حسب العلاقة التالية:

$$\boxed{\boldsymbol{W} = m\,\boldsymbol{g}} \qquad (3\text{-}16)$$

ويلاحظ هنا أن وزن الجسم كمية متجهة أما كتلة الجسم فهي كمية غير متجهة.

القانون الثالث:

إذا أثر جسم بقوة ما على جسم آخر فإن هذا الجسم الثاني يؤثر بقوة مساوية في المقدار و مضادة في الاتجاه للقوة الأولى . أي أن لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار و مضاد له في الاتجاه.

٣-٩ قانون بقاء كمية الحركة Law of conservation of momentum

إذا تصادم جسمان تتغير كمية حركة كلٍ منهما و لذلك يؤثر كلٍ منهما بقوة على الآخر. إذا لم يؤثر على أيٍ منهما أثناء التصادم قوى خارجية ، أي أنهما يكونان مجموعه معزولة فإن كمية الحركة الكلية للجسمين قبل التصادم تساوي تماماً كمية الحركة للجسمين بعد التصادم و يسمى هذا القانون بقانون بقاء كمية الحركة.

و يمكن إثباته رياضياً باعتبار تصادم كرتين كتلتيهما m_1 ، m_2 تتحركان بسرعتين ابتدائيتين $\boldsymbol{v}_1$ ، $\boldsymbol{v}_2$ على الترتيب. عندما تتصادم الكرتان تؤثر الكرة الأولى على الثانية بقوة $\boldsymbol{F}_2$ وتؤثر الثانية على الأولى بقوة $\boldsymbol{F}_1$ بحيث $\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2$. وذلك حسب قانون نيوتن الثالث. وإذا كان زمن التصادم هو Δt وتغيرت سرعتي الكرتين بعد التصادم إلى $\boldsymbol{v}_1'$ ، $\boldsymbol{v}_2'$ فبتطبيق قانون نيوتن الثاني على كل من الكرتين نجد أن:

$$\boldsymbol{F}_1 = m_1 (\boldsymbol{v}_1' - \boldsymbol{v}_1) / \Delta t$$

$$\boldsymbol{F}_2 = m_2 (\boldsymbol{v}_2' - \boldsymbol{v}_2) / \Delta t$$

وحيث أن

$$\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2$$

$$m_1 (\boldsymbol{v}_1' - \boldsymbol{v}_1) / \Delta t = - m_2 (\boldsymbol{v}_2' - \boldsymbol{v}_2) / \Delta t$$

$$\boxed{\therefore\ m_1 \boldsymbol{v}_1 + m_2 \boldsymbol{v}_2 = m_1 \boldsymbol{v}_1' + m_2 \boldsymbol{v}_2'} \qquad (3\text{-}17)$$

وهذا يثبت عدم تعير كمية الحركة الكلية قبل وبعد التصادم وهذا ما يُعرف بقانون بقاء كمية الحركة.

أما إذا التحم الجسمين المتصادمين ليُكونا جسما واحدا بعد التصادم سرعته v' فإن

$$\mathrm{v}_1' = \mathrm{v}_2' = \mathrm{v}'$$

وعليه فإن قانون بقاء كمية الحركة يكتب على الصورة التالية:

$$\boxed{\therefore\ m_1 \boldsymbol{v}_1 + m_2 \boldsymbol{v}_2 = (m_1 + m_2)\, \boldsymbol{v}'} \qquad (3\text{-}18)$$

مثال (٣-٧)

أطلقت رصاصه كتلتها $2gm$ على كتله خشبية كتلتها $600gm$ معلقه بخيط خفيف فإذا كانت سرعة الرصاصة $28000\ cm/s$ أوجد السرعة التي تكتسبها كتلة الخشب علماً بأن الرصاصة استقرت في الخشب.

الحل:

يلاحظ أن السرعة الابتدائية لكتلة الخشب $v_2 = 0$

والسرعة النهائية للرصاصة v_1' هي نفس السرعة النهائية لكتلة الخشب v_2' حيث أنهما أصبحتا جسماً واحداً وعليه يمكن كتابة

$$m_1 \mathbf{v}_1 + m_2 \mathbf{v}_2 = (m_1 + m_2)\, \mathbf{v}'$$

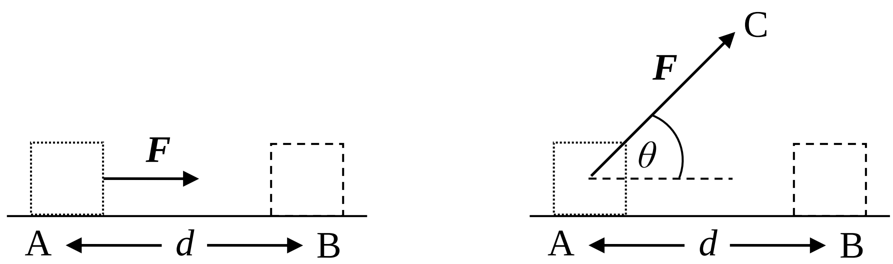
$$2\,(28000) + 0 = (2 + 600)\, v'$$

$$v' = 56000 / 602 = 93.3\ cm/sec$$

٣-١٠ الشغل والطاقة Work and energy

تُحدث القوة شغلاً على جسم ما إذا غيرت من موضع هذا الجسم . و تعريف الشغل هو حاصل ضرب الإزاحة التي يتحركها الجسم في مركبة القوة باتجاه الإزاحة. فمثلاً إذا أثرت قوة $\boldsymbol{F}$ في الاتجاه من الموضع A إلى الموضع B ، ثم تحرك الجسم مسافة d في هذا الاتجاه كما بالشكل (٣-٣) يكون الشغل المبذول هو

$$W = F.d \tag{3-19}$$



شكل (٣-٣)

أما إذا كان اتجاه القوة $\boldsymbol{F}$ بالاتجاه من A إلى C فإن الشغل المبذول يكون

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

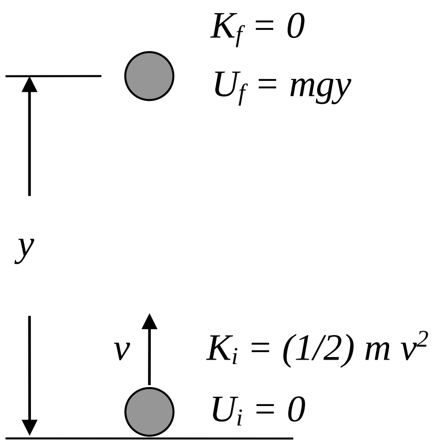
$$\boxed{W = F\, d \cos\theta} \tag{3-19}$$

حيث مقدار الإزاحة التي تحركتها الكتلة هي d و($F \cos \theta$) هي مركبة القوة $\boldsymbol{F}$ في اتجاه الإزاحة $\boldsymbol{d}$. يتضح من القانون السابق أن الشغل يكون موجبا إذا كانت القوة باتجاه الإزاحة لأن ($\cos 0 = 1$)، ويكون سالبا إذا كانت القوة معاكسة لاتجاه الإزاحة لأن ($\cos 180^0 = -1$).

وحدة قياس الشغل هي داين.سم (إرج erg) أو نيوتن.متر (جول *joule*) وهو وحدة كبيرة حيث

١ جول = ١٠^٧ (داين.سم) = ١٠^٧ إرج.

ومن الملاحظ دائماً أنه كلما بذل شغل في مجموعه معزولة من الأجسام التي تؤثر عليها قوى يحدث تغيرات في الطاقة الداخلية لها . فمثلاً الشغل المبذول لرفع جسم ما يزيد من الطاقة الكامنة فيه بفضل موضعه وتسمى هذه الطاقة بطاقة الوضع ويرمز لها بالرمز U كما بالشكل (٣-٤). أيضاً الشغل المبذول في التغلب على قوى الاحتكاك يرفع من الطاقة الحرارية للجسم . وهكذا... نستخلص القانون الآتي:



شكل ٣-٤

قانون الشغل والطاقة

" التغير في طاقة وضع جسم أو مجموعة أجسام معزولة يساوي تماماً مقدار الشغل المبذول عليها "

الشغل المبذول = التغير في طاقة الجسم

$$W = -\Delta U$$

الإشارة السالبة للشغل تعني أنه حصل فقد لطاقة حركة الجسم، فمثلا إذا قذف جسم لأعلى فإن طاقة حركته ستقل وتتحول إلى طاقة وضع (انظر الشكل ٣-٤).

مثال (٣-٨)

جسم كتلته 2Kg يتحرك تحت تأثير قوة ($F=20N$) تصنع زاوية مقدارها 37^0 كما بالشكل (٣-٥). فإذا تحرك الجسم مسافة مقدارها ($d=4m$) على سطح أملس، احسب الشغل المبذول بواسطة القوة F.

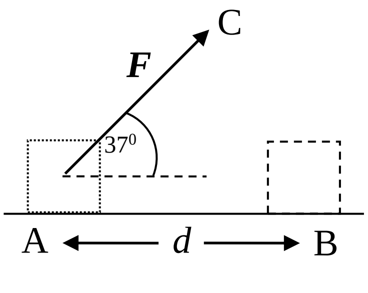
الحل:

حيث أن القوة تصنع مع الإزاحة زاوية θ فنستخدم العلاقة

$$W = F\, d \cos \theta$$

بالتعويض نجد أن

$$W = (20)\,(4)\,(\cos 37^0) = 63.9\ J$$



شكل (٣-٥)

مثال (٣-٩)

قذفت كرة كتلتها $2Kg$ إلى أعلى مسافة مقدارها $(d=4m)$. احسب الشغل المبذول بواسطة قوة الجاذبية الأرضية.

الحل:

حيث أن الجسم قذف إلى أعلى فإن الإزاحة تكون إلى أعلى في حين أن القوة المؤثرة على الجسم وهي قوة الجاذبية الأرضية إلى أسفل، أي أن القوة تصنع مع الإزاحة زاوية مقدارها 180^0.

$$W = F\, d \cos \theta$$

بالتعويض نجد أن

$$W = (20)\ (4)\ (\cos 180^0) = -\ 80\ J$$

الإشارة السالبة تعني أنه قد حصل فقد لطاقة حركة الكرة.

ملاحظة/ لو أن الجسم سقط من أعلى إلى أسفل بنفس المسافة d فإن الشغل المبذول بواسطة الجاذبية سيكون موجبا وقيمته $80J$ والإشارة الموجبة تعني أن هناك زيادة في طاقة الحركة.

٣-١١ طاقة الوضع وطاقة الحركة Potential and kinetic energy

عند قذف جسم كتلته m إلى أعلى فإن القوة المؤثرة عليه تساوي وزن الجسم أي أن:

$$F = mg$$

حيث g عجلة الجاذبية الأرضية، وحسب قانون الشغل والطاقة تكون الزيادة في طاقة الجسم – عند رفعه مسافة رأسية y – مساوية للشغل الذي تبذله القوة، أي أن:

$$\Delta U = -\ W = -\ (-\ Fy) = mgy$$

حيث $(\Delta U = U_f - U_i)$ هي التغير في طاقة الوضع. وإذا اعتبرنا أن الجسم بدأ بطاقة وضع ابتدائية $(U_i = 0)$ وانتهى عند طاقة وضع نهائية $(U_f = U)$ فإن

$$\boxed{U = mgy} \qquad (3\text{-}20)$$

هذه الزيادة في طاقة الوضع للجسم هي التي اكتسبها برفعه المسافة العمودية y، ومن الجدير بالذكر هنا أن الزيادة في طاقة الوضع هذه لا تتوقف على المسار الذي يتحرك فيه الجسم عند رفعه.

عندما يتحرك جسم ما فإنه يكتسب طاقة بفضل تلك الحركة ويمكن إيجاد مقدار هذه الطاقة باستخدام قانون الحركة الخطية تحت تأثير عجلة الجاذبية الأرضية g:

$$v^2 = v_0^2 - 2ax$$

فعندما تؤثر قوةعلى جسم متحرك بحيث تغير سرعته من v_0 إلى v فإنها تبذل شغلا يمكن حسابه من المعادلة السابقة كما يلي:

$$\frac{1}{2}\left(v^2 - v_0^2\right) = -gy \qquad (3\text{-}21)$$

حيث تم استبدال التسارع a بعجلة الجاذبية g والمسافة x بالمسافة الرأسية y، وبضرب طرفي المعادلة (3-21) في الكتلة m نحصل على:

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -mgy = W$$

الكمية $\frac{1}{2}mv^2$ تعرف بطاقة حركة الجسم ويرمز لها بالرمز K، أي أن:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (3\text{-}21)$$

وعليه فإن

$$\boxed{K_f - K_i = \Delta K = W} \qquad (3\text{-}22)$$

الكمية W هي الشغل الذي بذلته القوة ويساوي طاقة حركة الجسم النهائية مطروحا منها طاقة حركته الابتدائية وتعرف طاقة حركة الجسم بنصف حاصل ضرب كتلة الجسم في مربع سرعته.

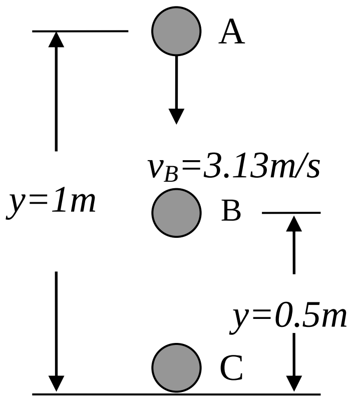
مثال (٣-١٠)

سقطت كرة كتلتها $1Kg$ من السكون من ارتفاع $1m$ عند النقطة A فوصلت النقطة B - والتي تقع على ارتفاع $0.5m$ من سطح الأرض - بسرعة مقدارها $3.13m/s$ كما بالشكل (٣-٦). احسب كل من

أ) طاقة الوضع وطاقة الحركة عند النقطة A.

ب) طاقة الوضع وطاقة الحركة عند النقطة B.

ت) طاقة الوضع وطاقة الحركة عند وصول الكرة إلى سطح الأرض.



شكل ٣-٦

الحل:

أ) عند النقطة A تكون الكرة على ارتفاع $y=1m$ لذلك فإن طاقة وضعها تساوي

$$U_A = mgy = (1)\ (9.8)\ (1) = 9.8\ J$$

أما طاقة حركتها عند A فتساوي صفرا ($K_A=0$) لأنها بدأت حركتها من السكون ($v_A=0$).

ب) طاقة الوضع عند النقطة B

$$U_B = mgy = (1)\ (9.8)\ (0.5) = 4.9\ J$$

طاقة الحركة عند النقطة B تساوي

$$K_B = (1/2)\ m\ v^2$$

$$K_B = (1/2)\ (1)\ (3.13)^2 = 4.9\ J$$

ت) طاقة الوضع عند سطح الأرض تساوي صفرا ($U=0$) لأن $y=0$.

لحساب طاقة حركتها عند سطح الأرض يجب حساب سرعتها أولا لحظة وصولها للأرض وذلك باستخدام معادلات الحركة في خط مستقيم.

$$v^2 = v_0^2 + 2ay$$

$$v^2 = (0)^2 + 2\ (9.8)\ (1) = 19.6\ m^2/s^2$$

$$K = (1/2)\ m\ v^2 = (1/2)\ (1)\ (19.6) = 9.8\ J$$

٣-١٢ قانون بقاء الطاقة Law of conservation of energy

يعتبر قانون بقاء الطاقة من القوانين الهامة جدا في الفيزياء وينص على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من عدم ويمكن أن تأخذ صورة أخرى، أي تتحول من نوع إلى آخر. فمثلا إذا سقط جسم من حالة السكون في مجال الجاذبية الأرضية فإنه يكتسب طاقة حركة تساوي تماما ما يفقده من طاقة وضع.

يمكن استنتاج قانون بقاء الطاقة من العلاقة السابقة حيث أن

$$K_f - K_i = W = -\Delta U = -(U_f - U_i) = -U_f + U_i$$

أو أن

$$\boxed{K_f + U_f = K_i + U_i} \qquad (3\text{-}23)$$

وبصورة أخرى

$$\boxed{E_f = E_i} \qquad (3\text{-}24)$$

حيث أن الكمية

$$\boxed{E = K + U} \qquad (3\text{-}24)$$

تسمى بالطاقة الميكانيكة وهي عبارة عن حاصل جمع طاقة الحركة وطاقة الوضع.

وأنواع الطاقة كثيرة، فبالإضافة إلى الطاقة الميكانيكية التي تشتمل طاقة الحركة وطاقة الوضع يوجد الطاقة الحرارية والكهربائية والمغناطيسية والطاقة الضوئية.

مثال (٣-١١)

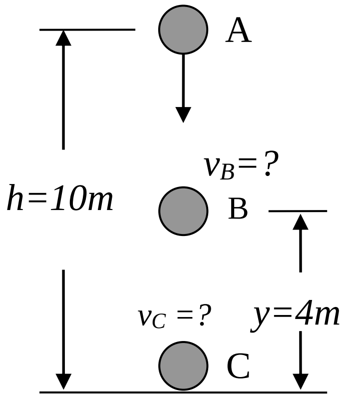
جسم صغير كتلته $m=2Kg$ أسقط من ارتفاع $h=10m$ فوق سطح الأرض كما بالشكل (٣-٧). مستخدما مبدأ حفظ الطاقة احسب ما يلي:

أ) سرعة الجسم على ارتفاع $y=4m$ من سطح الأرض.

ب) سرعة الجسم لحظة وصوله لسطح الأرض.

الحل:

أ) باستخدام مبدأ حفظ الطاقة بين النقطتين A و B نحصل على



شكل ٣-٧

$$K_A + U_A = K_B + U_B$$
$$0 + mgh = (1/2)\, m\, v_B^2 + mgy$$
$$2g\,(h - y) = v_B^2$$
$$v_B^2 = (2)\,(9.8)\,(10 - 4) = 117.6$$
$$v_B = 10.8\ m/s$$

ب) باستخدام مبدأ حفظ الطاقة بين النقطتين A و C نحصل على

$$K_A + U_A = K_C + U_C$$
$$0 + mgh = (1/2)\, m\, v_C^2 + 0$$
$$2g\, h = v_C^2$$
$$v_C^2 = (2)\,(9.8)\,(10\ ) = 196$$
$$v_C = 14\ m/s.$$

٣-١٣ الحركة الدائرية المنتظمة Uniform circular motion

إذا تحرك جسم على مسار دائري نقول بأن حركته دائرية. مثال ذلك حركة جسم مربوط في خيط ويدور حول حامله، وحركة سيارة على منعطف دائري، كذلك يمكن اعتبار حركة الأرض حول الشمس دائرية تقريبا.

إذا اعتبرنا حركة نقطة مادية بسرعة منتظمة v على محيط دائرة نصف قطرها r كما بالشكل (٣-٨) فإن اتجاه سرعتها يكون دائما باتجاه المماس للدائرة. إذا انتقلت النقطة المادية من الموضع A إلى الموضع B في زمن قدره Δt فإن قوس الدائرة يصنع زاوية $\Delta\theta$ عند المركز O.

السرعة الزاوية للحركة: تعرّف السرعة الزاوية ω بالمعادلة التالية

$$\omega = \Delta\theta / \Delta t$$

وعندما تكون Δt صغيرة جدا فإن قيمة ω تصبح السرعة الزاوية اللحظية للنقطة المتحركة حول المركز O ووحدتها زاوية نصف قطرية لكل ثانية (rad/sec).

السرعة المماسية للحركة: هي السرعة الخطية لنقطة متحركة على مسار دائري عند أي موضع ويكون اتجاهها باتجاه المماس ويرمز لها بالرمز v (انظر الشكل ٣-٨) ووحدتها هي m/s.

العلاقة التي تربط بين السرعتين الزاوية والمماسية هي:

$$\boxed{v = r\,\omega} \qquad (3\text{-}25)$$

حيث r هو نصف قطر الدوران.

إذا كان T هو الزمن الدوري (أي زمن الدورة الكاملة) فإن:

$$\boxed{\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n} \qquad (3\text{-}26)$$

حيث n هو التردد (أي عدد الدورات خلال الثانية الواحدة) ويعطى حسب العلاقة

$$\boxed{n = \frac{1}{T}} \qquad (3\text{-}27)$$

من المعادلتين (3-25) و (3-26) نجد أن:

$$v = r\omega = r\left(\frac{2\pi}{T}\right)$$

$$\boxed{v = \frac{2\pi r}{T}} \qquad (3\text{-}28)$$

أي أن السرعة = محيط الدائرة / الزمن الدوري.

وحيث أن السرعة v في الحركة الدائرية تكون متغيرة الاتجاه باستمرار، فإن هذا التغير في الاتجاه يتسبب في تسارع الجسم باتجاه المركز ويسمى التسارع هنا **بالتسارع المركزي** ويرمز له بالرمز a_r ويعطى حسب العلاقة التالية:

$$\boxed{a_r = \frac{v^2}{r}} \qquad (3\text{-}29)$$

مثال (٣-١١)

يدور القمر حول الأرض بمسار دائري نصف قطره $3.85\times10^5 Km$ ويكمل دورة كاملة خلال 27.3 يوم. احسب

أ) التسارع المركزي للقمر باتجاه الأرض.

ب) سرعته الزاوية.

الحل:

أ) زمن الدورة الواحد (الزمن الدوري) يساوي

$$T = 27.3 \times 24 \times 60 \times 60 = 2.36 \times 10^6 \ sec$$

يمكن حساب سرعة القمر كالتالي

$$v = 2\,\pi r / T$$

$$v = 2\,\pi (3.85 \times 10^5 \times 10^3) / 2.36 \times 10^6 = 1026 \ m/s$$

من هنا نجد أن التسارع المركزي يساوي

$$a_r = v^2 / r = (1026)^2 / 3.85 \times 10^8 = 2073 \times 10^{-3}$$

ب) السرعة الزاوية تعطى حسب العلاقة

$$\omega = 2\ \pi / T = 2\ \pi / 2.36 \times 10^6$$

$$\omega = 2.6 \times 10^{-6}\ rad/sec$$

ويمكن استخدام العلاقة

$$\omega = v / r = 1026 / 3.85 \times 10^8 = 2.6 \times 10^{-6}\ rad/sec$$

مسائل على الفصل الثالث

١ - إذا كنت تقود سيارة بسرعة *100km/hr* ونظرت جانبا لمدة ثانيتين، ما هي المسافة التي تقطعها السيارة خلال هذه الفترة.

٢- يتحرك جسم على خط مستقيم بسرعة *10m/s* مسافة *200m* ثم بسرعة *20m/s* مسافة *140m* في نفس الاتجاه.

أ) جد متوسط سرعة الجسم المتجهة خلال هذه الرحلة.

ب) احسب متوسط سرعته القياسية أيضا.

٣- يتحرك جسم على خط مستقيم بسرعة *10m/s* مسافة *200m* ثم بسرعة *20m/s* مسافة *140m* في الاتجاه المعاكس. جد متوسط سرعة الجسم المتجهة خلال هذه الرحلة ثم احسب متوسط سرعته القياسية أيضا.

٤- تسير عربة على منحدر بسرعة *10m/s* وتعود إلى حيث بدأت بسرعة *2m/s* . جد متوسط السرعة المتجهة خلال الرحلة بأكملها.

٥- سيارة تبدأ حركتها من السكون بتسارع منتظم، وبعد مضي *12* ثانية أصبحت سرعتها *120m/s* . احسب:

أ) تسارع السيارة.

ب) المسافة المقطوعة خلال هذه الفترة.

٦- جسم كان يتحرك بسرعة ثابتة قيمتها *6.4m/s* . إذا تسارع الجسم بعجلة منتظمة مقدارها $3.5m/s^2$ *لمدة* *2.8sec* فما هي سرعته النهائية بعد هذه الفترة.

٧- قطار يتحرك بتسارع منتظم فقطع مسافة *60m* خلال *6* ثواني، إذا كانت سرعته النهائية بانتهاء هذه الفترة هي *15m/s* فاحسب ما يلي:

أ) تسارع القطار.

ب) سرعته الابتدائية.

٨- احسب قيمة القوة المؤثرة على سيارة كتلتها *1800kg* وتسارعها $8m/s^2$.

٩- أثرت قوة قيمتها $50N$ على جسم كتلته $5kg$. ما هي العجلة التي ستحرك بها الجسم؟

١٠- احسب كمية تحرك جسم كتلته $3kg$ وسرعته $5m/s$.

١١- كرة كتلتها $1kg$ اصطدمت رأسيا بسطح الأرض بسرعة $20m/s$. إذا ارتدت الكرة لأعلى بسرعة $8m/s$ ، احسب :

أ) كمية تحرك الكرة قبل اصطدامها بالأرض.

ب) التغير في كمية تحرك الكرة.

ج) الدفع الناشئ على الكرة خلال تلامسها بالأرض.

د) إذا كان زمن التلامس بالأرض هو $0.02sec$ فما هي متوسط القوة المبذولة على الكرة؟

١٢- سيارة كتلتها $1500kg$ تسير بسرعة $30m/s$ اصطدمت بشاحنة كتلتها $800kg$ تسير بسرعة $20m/s$ في نفس الاتجاه. إذا تحركت السيارة والشاحنة معا كجسم واحد

أ) احسب السرعة النهائية لهما.

ب) هل كمية التحرك محفوظة قبل التصادم وبعده؟ وضح ذلك بالحساب.

١٣- أثرت قوة أفقية قيمتها $3N$ على كتلة خشبية فأزاحتها مسافة $10m$ أفقيا. احسب مقدار الشغل المبذول على الكتلة.

١٤- جسم كتلته 2Kg يتحرك تحت تأثير قوة ($F=20N$) تصنع زاوية مقدارها 37^0 كما بالشكل (٣-٥). فإذا تحرك الجسم مسافة مقدارها ($d=4m$) على سطح أملس، احسب الشغل المبذول بواسطة القوة F.

١٥- جسم كتلته $2kg$ يسقط من ارتفاع $5m$ تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية، احسب الشغل الناتج عن تأثير وزنه.

١٦- قذفت كرة إلى أعلى بسرعة ابتدائية $10m/s$ ، فإذا تباطأت الكرة بعجلة تقصيرية $a= -10m/s^2$ احسب

أ) أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة.

ب) إذا كانت كتلة الكرة $0.5kg$ فاحسب الطاقة الميكانيكية للكرة لحظة انطلاقها وكذلك عند وصولها أقصى ارتفاع. فسر النتائج التي حصلت عليها تفسيرا فيزيائيا.

١٧- يتحرك جسيم في مسار دائري بسرعة ثابتة مقدارها $6m/s$ ، إذا كان قطر المسار الدائري يساوي $3m$ ، احسب تسارع الجسيم.

١٨- يتحرك جسيم بسرعة ثابتة في مسار دائري نصف قطره $0.6m$ ، إذا كان الجسيم يعمل 6 دورات في الثانية الواحدة احسب

أ) السرعة الزاوية للجسيم.

ب) سرعته الخطية.

ج) تسارع الجسيم.

****

الفصل الرابع

الحرارة

٤-١ درجة الحرارة

٤-٢ أثر الحرارة على الأجسام

٤-٣ المقياس الترمومتري

٤-٤ الترمومترات

٤-٥ الحرارة كطاقة

٤-٦ انتقال الحرارة

٤-٧ التمدد الحراري للجوامد

الحرارة
Heat

٤-١ درجة الحرارة Temperature

هي المعدل الذي يدل على مقدار سخونة الجسم أو برودته مقاساً على أي مقياس اختياري لدرجات الحرارة . والحرارة تنتقل دائما من الجسم الساخن إلى الجسم البارد ، فالجسم الساخن يفقد حرارة والجسم البارد يكتسب حرارة مقارنة مع الأجسام المجاورة لكل منها . وللحرارة أهمية كبيرة في حياتنا اليومية فهي تؤثر في الحالة الجوية اليومية ، كما وأنها تساعدنا في إنجاز الكثير من الأعمال .

ومصادر الحرارة متعددة ، منها الشمس وتعد المصدر الرئيسي للحرارة على الأرض ، ومنها أيضا الاحتكاك ، وإشعال الوقود ، والوقود هو مادة قابلة للاحتراق تطلق حرارة وغالباً تطلق ضوءً عند احتراقها ، والكهرباء يعطينا الحرارة أيضاً .

٤-٢ أثر الحرارة على الأجسام Effect of heat on bodies

تتأثر الأجسام عند تعرضها للحرارة بنسب متفاوتة وبأشكال مختلفة حسب حالة المادة وتركيبها ، حيث تختلف بعض الخواص الطبيعية للمواد باختلاف درجة حرارتها ، فمثلاً يزداد طول قضيب من الصلب بازدياد درجة حرارته . هذه الزيادة في طول القضيب قد تستخدم للدلالة على درجة حرارته . وتسمى الأجهزة المستخدمة لقياس درجات الحرارة بالترمومترات . ومن أمثلة الخواص الطبيعية للمادة التي تختلف باختلاف درجة الحرارة هي ضغط الغازات عند ثبوت حجمها ، وحجمها عند ثبوت ضغطها ، ومقاومة الموصلات . وهذا هو الأساس الذي يبنى عليه عمل الترمومترات .

٤-٣ المقياس الترمومتري Thermometric scale

لعمل ترمومتر (مقياس لدرجات الحرارة) يجب مراعاة ما يلي:

١ – اختيار مادة ترمومترية تتغير خواصها الفيزيائية بتغير درجات الحرارة مثل تمدد السوائل أو الغازات ، أو تغير مقاومة سلك من البلاتين أو غير ذلك .

٢ – يلزم اختيار درجتي حرارة ثابتتين معروفتين وتؤخذ غالباً درجتا حرارة انصهار الجليد (نقطة سفلى) وغليان الماء (نقطة عليا) في الضغط الجوي العادي (٧٦ سم زئبق *76 cm Hg*) .

٣ – تقسّم المسافة بين هاتين الدرجتين إلى عدد من الأقسام المتساوية تسمى كل قسم منها درجة ، وتسمى الفترة بالدرجات بين النقطتين الثابتتين بالفترة الأساسية .

المقياس المئوي Centigrade (or Celsius) scale

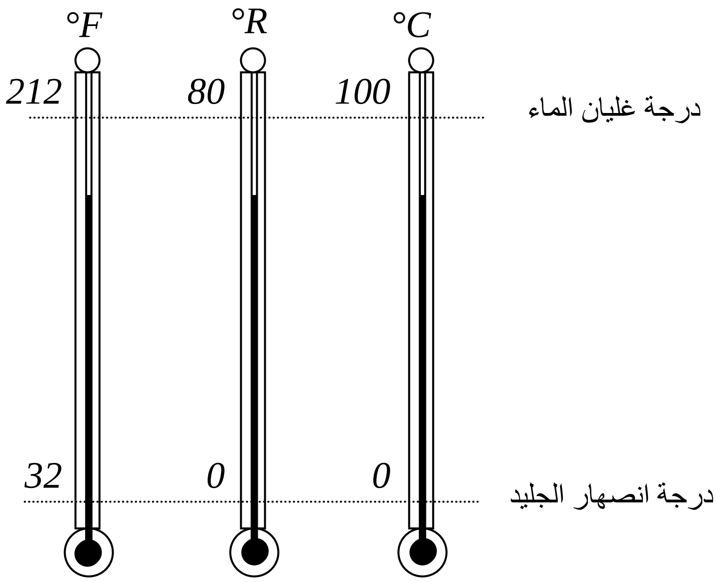
وفيه تقسم الفترة الأساسية إلى *100* قسم متساوٍ من صفر حتى ١٠٠°م (*100°C*) ، ويسمى أحياناً بمقياس سلسيوس نسبة إلى العالم (Celsius) .

مقياس ريومر Reaumer

في هذا المقياس تقسم الفترة الأساسية إلى *80* قسماً وتشير النقطة السفلى إلى *0°R* والعليا *80°R* .

المقياس الفهرنهيتي Fahrenheit scale

في هذا المقياس تقسم الفترة الأساسية إلى *180* قسماً متساوياً حيث تشير النقطة السفلى إلى *32°F* والعليا *212°F* .



شكل (٤-١) المقياس الترمومتري

العلاقة بين المقاييس الترمومترية

يمكن مقارنة هذه الأنظمة بالجدول الآتي :

المقياس الفهرنهيتي °F	مقياس ريومر °R	المقياس المئوي °C	النقطتين الثابتتين
32	صفر	صفر	انصهار الجليدMelting Point
212	80	100	غليان الماء Boiling Point

جدول (٤-١) العلاقة بين المقاييس الترمومترية

يمكن التحويل من أحد هذه المقاييس إلى الآخر باستخدام المعادلة التالية :

$$\boxed{\frac{C}{100}=\frac{F-32}{180}=\frac{R}{80}} \tag{4-1}$$

$$\frac{F-32}{C}=\frac{180}{100}=\frac{9}{5} \tag{4-2}$$

$$\boxed{F=\frac{9}{5}C+32} \tag{4-3}$$

مثال (٤-١)
احسب درجة حرارة إناء إذا كانت قيمتها مقاسة بترمومتر فهرنهيتي تساوي ضعف قيمتها مقاسة بترمومتر مئوي، ثم احسب درجة الحرارة التي تتساوى عندها القراءتان.

الحل:
أولا:

$$\because \frac{C}{100}=\frac{2C-32}{180}$$

وحيث أن $F=2C$ في هذه الحالة.
إذن بالتعويض ينتج أن:

$$\frac{C}{100}=\frac{2C-32}{180}$$

$$\therefore C=160^0C \quad , \qquad F=320^0F$$

ثانيا:

$$\because F=C \qquad \therefore \frac{C}{100}=\frac{C-32}{180}$$

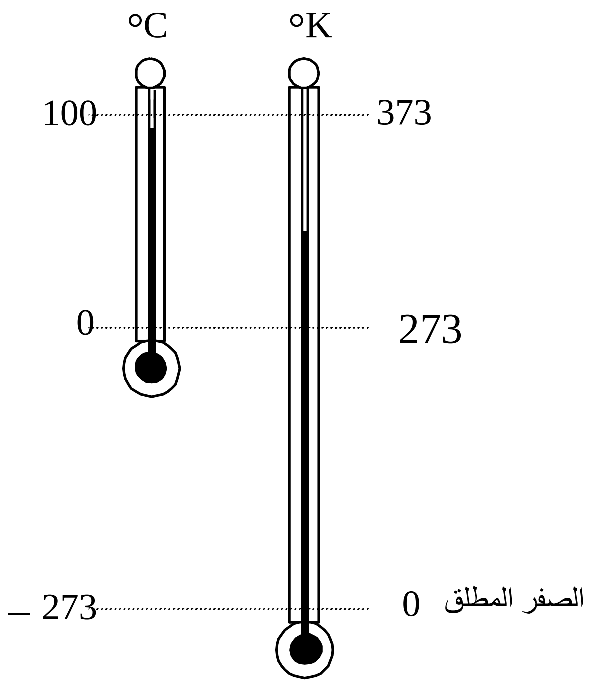
$$F=C=-40^0$$

المقياس المطلق Absolute (Kelvin) scale

يعرف الصفر المطلق بأنه درجة الحرارة التي يتلاشى عندها حجم الغاز نظرياً مع ثبوت الضغط.
درجة الصفر المطلق على المقياس المئوي هي $(-273°C)$ ، ويمكن التحويل من درجة الحرارة المئوية إلى درجة الحرارة المطلقة (الكلفن) باستخدام المعادلة :

$$K=C+273 \tag{4-4}$$

أي أن صفر المقياس المطلق يقع أسفل صفر المقياس المئوي نفسه بمقدار $273°$ ويقسم المقياسان بنفس الكيفية .



شكل (٤-٢) المقياس المطلق والمقياس المئوي

التعبير الرياضي للمقياس الترمومتري

نفرض أن X تمثل قيمة أي خاصية طبيعية تتغير بتغير درجة الحرارة ، مثل حجم معين أو طول قضيب مثلاً أو غير ذلك ، وأنّ :

X_o هي قيمة X عند درجة الصفر المئوي (انصهار الجليد).

X_{100} هي قيمة X عند درجة $100°C$ (غليان الماء).

X_T هي قيمة X عند درجة الحرارة المجهولة (T).

وعليه فإن التغير في قيمة X لدرجة مئوية واحدة تعطى حسب العلاقة:

$$\frac{X_T - X_0}{T - 0} = \frac{X_{100} - X_0}{100 - 0} \qquad (4\text{-}5)$$

$$T^0C = \frac{X_T - X_0}{X_{100} - X_0} \times 100 \qquad (4\text{-}6)$$

وبالمثل فإن التغير في قيمة X لدرجة فهرنهيتية واحدة تعطى حسب العلاقة:

$$\frac{X_T - X_{32}}{T - 32} = \frac{X_{212} - X_{32}}{212 - 32} \qquad (4\text{-}7)$$

$$T^0F = \frac{X_T - X_{32}}{X_{212} - X_{32}} \times 180 + 32 \qquad (4\text{-}8)$$

وحيث أن الخواص الطبيعية لا تتغير جميعها بنفس الكيفية ولا بنفس المعدل فإن لكل خاصية مقياساً ترمومترياً خاصاً بها ، أي أن درجة حرارة جسم ما مقاساً على مقياس خاصية معينة تختلف عن درجة حرارة نفس الجسم لو قيست على مقياس خاصية أخرى .

٤-٤ الترمومترات Thermometers

أ- الترمومتر الزئبقي

١- يعتبر الزئبق من أنسب السوائل في صنع الترمومترات فهو يتجمد في درجة حرارة $-40C^0$ و يغلي في درجة $357C^0$. و هو يتمدد بانتظام كما أنه غير شفاف فيمكن رؤيته بسهولة خلال الزجاج و لا يعلق بالجدار الزجاجي ثم أنه يأخذ درجة حرارة ما يلامسه من الأجسام بسرعة و معامل تمدده كبير نسبيا .

٢- يصنع الترمومتر من أنبوبة شعرية سميكة الجدار و منتظمة المقطع و تنتهي من أسفل بمستودع من الزجاج به زئبق و الأنبوبة مغلقة من أعلى و مفرغة من الهواء .

٣- و يستخدم الزئبق في عمل الترمومتر الطبي الذي يستخدم لقياس درجة حرارة الإنسان و لذلك فهو يدرج فقط من $35C^0$ إلى $42C^0$ أو من $95F^0$ حتى $110F^0$ و يمتاز بوجود انثناء خفيف في الأنبوبة الترمومترية فوق مستودع الزئبق مباشرة فيمر الزئبق من هذا الانثناء عند ارتفاع درجة الحرارة بينما لا يستطيع الرجوع إلى المستودع إلا إذا هززنا الترمومتر.

ب - الترمومتر الكحولي

يمكن استخدامه لقياس درجات حرارة منخفضة إلى $-110\ C^0$ ، و يمتاز الكحول في كون معامل تمدده أكبر من معامل تمدد الزئبق و لذلك فهو أكثر حساسية و يقلل من تأثير عدم انتظام مقطع الأنبوبة الترمومترية كما أنه يساعد على اختيار مستودع صغير لنفس الأنبوبة الترمومترية و لأن تمدده غير منتظم لذا فإنه لا يستخدم في القياسات الدقيقة و لكنه يستخدم في الأرصاد الجوية لمعرفة حرارة الجو .

و يستخدم الكحول كمادة ترمومترية عوضا عن الزئبق لقياس درجات الحرارة المنخفضة و ذلك لأن الكحول يظل في الحالة السائلة ما بين درجتي $-110\ C^0$ ، $78\ C^0$.

ج - الترمومتر الغازي

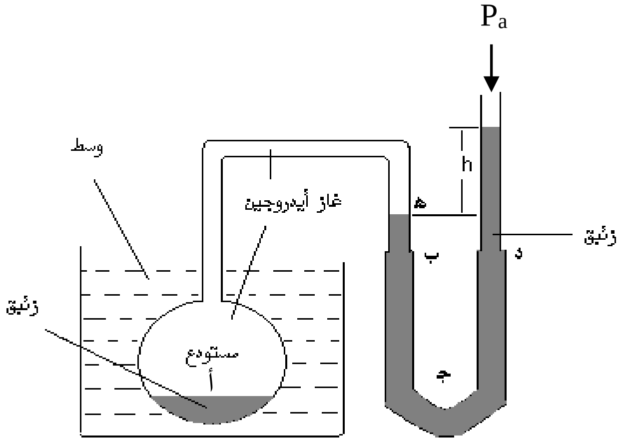
الترمومتر الغازي على نوعين:

١- نوع يحفظ فيه ضغط الغاز ثابتا ويعتبر التغير في حجمه مقياسا لدرجة الحرارة.

٢- النوع الآخر وهو النوع المعتاد وفيه يحفظ حجم الغاز ثابتا بينما يتغير ضغطه تبعا لتغير درجة الحرارة، ويسمى ترمومتر الحجم الثابت.

تركيب الترمومتر الغازي ذي الحجم الثابت

هذا النوع من الترمومترات يتركب كما في الشكل (٤-١) من مستودع متصل بأنبوبة زجاجية **ب** عن طريق أنبوبة ملتوية من الزجاج، وتتصل الأنبوبتان **ب** ، **د** بواسطة أنبوبة من المطاط **جـ**، ويوضع في قاع المستودع أ مقدارا من الزئبق حجمه يساوي $\frac{1}{7}$ حجم المستودع، ويُملأ الجزء الباقي من الأنبوبة والمستودع حتى سطح الزئبق في الأنبوبة **ب** بغاز الأيدروجين الجاف.



شكل (٤-١)
تركيب الترمومتر الغازي ذي

قياس درجة حرارة وسط بواسطة الترمومتر الغازي ذي الحجم الثابت

عندما يُراد معرفة درجة حرارة وسط ما يُوضع المستودع في هذا الوسط وبعد مدة كافية نجد أن مستوى الزئبق في الأنبوبة **ب** قد تغير عن موضع النقطة الثابتة **هـ** قبل وضع المستودع في الوسط، ولكي يبقى الحجم ثابت (أي حجم غاز الأيدروجين المحبوس) تُرفع الأنبوبة **د** أو تُخفض حتى يصل سطح الزئبق في الأنبوبة **ب** إلى العلامة الثابتة **هـ**، فيكون الفرق بين مستويي الزئبق في الأنبوبتين **ب** ، **د** هو الارتفاع h كما بالشكل، ويكون ضغط الغاز المحبوس عند أي درجة حرارة T**:**

$$P_T = P_a + h_T \tag{4-9}$$

حيث أن:

P_T هو ضغط الغاز عند درجة الحرارة T

P_a هو الضغط الجوي atmospheric pressure

h_T هو ارتفاع الزئبق عند درجة الحرارة T (الفرق بين مستويي الزئبق)

وإذا فرضنا أن P_0 هو الضغط عند درجة حرارة صفر درجة مئوية، P_{100} هو الضغط في درجة حرارة $100°C$، – ويمكن الحصول على قيمتيهما بوضع المستودع داخل جليد منصهر وبخار ماء على الترتيب– فإن درجة الحرارة المطلوبة تُعطى حسب العلاقة (4-6) كما يلي:

$$T^0C = \frac{P_T - P_0}{P_{100} - P_0} \times 100 \tag{4-10}$$

وحيث أن

$$P_T = P_a + h_T$$

$$P_0 = P_a + h_0$$

$$P_{100} = P_a + h_{100}$$

$$\boxed{\therefore T = \frac{h_T - h_0}{h_{100} - h_0} \times 100} \qquad (4\text{-}11)$$

ملاحظة: من أهم مميزات الغازات كمواد ترمومترية أنها تظل غازية في مدى واسع جدا من درجات الحرارة (ابتداء من درجة السيولة إلى *1500°C*).

مثال (٤-٢)

باستعمال الترمومتر الغازي ذي الحجم الثابت لقياس درجة الحرارة كان ضغط الغاز *80cm*، *109.3cm* عند درجات الحرارة $0C^0$ ، $100C^0$ على الترتيب. فإذا كان الضغط *83cm* عند درجة حرارة الغرفة، *100cm* عند وضع مستودع الترمومتر في ماء ساخن. جد درجة حرارة كل من الغرفة والماء الساخن.

الحل:

$$\because T = \frac{h_T - h_0}{h_{100} - h_0} \times 100$$

$\therefore$ درجة حرارة الغرفة

$$T = \frac{83 - 80}{109.3 - 80} \times 100$$

$$T = \frac{3}{29.3} \times 100 = 10.2C^0$$

درجة حرارة الماء الساخن

$$T = \frac{100 - 80}{109.3 - 80} \times 100$$

$$T = \frac{20}{29.3} \times 100 = 68.3C^0$$

٤-٥ الحرارة كطاقة Heat as an energy

هل الحرارة صورة من صور الطاقة؟

إذا دلكت يديك في بعضهما ستلاحظ أنهما تدفآن، وكنتيجة لتحريك يديك إحداهما على الأخرى ضد قوى الاحتكاك تتحول طاقة الحركة التي أعطيتها لهما إلى حرارة. وباعتبار أن الطاقة لا تفنى أبدا، فيمكننا القول بأن اختفاء طاقة الحركة وظهور الحرارة يمكن تفسيره على أساس واحد فقط وهو أن الحرارة صورة من صور الطاقة.

ماذا يحدث إذا أُعطِيَت هذه الطاقة الحرارية إلى مادة ما؟

من الواضح أن هذه المادة سوف تصبح أكثر سخونة، أي أن درجة حرارتها سوف ترتفع، وربما تنصهر أو تتبخر، أي أنه قد يحدث تغير في الحالة.

السعة الحرارية لجسم Heat capacity

نفرض أن لدينا جسما ما ونريد رفع درجة حرارة الجسم كله درجة مئوية واحدة، فإن كمية الحرارة التي يُزَوَد بها الجسم تسمى السعة الحرارية للجسم ويرمز لها بالرمز C ووحدة قياسها في النظام c.g.s هي الكالوري لكل درجة *Calorie/degree* أما في النظام العالمي m.k.s فهي الجول لكل درجة *Joule/degree* حيث $1Cal=4.186\ Joule$.

تعريف السعة الحرارية لجسم

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم درجة مئوية واحدة.

$$\boxed{C=\frac{\Delta Q}{\Delta T}} \qquad (4\text{-}12)$$

حيث Q هي كمية الحرارة.

الحرارة النوعية لمادة Specific heat

يلاحظ أن السعة الحرارية لجسم تختلف باختلاف كتلته. أي أن هذه الكمية الحرارية غير مُمَيِزة للمادة وليست صفة من صفاتها. لذا فكر العلماء في اختيار كمية من الحرارة تلزم لرفع درجة حرارة وحدة الكتل من المادة درجة واحدة وسميت "السعة الحرارية النوعية" أو "الحرارة النوعية" ويرمز لها بالرمز S.

تعريف الحرارة النوعية لمادة

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة الكتل من المادة درجة واحدة.

$$\boxed{S=\frac{\Delta Q}{m\Delta T}} \qquad (4\text{-}13)$$

من المعادلة (4-11) نجد أن

$$\boxed{S=\frac{C}{m}} \qquad (4\text{-}14)$$

من المعادلة السابقة نلاحظ أن وحدة قياس الحرارة النوعية هي Cal/gmC^0، فمثلا الحرارة النوعية للماء والثلج هي على الترتيب كالتالي:

$$S_{water} = 1Cal/gC^0 = 4.186J/gC^0$$

$$S_{ice} = 0.5Cal/gC^0 = 2.1J/gC^0$$

إذا أُعطي الجسم كمية حرارة dQ لرفع درجة حرارة كتلة m من المادة بمقدار dT فإن:

$$dQ = SmdT \tag{4-15}$$

$$\int_0^Q dQ = \int_{T_i}^{T_f} SmdT = mS\int_{T_i}^{T_f} dT \tag{4-16}$$

$$Q = mS(T_f - T_i) = mS\Delta T \tag{4-17}$$

$$\boxed{Q = mS\Delta T} \tag{4-18}$$

$$\boxed{Q = C\Delta T} \tag{4-19}$$

حيث Q هي كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة مقدرة بوحدة الكالوري في النظام c.g.s أو بوحدة الجول في النظام m.k.s.

العلاقتين السابقتين يمكن من خلالهما حساب كمية الحرارة التي تكتسبها أو تفقدها كتلة m *من المادة عندما تتغير درجة حرارتها من* T_i إلى T_f بشرط عدم تغير حالة المادة من صورة إلى أخرى. أما إذا تغيرت حالة المادة من صورة إلى أخرى فإن العلاقة السابقة لا يمكن استخدامها أثناء عملية التحول وذلك لأن درجة الحرارة خلال هذه العملية ستبقى ثابتة، ويمكن حساب كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة خلال عملية التحول من العلاقة التالية:

$$\boxed{Q = mL} \tag{4-20}$$

حيث L هي الحرارة الكامنة ووحدة قياسها في النظام c.g.s هي *Cal/gm*.

تعريف الحرارة الكامنة Latent heat

هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل جرام واحد من المادة من حالة إلى أخرى.

ملاحظة:

١- الحرارة الكامنة للمادة الواحدة غير ثابتة في تغير الحالات فمثلا

- الحرارة الكامنة لتحول الماء إلى بخار أو العكس = *540Cal/gm*
- الحرارة الكامنة لتحول الماء إلى ثلج أو العكس = *80Cal/gm*

٢- عند انتقال الحرارة من جسم إلى آخر فإن:

كمية الحرارة المفقودة = كمية الحرارة المكتسبة

بشرط ألا يكون هناك فقد في الطاقة الحرارية خلال الوسط المحيط بمعنى عزل الجسمين عن الوسط المحيط بهما.

مثال (٤-٣)

ما هي كمية الحرارة اللازمة لتحول قطعة من الثلج كتلتها $720gm$ ودرجة حرارتها $-10C^0$ إلي الحالة السائلة عند درجة حرارة $15C^0$ ؟ مع العلم أن

$$S_{ice} = 2220J/kg.k^0, L = 333KJ/Kg$$
$$S_{water} = 4190J/kg.k^0$$

الحل:

المرحلة الأولى: التحول من ثلج عند $-10C^0$ إلى ثلج عند $0C^0$

$$Q_1 = ms\Delta T = ms(T_c - T_i)$$
$$T_i = -10C^0$$
$$T_f = 0C^0$$
$$Q_1 = .72 \times 2220 \times (0 - (-10)) = 15984J$$

المرحلة الثانية: التحول من ثلج عند $0C^0$ إلى ماء عند $0C^0$

$$Q_2 = ml$$
$$Q_2 = 0.72 \times 333 \times 10^3 = 239760J$$

المرحلة الثالثة: التحول من ماء عند $0C^0$ إلى ماء عند $15C^0$

$$Q_3 = ms(T_f - T_i)$$
$$T_i = 0C^0$$
$$T_f = 15C^0$$
$$Q_3 = 0.72 \times 4190 \times (15 - 0) = 45252J$$

$$\therefore Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 300996J$$

مثال (٤-٣)

كرة من النحاس كتلتها $m=75gm$ سخنت إلى درجة حرارة $T=312c$. أسقطت الكرة داخل كأس زجاجي يحتوي علي ماء كتلته $m=220gm$ وكانت السعة الحرارية للكأس الزجاجي $c=45\ cal/k$ ودرجة الحرارة الابتدائية للماء والزجاج $T=12^0C$. جد درجة الحرارة النهائية T لكرة النحاس والكأس الزجاجي والماء عند الوصول الى حالة الاتزان الحراري مع العلم أن:

$$
\begin{aligned}
&s = 0.092\ cal / g.k, sw = 1 cal / g.^0 k \\
&m_{copper} = 75gm, \quad T_{copper} = 3120c \\
&m_{water} = 220gm, \quad C_{beaker} = 45 cal / k^0 \\
&T_i = 12
\end{aligned}
$$

الحل:

كمية الحرارة المكتسبة =كمية الحرارة المفقودة

$$
\begin{aligned}
&Q_{copper} = Q_{water} + Q_{beaker} \\
&m_c s_c (T_i - T_f) = m_w s_w (T_f - T_i) + c_b (T_f - T_i) \\
&75 \times 0.092(312 - T_f) = 220 \times 1(T_f - 12) + 45(T_f - 12) \\
&2152.8 - 6.9T_f = 220T_f - 2640 + 45T_f - 540 \\
&5332.8 = 271.9Tf \\
&\therefore T_f = 19.61^0 c
\end{aligned}
$$

٤-٦ انتقال الحرارة Transmission of heat

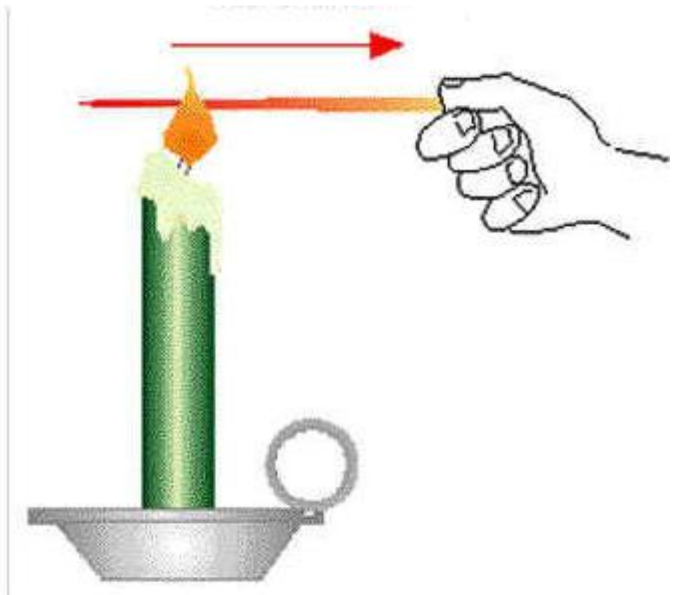
يوجد ثلاثة طرق مختلفة تنتقل فيها الحرارة من مكان إلي أخر ، وهذه الطرق هي :-

التوصيل والحمل والإشعاع .

التوصيل conduction

إذا أمسكت قضيبا معدنيا من أحد طرفيه ثم وضعت الطرف الآخر في لهب ستشعر بعد قليل بسخونة القضيب المعدني وهذا يدل على أن الحرارة قد انتقلت خلاله (شكل ٤-٢). أما إذا أمسكت شريحة من الخشب من أحد طرفيها ثم وضعت الطرف الآخر في النار فلن تنتقل الحرارة داخلها ولو بمقدار ضئيل حتى ولو بدأ الطرف

الموضـوع فـي النـار بالاشـتعال. أي أن المعدن جيد التوصيل للحرارة في حين أن الخشب رديء التوصيل للحرارة. وتستعمل كلمة "التوصيل" لتعني الانتقال الحراري في المواد الصلبة.



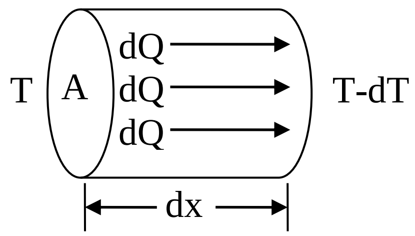
شكل (٤-٢)
التوصيل الحراري

ويعرف التوصيل الحراري كالتالي:

هي تلك العملية التي يتم فيها انتقال الحرارة من نقطة إلي أخري خلال المواد الصلبة دون أن تنتقل جزئيات المادة نفسها .

ففي المثال السابق نجد أنه عندما يسخن طرف القضيب المعدني الذي عرضة للهب فإن جزيئات هذا الطرف سوف تهتز بسعة من جزيء إلي جزيء آخر مجاور وهكذا تستمر العملية إلي أن تنتقل الحرارة من الطرف الساخن إلي الطرف البارد .

نفترض أن لدينا مقطعا من قضيب معدني سمكه dx ومساحة مقطعة A ودرجة حرارة احد طرفيه T والطرف الأخر $T\text{-}dT$ كما هو موضح في الشكل المجاور .



شكل (٤-٣)

معدل سريان الحرارة (كمية الحرارة التي تسري خلال وحده زمن) تتناسب:

١- طرديا مع مساحة المقطع العرضي للقضيب A.

$$\frac{dQ}{dt} \propto A \tag{4-21}$$

٢- طرديا مع الفرق في درجتي حرارة الطرفين

$$(T - dT) - T = -dT$$

$$\frac{dQ}{dt} \propto -dT \tag{4-22}$$

٣- عكسياً مع السمك dx

$$\frac{dQ}{dt} \propto \frac{1}{dx} \tag{4-23}$$

مما سبق نستنتج أن

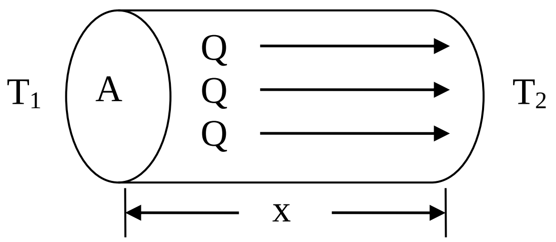
$$\frac{dQ}{dt} \propto -A\frac{dT}{dx}$$

$$\frac{dQ}{dt} = -kA\frac{dT}{dx} \tag{4-24}$$

حيث k مقدار ثابت يعرف بمعامل التوصيل الحراري (the coefficient of thermal conductivity)

ووحدة قياسه $cal\ cm^{-1}\ sec^{-1}\ c^{0-1}$

الكمية dT/dx تمثل معدل تغير درجة الحرارة بالنسبة للمسافة. فعندما تقل درجة الحرارة بزيادة المسافة من الطرف الساخن للقضيب فإن الكمية dT/dx سالبة وتسمي تدرج درجة الحرارة .



شكل (٤-٤)

والآن إذا كان القضيب المعدني طوله x ودرجة حرارة طرفيه هما T_1,T_2 كما هو موضح بالشكل (٤-٤) فإنه في حالة الاستقرار نجد إن:

$$\boxed{\begin{aligned} \frac{dQ}{dt} &= -kA\frac{T_2 - T_1}{x} && (4\text{-}25) \\ \frac{dQ}{dt} &= kA\frac{T_1 - T_2}{x} && (4\text{-}26) \end{aligned}}$$

يمكن الوصول إلي حالة الاستقرار وذلك بعزل القضيب المعدني عن الوسط الخارجي كي لا يكون هناك فقد في الطاقة الحرارية وأيضا عندما نصل إلي درجتي حرارة ثابتتين عند طرفي القضيب عليه يكون الفرق بين درجتي الحرارة T_2,T_1 مقدارا ثابتا وهذا الشرط لا يتحقق إلا بتحقق الشرط الأول (شرط العزل عن الوسط المحيط) .

يمكن حساب كمية الحرارة المارة في القضيب خلال فترة زمنية من العلاقة

$$Q = kA\frac{T_1 - T_2}{x}t \qquad (4\text{-}26)$$

الحمل convection

تنتقل الحرارة أيضا خلال الماء ، ويسمي انتقال الحرارة في السوائل "بالحمل" فعند تسخين كمية من الماء في وعاء فإن الماء القريب من قاع الوعاء يصبح أكثر سخونة مما فوقه ، وحيث أن الماء يتمدد بالحرارة (يزيد حجمه) في حين أن كتلته ثابتة فإن كثافته تكون أقل من كثافة الماء البارد ، وتكون النتيجة أن الماء الساخن يرتفع إلي اعلي بينما يهبط الماء البارد إلي أسفل أي أن الحرارة تنتقل إلي أجزاء السائل الأخرى في الإناء بحركة السائل الساخن . أذن الحمل عبارة عن حركة السائل ، ولكن من الممكن ملاحظة انتقال الحرارة بالحمل في الغازات نتيجة لحركة الغاز السائل .

الإشعاع Radiation

يمكن أن تنتقل الحرارة في المواد بطريقة ثابتة وهي الإشعاع فحرارة الشمس تصل ألينا بانتقالها خلال الفراغ الموجود بين الأرض والشمس فنشعر بالدف وفي الحقيقة فإن الحرارة تنتقل الينا من الشمس بنفس طريقة انتقال الضوء لذلك فعندما يحدث كسوف الشمس ينقطع الضوء والحرارة في نفس اللحظة . هذه الطريقة لانتقال الحرارة تسمي "الإشعاع" وعندما تجلس أمام مدفأة كهربية فانك تحس بالاشعاع علي عاكس معدني خلف عنصر التدفئة ، وذلك لأن العاكس المعدني يعكس بنفس الطريقة التي يعكس بها الضوء تماما .

والسؤال هنا هو كيف تصل الينا أشعة الشمس وما تحمله من حرارة ؟

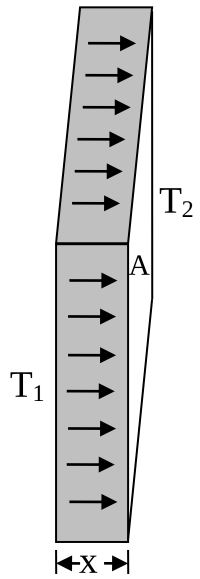
تنتقل هذه الأشعة علي هيئة موجات كهرومغناطيسية وهي ذات طاقة ولا تحتاج الي وسط مادي لانتقالها بل تنتقل في الفراغ اضافة الي انتقالها في بعض الأوساط المادية .

ومن هنا ندرك أن الحرارة تنتقل بما يسمي بالإشعاع أي علي هيئة موجات كهرومغناطيسية.

مثال (٤-٤)

الشكل (٤-٥) يمثل شريحة معدنية سمكها $2.0cm$ ومساحة سطحها $200cm^2$ فإذا كان الفرق في درجات الحرارة بين السطحين المتقابلين يساوي $100\ ^0C$ جد كمية الحرارة التي ستنتقل خلال الشريحة في زمن قدره دقيقة واحدة علما بان $k=0.2$ c.g.s units

الحل:



شكل (٤-٥)

$$k = .2cgs$$
$$A = 200cm^2$$
$$x = 0.2cm$$
$$T_1 - T_2 = 100^0$$
$$t = 1\min = 60\sec$$
$$Q = kA\frac{T_1 - T_2}{x}t$$
$$Q - 0.2 \times 200 \times \frac{100}{0.2} \times 60$$
$$Q = 12 \times 10^5\, cal$$

مثال (٤-٥)

قضيب طوله $30cm$ ومساحة مقطعه العرضي $5cm^2$ يتكون من جزئيين متساويين في الطول . الجزء AB من النحاس والجزء BC من الحديد ونقطة اتصالهما هي النقطة B كما هو مبين في الشكل (٤-٦). الطرف A محفوظ عند درجة حرارة $200\ ^0C$ والطرف C عند درجة حرارة $0\ ^0C$. إذا كانت جوانب القضيب معزولة حراريا احسب معدل سريان الحرارة على طول القضيب وذلك عند الوصول إلي حالة الاستقرار علما بأن:

$$K_1 = K_{copper} = 0.9 \quad c.g.s \quad unit$$
$$K_2 = K_{iron} = 0.12 \quad c.gs \quad unit$$

الحل:

$$x_1 = 15\,cm, \quad x_2 = 15\,cm$$
$$A = 5\,cm^2$$
$$(\Delta T)_1 = 200 - T, \quad (\Delta T_2) = T - 0$$
$$K_1 = 0.9 \quad c.g.s \quad copper$$
$$K_2 = 0.12 \quad c.g.s \quad iron$$

بما أن حالة الاستقرار قد تم الوصول إليها فان معدل سريان الحرارة خلال الجزء الأول AB يساوي معدل سريان الحرارة خلال الجزء الثاني BC وعليه فإن:

$$(\frac{dQ}{dT})_1 = (\frac{dQ}{dT})_2$$

$$\frac{k_1 A(200-T)}{x_1} = \frac{k_2 A(T-0)}{x_2}$$

$$0.9(200-T) = 0.12(T)$$

$$T = 176.47^0 c$$

بعد الوصول إلى حالة الاستقرار فان معدل سريان الحرارة يكون متساوي في كلا الجزأين وعليه فان

$$(\frac{dQ}{dT}) = k_1 A \frac{(T_1 - T)}{x_1}$$

$$= \frac{0.9 \times 5 \times (200 - 176.47)}{15} = 7.059 cal/\sec$$

٤-٧ التمدد الحراري للجوا مد Expansion of solids

إذا سخنت مادة سواء كانت جامدا، أم سائلا، أم غازا، فإنه بوجه عام سوف تتمدد. وهناك ثلاثة أنواع من التمدد وهي التمدد الطولي، والتمدد السطحي، والتمدد الحجمي وسوف تدرس هنا التمدد الطولي بشكل مختصر

التمدد الطولي للجوامد :−

وجد بالتجربة انه أذا سخن سلك معدني طوله الأصلي L_1 من درجة حرارة T_1 إلي درجة حرارة T_2 فإنه سوف يتمدد وتكون الاستطالة الناتجة للسلك تتناسب تناسبا طرديا مع ارتفاع درجة حرارته $(T_2 - T_1)$ وكذلك طرديا مع الطول الأصلي للسلك أي أن:

$$\Delta L \propto T_2 - T_1$$

$$\Delta L \propto L_1$$

$$\Delta L = \alpha L_1 (T_2 - T_1) \qquad (1)$$

$$, \Delta L = L_2 - L_1 \qquad (2)$$

$$\therefore L_2 - L_1 = \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$L_2 = L_1 + \alpha L1 (T_2 - T_1)$$

$$L_2 \boxed{= L_1 [1 + \alpha (T_2 - T_1)]} \qquad (4\text{-}27)$$

حيث ΔL تمثل الاستطالة في السلك أي طوله الجديد بعد التمدد مطروحا منه طوله الأصلي قبل التمدد

وαهو معامل التمدد الطولي للسلك ووحدة قياسه $^0C^{-1}$.

حالة خاصة : باعتبار أن طول السلك عند درجة حرارة $0\,^0C$ هو L_0 وطوله عند درجة حرارة T هو L_T فإن:

$$\boxed{L_T = L_0[1+\alpha T]} \qquad (4\text{-}28)$$

الجدول (٤–١) يوضح المعاملات الطولية للتمدد الحراري لبعض المواد:

جدول (٤–١) المعاملات الطولية للتمدد الحراري

المادة	$\alpha C^{0-1} x10^{-6}$	المادة	$\alpha C^{0-1} x10^{-6}$
الألمنيوم	٢٥	قرميد وخرسانة	10
شبة	١٨	حديد	١٢
نحاس أصفر	١٩	بلاتين	٩
زجاج (لين)	٩	فضة	١٨
زجاج (بيركس)	٣	كوارتز	٠,٤
ماس	١,٢	خشب الصنوبر (على طول عروق الخشب)	٥
ذهب	١٤	خشب الصنوبر (على اتجاه عمودي على عروق الخشب)	٣٠

مثال (٤-٦)

عمود زجاج بيركس مجلخ ومصقول طوله 10cm عندما كانت درجة حرارة الغرفة $20\ ^0C$. إذا رفعت درجة حرارة هذا العمود إلى $420\ ^0C$، احسب

a. قدر الاستطالة.

b. الطول الجديد للسلك بعد رفع درجة حرارته من $20\ ^0C$ إلى $420\ ^0C$.

الحل:

أ-

$$\Delta L = \alpha L_1 [T_2 - T_1]$$
$$\Delta L = 3 \times 10^{-6} \times (420 - 20)$$
$$= 3 \times 10^{-6} \times 10 \times 400$$
$$\Delta L = 0.012 cm$$

ب-

$$L_2 = L_1 [1 + \alpha (T_2 - T_1)]$$
$$L_2 = 10 [1 + 3 \times 10^{-6} (420 - 20)]$$
$$L_2 = 10.012 cm$$

مسائل على الفصل الرابع

قياس درجة الحرارة:

١- إذا كانت قراءة ترمومتر مئوي $35\ ^0C$، فما هي قراءة ترمومتر فهرنهيتي في نفس الغرفة ؟

٢- ما هي درجات الحرارة علي المقياس المئوي التي تكافئ الدرجات التالية:

$-40\ ^0F,\ 85\ ^0F,\ 95\ ^0F,\ 77\ ^0F,\ 50\ ^0F$

٣- ما هي درجة الحرارة علي التدريج الفهرنهيتي في يوم تكون فيه درجة الحرارة $-10\ ^0C$ ؟

٤- احسب درجة حرارة غرفة إذا كانت قيمتها مقاسة بترمومتر مئوي تساوي ثلث قيمتها مقاسة بترمومتر فهرنهيتي.

٥- احسب درجة الحرارة التي تتساوي عندها قراءة الترمومتر المئوي والترمومتر الفهرنهيتي.

٦- عند قياس درجة حرارة ماء ساخن باستخدام الترمومتر الغازي ذو الحجم الثابت وجد أن ضغط الغاز عند 0 ^0C يساوي 80cm وضغطه عند 100 ^0C يساوي 109.3cm، فإذا كانت درجة حرارة الماء الساخن تساوي 68.3 ^0C، فما هو ضغط الغاز عند درجة الحرارة هذه ؟ (الجواب h_T=100cm)

٧- باستعمال الترمومتر الغازي ذو الحجم الثابت لقياس درجة الحرارة كان الضغط عند 0 ^0C يساوي 80cm، وكان ضغطه عند 20 ^0C يساوي 85.8cm، احسب ضغطه عند درجة حرارة غليان الماء ؟

(الجواب h_{100}=109cm)

الحرارة كطاقة:

٨- ما هي كمية الحرارة المنطلقة عندما يبرد 20gm من الماء من درجة حرارة 90 ^0C إلى 30 ^0C ؟ علما بأن الحرارة النوعية للماء هي 1cal/g.^0C ؟ (الجواب Q= -1200cal)

٩- يحتوي إبريق ترموس علي 300gm من القهوة (ماء أساسا) عند درجة 90 ^0C. صب في هذا الإبريق 50gm من اللبن (ماء أساسا أيضا) عند درجة حرارة 15 ^0C. ما هي درجة الحرارة النهائية للقهوة ؟ (الجواب T= 79.3 C)

١٠- وعاء معزول من الألمنيوم ((وزنه)) 20gm يحتوي علي 150gm من الماء عند درجة 20 ^0C. سخنت قطعة من المعدن كتلتها 30gm الي درجة 100 ^0C ثم أسقطت في الماء. فإذا كانت درجة الحرارة النهائية للماء والعلبة والمعدن هي 25 ^0C ، جد السعة الحرارية النوعية للمعدن علما بأن الحرارة النوعية للألمنيوم هي S=0.21 cal/g ^0C وللماء S_{water}=1 cal/g ^0C ؟

(الجواب S_{metal}=1 cal/g ^0C)

١١- احسب كمية الحرارة اللازمة لتغير درجة حرارة 10gm من الرصاص (S=0.031 cal/g ^0C) من 20 ^0C الي 100 ^0C ؟

١٢- ما هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل 30 gm من الثلج عند -5 ^0C الي ماء درجة حرارته 20 ^0C ؟ علما بأن S_{water}=1cal/g ^0C ، S_{ice}= 0.5cal/ g ^0C ، L=80cal/ .

١٣- اسقط مكعب من الثلج درجة حرارته 0^0c وكتلته 18gm في كوب يحتوي علي 150gm من الماء درجة حرارتها 25^0c . ما هي درجة الحرارة النهائية للماء بعد انصهار الثلج بفرض أن التبادل الحراري مع الكوب مهمل ؟ L=80cal/gm

١٤- مسعر من النحاس ($S=0.2cal/g^0C$) كتلته 70g يحتوي علي 400g من الماء و 100g من الثلج في حالة توازن حراري . أضيف إلى محتويات المسعر قطعة ساخنة من المعدن ($S=0.1cal/g^0C$) كتلتها 300g ودرجة حرارتها مجهولة، وكانت درجة الحرارة النهائية 10^0C . ما هي درجة الحرارة الابتدائية للمعدن . مع العلم أن الحرارة الكامنة للثلج هي L=80cal/g وأن $S_{water}=1cal/g\ ^0C$.

انتقال الحرارة بالتوصيل

١٥- قضيب من النحاس الأصفر مساحة مقطعه $A=2cm^2$ وطوله x=1m . وضع أحد طرفي هذا القضيب في ماء يغلي ($T_1=100^0C$) ووضع الطرف الأخر علي لوح من الثلج $T_2=0^0C$. احسب كمية الحرارة المنتقلة من الطرف الساخن للقضيب إلى الطرف البارد في زمن قدره 10min . مع العلم أن معامل التوصيل الحراري للنحاس هو $k=0.2cal/cm\ sec\ ^0C$ (الجواب Q=240 cal).

١٦- وضع أحد طرفي قضيب من النحاس الأصفر طوله 0.5m ونصف قطره 0.5cm في درجة حرارة 100^0C ووضع الطرف الأخر في درجة 20^0C. ما هي كمية الحرارة التي تسري في القضيب في زمن قدره 1sec ؟ علما بأن $k= 0.2\ cal/cm\ sec.\ ^0C$. (افترض أن جوانب القضيب معزولة)

١٧- استخدم لوح من ورق الاسبستوس سمكه 2mm كفاصل بين لوحين من النحاس الأصفر درجة حرارة أحدهما $100^0\ C$ ودرجة حرارة الأخر $20^0\ C$. ما هي كمية الحرارة المارة خلال مساحة مقدرها $40cm^2$ من أحد اللوحين إلي الأخر خلال ساعة واحدة (t=1h) ؟ علما بأن معامل التوصيل الحراري للاسبستوس هو $k=5\times10^{-4}\ cal/cm\ sec\ ^0C$.

١٨- وضعت شريحة من المطاط سمكها 0.1cm بين لوحين من النحاس الأصفر سمك كل منها 0.5cm، وحفظ السطح الخارجي لأحد اللوحين في درجة 0^0C، بينما حفظ السطح الخارجي للأخر في

درجة 100^0C. جد درجتي حرارة سطحي شريحة المطاط . مع العلم أن $k=0.2 cal/cm\ sec\ ^0C$ للنحاس وأن $k=5\times10^{-4} cal/cm\ sec\ ^0C$ للمطاط.

التمدد الحراري للجوامد

١٩- قضيب مصنوع من الفضة ، طوله 5cm تماما عند درجة حرارة 20^0C. احسب طوله عندما تكون درجة الحرارة $30^0\ C$ علما بأن معامل التمدد الطولي للفضة هي $\alpha=18\times10^{-6}\ ^0C^{-1}$، ثم احسب الاستطالة ألناشئه نتيجة هذا التغير في درجة الحرارة.

٢٠- عصا مترية من خشب الصنوبر طولها 100cm تماما عند درجة 32^0C . احسب طولها الحقيقي عندما تكون درجة الحرارة 77^0C، علما بأن معامل التمدد الطولي للخشب هو $\alpha=5\times10^{-6}\ C^{-1}$

(الجواب $L_2=100.0125$ cm)

٢١- قضيب متري عياري من البلاتين في مركز المعياريات ، تم تدريجه بدقة عند درجة $27^0\ C$. جد المسافة بين العلامتين عند طرفيه عندما تكون درجة الحرارة 37^0C. ما هي مقدار الاستطالة الناتجة علما بأن معامل التمدد الطولي للبلاتين هو $\alpha=9\times10^{-6}\ C^{-1}$.

****

الفصل الخامس

الضوء

المرايا والعدسات

الأجهزة البصرية

الضوء
light

٥-١ طبيعة الضوء nature of light

منذ قديم الزمان كانت خواص الضوء مثاراً للدهشة والإثارة، وكانت طبيعة الضوء دائماً موضوعاً لتأملات عظيمة. ففي عصر نيوتن كان كل علماء الفترة تقريباً يقومون بأبحاث علمية في طبيعة الضوء. وعلى الرغم من الاهتمام العظيم بالضوء ، إلا أن الطبيعة الداخلية للضوء ظلت محل جدل حتى مطلع القرن الحالي .

وخلال عصر نيوتن ولسنوات خلت بعد ذلك كان هناك خلاف حول ما إذا كان شعاع الضوء هو تيار من الجسيمات أو هو موجات من نوع معين. وقد كان نيوتن نفسه من أعظم مؤيدي النظرية الجسيمية للضوء (وهي أن الضوء عبارة عن جسيمات تنطلق من المصدر الضوئي).

وفي عام ١٦٧٠م استطاع كريستيان هيجنز وهو احد معاصري نيوتن أن يفسر كثير من خواص الضوء باعتباره موجيا في طبيعته (أي أن الضوء ينطلق من مصدره على شكل موجات) ، وقد كان لكلتا هاتين الفكرتين (الجسيمية والموجية) حول طبيعة الضوء مؤيدها.

ولقد ظل الأمر كذلك حتى عام ١٨٠٣م حين قدم توماس يونج (وبعدها بقليل أوجستين فرنك) برهاناً يوضح أن الأشعة الضوئية تستطيع التداخل مع بعضها البعض مثل الأمواج الصوتية وبهذا أصبحت النظرية الموجية مقبولة عالميا. وتتابعت الدراسات على طبيعة الضوء ولكنه لم يفهم ابتعاث الضوء بشكل نهائي إلا حوالي عام ١٩٣٠ علاوة على ذلك أشار أينشتين عام ١٩٠٥م انه توجد خاصية واحدة على الأقل للضوء وهي التأثير الكهروضوئي، وقد تم تفسيرها باعتبار الضوء مكوناً من جسيمات تحمل طاقة معينة (أو كمات من الطاقة).

وقد تم التوسع في هذا المفهوم خلال السنوات التالية حتى أصبحنا اليوم نعتبر الضوء ذو طبيعة مزدوجة فهو جزئياً يبدو كأمواج وجزئياً كجسيمات. فبعض الظواهر الطبيعية للضوء قد أمكن تفسيرها بالمفهوم الجسيمي للضوء (النظرية الجسيمية)، وذلك مثل ظاهرة الانعكاس والانكسار . في حين أن بعض الظواهر الأخرى مثل التداخل والحيود لا يمكن تفسيرها إلا عن طريق المفهوم الموجي للضوء (النظرية الموجية).

٥-٢ انتشار الضوء Propagation of light

ينتشر الضوء من مصادره في جميع الاتجاهات في خطوط مستقيمة، ويدل على ذلك تكون الظلال وأشباه الظلال وغيرها من الظواهر المعروفة المرتبطة بانتشار الضوء في خطوط مستقيمة.

٥-٣ سرعة الضوء Velocity of light

لقد أجريت تجارب عديدة لقياس سرعة الضوء في الفراغ وفي الأوساط الأخرى مثل الماء والزجاج وغيرها، وقد وجد أن سرعة الضوء في الفراغ تكون أكبر من سرعته في الأوساط الأخرى، وتكون سرعته في الوسط الأقل

كثافة اكبر منها في الوسط الأكبر كثافة، فسرعته في الماء مثلا اكبر من سرعته في الزجاج. علاوة على ذلك فإن سرعة الضوء خلال المواد تعتمد على الطول الموجي للضوء. وقد وجد بالتجربة أن سرعة الضوء في الفراغ $c=2.998x10^8$ *m/s* حيث *c* ترمز إلى سرعة الضوء في الفراغ.

٤-٥ معامل الانكسار Refractive index

تسمى النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ وسرعته في وسط بمعامل الانكسار او معامل انكسار الوسط ، ويرمز له بالرمز *n*

$$\boxed{n = \frac{c}{v}} \qquad (5\text{-}1)$$

حيث *v* هي سرعة الضوء في الوسط.

يلاحظ من هذا القانون أن معامل الانكسار ليس له وحدة وذلك لأنه عبارة عن حاصل قسمة سرعتين.

الجدول (٥-١) يبين معامل الانكسار في المواد المختلفة للضوء الأصفر الذي ينبعث من مصباح بخار الصوديوم وطوله الموجي λ =٥٨٩٠A^o

حيث (لامدا Lambda) هي الطول الموجي ووحدتها وحدة طول.

$$1\ A^o = 10^{-10}\ m = 10^{-8} cm = 10^{-1} nm$$

جدول (٥-١) معاملات الانكسار لبعض المواد

المادة	$n = \frac{c}{v}$	المادة	$n = \frac{c}{v}$
الهواء*	1.003	كلوريد الصوديوم	1.53
الماء	1.33	بوليستيرين	1.59
اياثنول	1.36	ثاني كبريتيد الكربون	1.63
اسيتون	1.36	زجاج ظراني	1.66
كوارتز منصهر	1.46	أيوديد الميثيلين	1.74
بنزين	1.5	ماس	2.42
زجاج تاجي	1.52		

* عند الضغط ودرجة الحرارة المعياريين

مثال (٥-١)

احسب سرعة الضوء في ثاني كبريتيد الكربون إذا علم أن معامل انكساره *1.63*

بفرض أن سرعة الضوء في الفراغ تساوي $3{\times}10^8 m/s$.

الحل:

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

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

$$v = \frac{3\times 10^{8}}{1.63} = 1.84\times 10^{8}\, m/s$$

٥-٥ انعكاس الضوء Reflection of light

لقد كان سائداً في القديم أن رؤية العين للأشياء تفسر بان الأشعة الضوئية تسقط من العين على الجسم وبالتالي يمكن رؤيته، ولكن عند وضع هذا الجسم في مكان مظلم وجد أن الرؤيا ستنعدم كليا٠ إن دل ذلك على شئ فانه يدل على أنه لا توجد أشعة صادرة من العين لتسقط على الأجسام ولكن فسرت الرؤيا كالتالي:

تسقط الأشعة الضوئية من المصدر الضوئي على الأجسام ثم ترتد عنها إلى العين وبالتالي تتمكن العين من رؤية تلك الأجسام٠

ظاهرة ارتداد الأشعة عن الأجسام تسمى بظاهرة انعكاس الضوء٠

الشكل (٥-١) يوضح ظاهرة الانعكاس على سطح مرآة مستوية حيث أن:

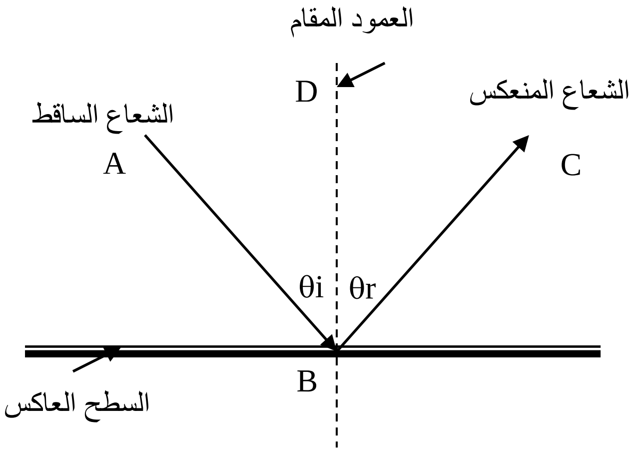
AB يمثل الشعاع الساقط

BC يمثل الشعاع المنعكس

DB يمثل العمود المقام على السطح العاكس

θ_i زاوية السقوط

θ_r زاوية الانعكاس



شكل (٥-١)

زاوية السقوط (θ_i)

هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام على السطح العاكس٠

زاوية الانعكاس (θ_r)

هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس٠

لقد بينت التجارب أنه عندما ينعكس شعاع ضوئي عند سطح مستو فانه يمكن وصف طبيعة الضوء المنعكس في صورة قانون مكون من جزأين ويسمى بقانون الانعكاس٠

قانون الانعكاس Law of reflection

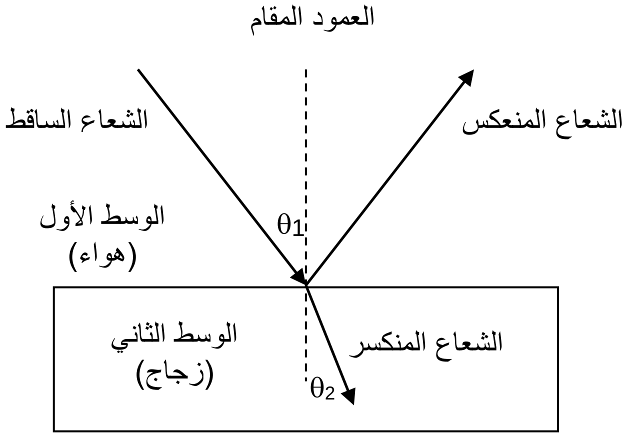
ينص على أنه إذا سقط شعاع ضوئي على سطح عاكس فان:

١- زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس٠

٢-الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس تقع جميعها في مستوى واحد٠

٥-٦ انكسار الضوء Refraction of light

عندما يسقط شعاع ضوئي على سطح أملس لمادة شفافة كالماء أو الزجاج فإنه سوف ينعكس جزء منه تبعا لقانون الانعكاس وينكسر الجزء الباقي خلال الوسط مغيرا اتجاهه كما بالشكل (٥-٢).



شكل (٥-٢)

ما هو سبب انكسار الضوء؟

ينتج انكسار الضوء في الوسط الثاني بسبب التغير في سرعة الضوء إثر دخوله في هذا الوسط. (أي بسبب اختلاف كثافة الوسطين)، فإذا كانت سرعة الضوء في الوسط الثاني أقل من سرعته في الوسط الأول (أي أن الوسط الثاني أكبر كثافة من الوسط الأول) فإن الضوء سينكسر مقتربا من العمود المقام. ويمكن تلخيص ذلك كما يلي:-

- إذا سقط الضوء من وسط أقل كثافة إلى وسط أكبر كثافة فإنه سينكسر مقتربا من العمود المقام.
- وإذا سقط الضوء من وسط أكبر كثافة إلى وسط أقل كثافة فإنه سينكسر مبتعدا عن العمود المقام.
- الزاوية θ_2 تعرف بزاوية الانكسار.

زاوية الانكسارِ Angle of refraction

هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والعمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين. لقد بينت التجارب أنه عندما ينكسر شعاع ضوئي عند سطح فاصل بين وسطين فإنه يمكن وصف طبيعة الضوء المنكسر في صورة قانون مكون من جزأين ويسمى بقانون الانكسار أو(قانون سنل)٠

قانون الانكسار (قانون ســــــنل)

ينص قانون الانكسار على أنه إذا سقط شعاع ضوئي على سطح فاصل بين وسطين مختلفين فإن:

١- النسبة بين جيبي زاوية السقوط في الوسط الأول وزاوية الانكسار في الوسط الثاني تساوي معكوس النسبة بين معاملي انكسار الوسطين على الترتيب.

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{n_2}{n_1}$$

أو إن

$$\boxed{n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2} \qquad (5\text{-}2)$$

وهو ما يعرف بقانون سنل .

حالة خاصة:

إذا سقط الضوء من الهواء ($n_1=1$) إلى وسط معامل انكساره ($n_2=n$) فإن:

$$\boxed{\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=n} \qquad (5\text{-}3)$$

٢- الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود المقام على السطح الفاصل تقع جميعها في مستوى واحد.

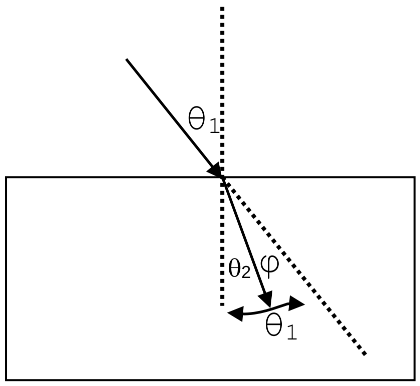
مثال (٥-٢)

سقط ضوء في الهواء بزاوية *45* درجة على سطح لوح من الزجاج معامل انكساره *1.52*

أ- احسب زاوية انكسار الضوء نتيجة لانكساره عند السطح العلوي.

ب- هل ينكسر الشعاع مقتربا أم مبتعدا عن العمود المقام؟

ج- احسب الزاوية التي ينعطفها (ينحرفها) الضوء.



الحل:

أ-

$$\theta_1 = 45^0, n = 1.52$$
$$\theta_2 = ?$$
$$n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$$
$$\sin\theta_2 = \frac{\sin 45}{1.52} = 0.4652$$
$$\theta_2 = \sin^{-1}(0.4652) = 27.72^0$$

ب- بما أن $\theta_2 < \theta_1$ فإن الشعاع سوف ينكسر مقترباً من العمود المقام، وهذا صحيح لان الشعاع سقط من وسط أقل كثافة (الهواء) إلى وسط أكبر كثافة (الزجاج)٠

ج- واضح من الشكل أن زاوية الانعطاف (الانحراف) هي

$$\varphi = \theta_1 - \theta_2 = 45 - 27.72 = 17.28^0$$

الزاوية φ تلفظ (فاي Phi)

مثال (٥-٣)

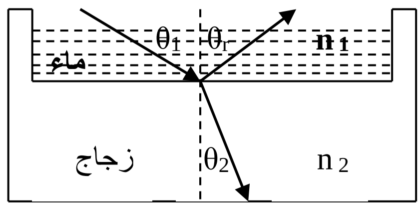
سقط شعاع ضوئي من الماء (*n_1=1.33*) بزاوية (*θ_1=60^0*) على سطح لوح من الزجاج (*n_2=1.52*)

جد:

أ- اتجاه الشعاع المنعكس (θ_r = ?)

ب- اتجاه الشعاع المنكسر (θ_2= ?)

الحل:



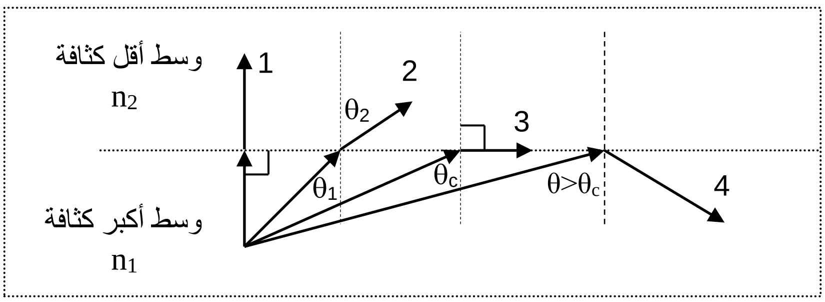
$$\theta_r = \theta_1$$
$$\theta_r = 60^0$$
$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$
$$1.33 \sin 60 = 1.52 \sin\theta_2$$
$$\sin\theta_2 = 0.7577$$
$$\theta_2 = \sin^{-1}(0.7577) = 49.27^0$$

نلاحظ أن الشعاع المنكسر اقترب من العمود المقام وذلك لأن كثافة الزجاج أكبر من كثافة الماء، أي لأن الضوء انتقل من وسط أقل كثافة إلى وسط أكبر كثافة.

٥-٧ الانعكاس الداخلي الكلي Total internal reflection

عندما ينتقل الضوء من وسط أكبر كثافة إلى وسط أقل كثافة تكون زاوية الانكسار دائما أكبر من زاوية السقوط ، بمعنى أن الشعاع ينكسر مبتعدا عن العمود المقام . وكلما زادت زاوية السقوط سوف تزداد زاوية الانكسار كما هو موضح بالشكل (٥-٣) ، وأكبر زاوية انكسار ممكنة في الوسط الأقل كثافة هي ٩٠ درجة.

زاوية السقوط (في الوسط الأكبر كثافة) المناظرة لأكبر زاوية انكسار ممكنة (٩٠ درجة) تسمى بالزاوية الحرجة (critical angle). وإذا زادت زاوية السقوط عن الزاوية الحرجة فإن الشعاع سوف ينعكس كليا في داخل الوسط نفسه الذي سقط منه الشعاع ، وهذا ما يعرف بالانعكاس الداخلي الكلي.



شكل (٥-٣)

ويمكن حساب الزاوية الحرجة(θ_C) بوضع $\theta_2 = 90^o$ في قانون سنل:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$
$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin 90$$
$$n_1 \sin\theta_c = n_2$$
$$\boxed{\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}} \qquad (5\text{-}4)$$

فعلى سبيل المثال إذا سقط الضوء من داخل مياه البحر ($n_1=1.33$) إلى الهواء الخارجي ($n_2=1$) فإن :

$$Sin\theta_c=1\div1.33=0.75188$$
$$\therefore \theta_c=sin^{-1}(0.75188)=48.7^0$$

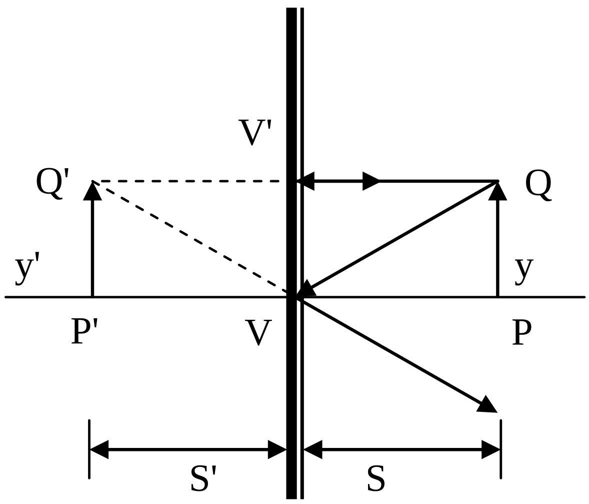
المرايا والعدسات

Mirrors and Lenses

٥-٨ الصور المتكونة بالانعكاس على المرايا المستوية

Images Formed by Reflection at plane mirrors

إذا وضعنا جسما على بعد S من مرآة مستوية كما في الشكل (٥-٤) فإن الأشعة الصادرة من الجسم ستسقط على المرآة وتنعكس عنها حسب قانون الانعكاس ، وبعد الانعكاس فإن الأشعة ستتباعد ، ولكنها تبدو كما لو أنها صادرة عن جسم خلف المرآة ، أي أننا نرى صورة الجسم خلف المرآة وعلى بعد S من سطحها.



شكل (٥-٤)

كما نلاحظ من هندسة الشكل أن المثلث VPQ يكافئ المثلث VP'Q' (متطابقان) وبالتالي نستنتج أن

$$S' = S$$

أي أن بعد الصورة يساوي بعد الجسم .

كما نستنتج أن

$$y' = y$$

أي أن طول الصورة y' يساوي طول الجسم y

التكبير Magnification

هو النسبة بين طول الصورة وطول الجسم ، ويرمز له بالرمز m أي أن :

$$\boxed{m = \frac{y'}{y}} \qquad (5\text{-}5)$$

فيكون التكبير في هذه الحالة يساوي 1 لأن $y = y'$ أي أن الصورة لم تكبر ولم تصغر.

٥-٩ الصور المتكونة بالانعكاس على المرايا الكرية

Images Formed by Reflection at a spherical mirrors

المرايا الكرية

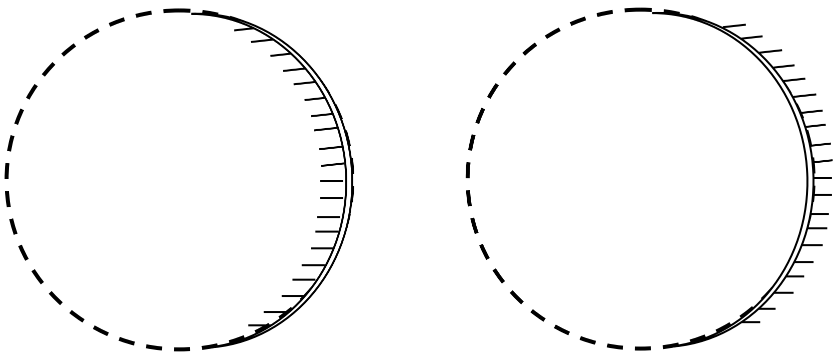
هي مرايا سطحها يتكون من جزء صغير من كرة ، وتتكون الصور في هذه المرايا حسب قانون الانعكاس ، ولكن طبيعة الصورة في هذه الحالة تكون مختلفة ، وتقسم المرايا الكرية إلى نوعين (انظر الشكل ٥-٥).

المرايا لمقعرةconcave mirror

وتسمى أيضا بالمرآة اللاَّمة وذلك لأنها تجمع الأشعة الساقطة عليها ويكون سطحها العاكس هو السطح المقعر.

المرايا المحدبةconvex mirrors

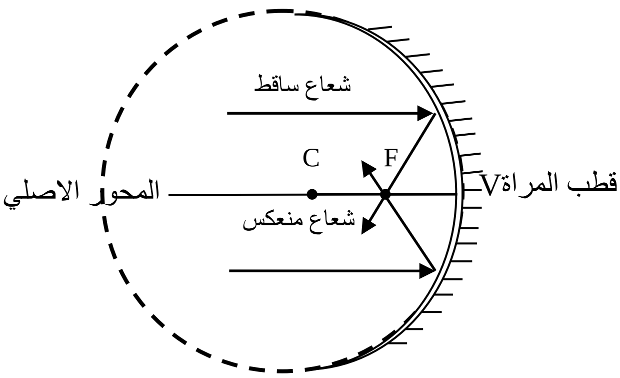
وتسمى أيضا بالمرآة المفرقة (Diverging mirror) وذلك لأنها تفرق الأشعة الساقطة عليها ويكون سطحها العاكس هو السطح المحدب.



مراة محدبة (مفرقة) **مراة مقعرة (لامة)**

شكل (٥-٥)

وقبل أن نناقش كيف تتكون الصور بواسطة المرايا الكرية سنعرف بعض المصطلحات بالاستعانة بالشكل (٥-٦).



شكل (٥-٦)

١- center of curvature (c)

مركز التكور

هو مركز الكرة التي تكون المرآة جزء منها.

٢- قطب المرآة (v) vertex

هو مركز المرآة نفسها.

٣- نصف قطر التكور (R) Radius of curvature

وهو المسافة بين مركز التكورC وقطب المرآة V .

٤- المحور الأصلي Principle axis

هو المحور الذي يصل بين مركز التكور وقطب المرآة.

٥- البؤرة (F) Focus

هي النقطة التي تتجمع فيها الأشعة الموازية للمحور الأصلي ، وتسمى في هذه الحالة بؤرة حقيقية (في المرآة المقعرة). أوهي النقطة التي تبدو وكأن الأشعة الموازية للمحور الأصلي تتفرق منها ، وتسمى في هذه الحالة بؤرة تقديرية (في المرآة المحدبة). وتكون البؤرة في منتصف المسافة بين مركز التكورC وقطب المرآة V .

- البعد البؤري (f) Focal length

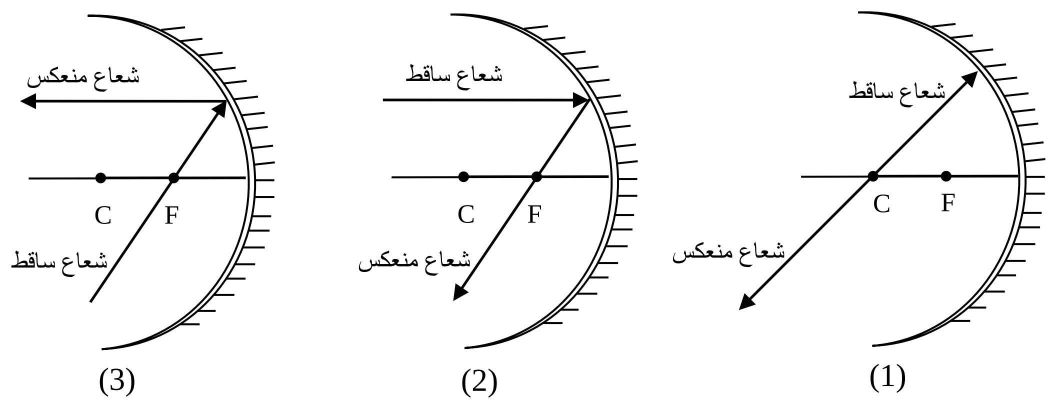
هو المسافة بين البؤرة F وقطب المرآة V .

يمكن تحديد موقع وطبيعة الصور المتكونـة بواسطة المرايا الكريـة برسم اثنين من ثلاث أشعة يمكن رسمها بسهولة وهي موضحة على الترتيب بالشكل (٥-٧) كما يلي:

١- شعاع مار بمركز التكور فينعكس على نفسه (شكل ٥-٧ .

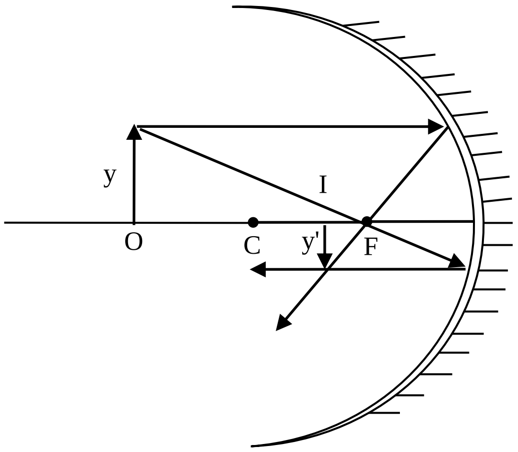
٢- شعاع موازي للمحور الأصلي فينعكس في البؤرة.

٣- شعاع مار بالبؤرة فينعكس موازيا للمحور الأصلي.

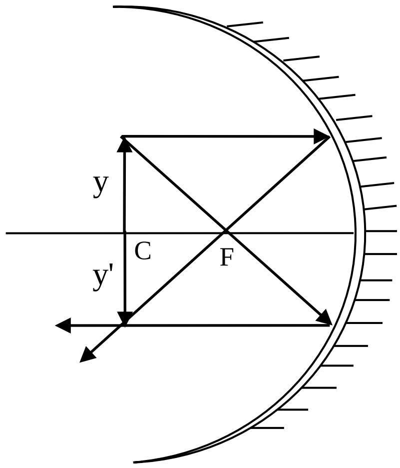


شكل (٥-٧)

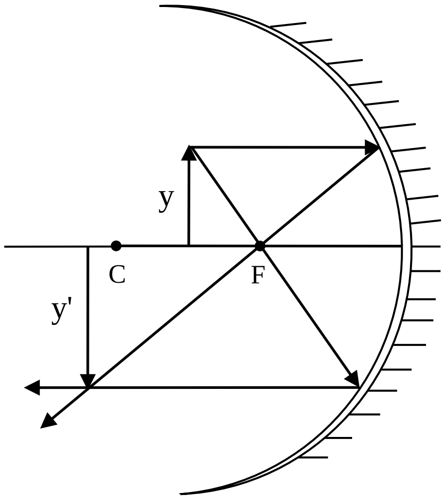
فإذا تكونت صورة لجسم أمكن استقبالها على حائل فان الصورة تكون حقيقية (الصـورة الحقيقيـة هـي التـي تظهـر أمام المرآة) أما إذا لم يمكن استقبالها على حائل تكون صـورة تقديريـة (الصـورة التقديريـة هـي التـي تظهـر خلـف المـرآة)، والأشـكال (مـن ٥-٨-١ إلـى ٥-٨-٥) التاليـة توضـح موقـع وطبيعـة الصـورة المتكونـة بواسـطة المـرآة المقعرة.



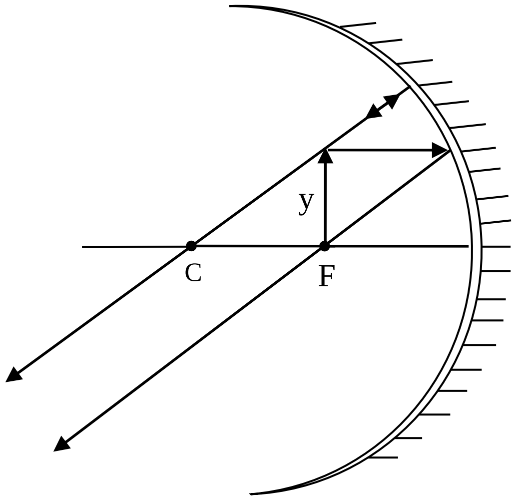
شكل (٥-٨-١)
عندما يكون الجسم على بعد أكبر من مركز التكور، تتكون له صورة حقيقية مقلوبة أصغر من طول الجسم



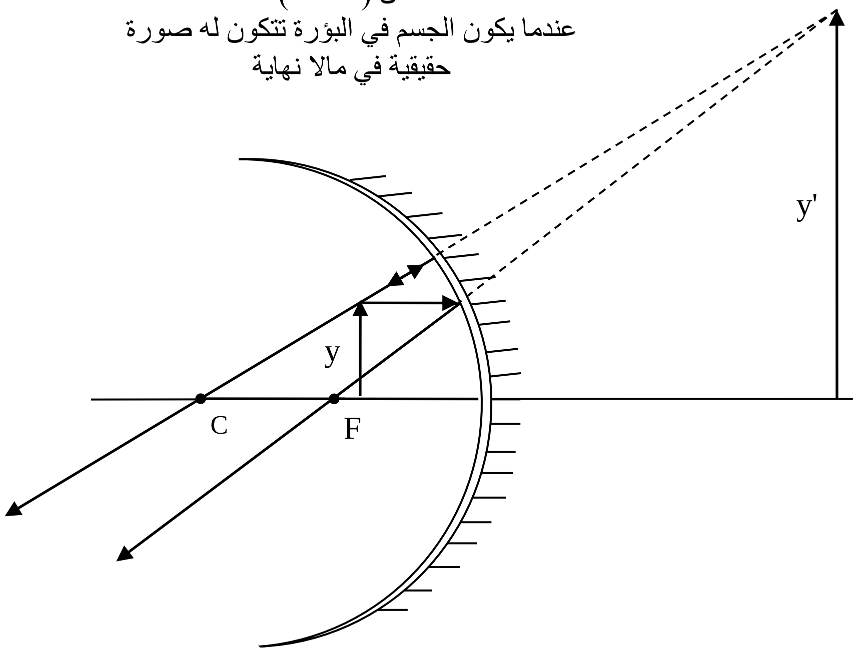
شكل (٥-٨-٢)
عندما يكون الجسم عند مركز التكور تتكون له صورة حقيقية عند نفس المسافة و تكون الصورة مقلوبة و طولها يساوي طول الجسم



شكل (٥-٨-٣)
عندما يكون الجسم بين مركز التكور والبؤرة تتكون
صورة حقيقية مقلوبة اكبر من طول الجسم

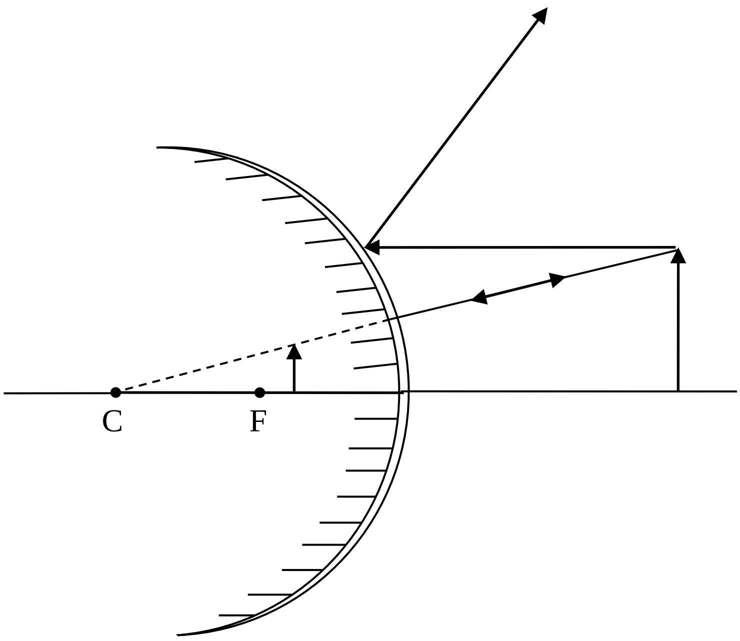


شكل (٥-٨-٤)
عندما يكون الجسم في البؤرة تتكون له صورة
حقيقية في مالا نهاية



شكل (٥-٨-٥)
عندما يكون الجسم على بعد أقل من البعد البؤري
تتكون له صورة تخيلية معتدلة مكبرة

وعندما تكون المرآة محدبة ، أي أن بؤرتها تقديرية ، فإن جميع الصور المتكونة للجسم تكون صورا تقديرية معتدلة ، والشكل (٥-٩) يوضح أحد هذه الحالات:



شكل (٥-٩)
جميع الصور المتكونة للجسم تكون صوراً تقديرية معتدلة

٥-١٠ الصور المتكونة بالانكسار Images Formed by Refraction

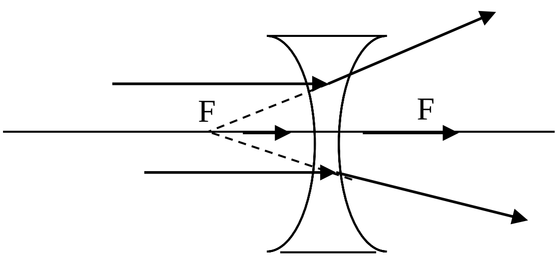
نناقش هنا انكسار الضوء خلال العدسات الرقيقة ، والعدسة الرقيقة مصنوعة من مادة شفافة بحيث يكون سطحها جزء من كرة ، وسمكها صغيرا مقارنة بخواصها البصرية مثل البعد البؤري وموضع الجسم وموضع الصورة . والشكل التالي يوضح نوعين من هذه العدسات هما:

١- العدسة المحدبة convex lens

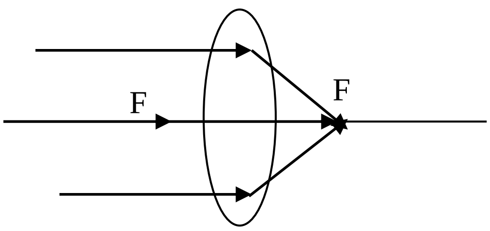
تسمى أيضا العدسة اللامة conversing lens وذلك لأنها تجمع الأشعة المنكسرة. (شكل ٥-١٠-١)

٢- العدسة المقعرة concave lens

تسمى أيضا العدسة المفرقة diverging lens وذلك لأنها تفرق الأشعة المنكسرة. (شكل ٥-١٠-٢)



شكل (٥-١٠-٢)
عدسة مقعرة أو مفرقة



شكل (٥-١٠-١)
عدسة محدبة أو لامة

وقبل أن نناقش تكون الصورة بالانكسار خلال العدسات الرقيقة علينا أن نعرف التالي:

١- المحور الأصلي Principle

وهو المحور الذي يصل بين مركزي تكور سطحي العدسة ومركز العدسة

٢- المركز البصري optical center

وهو المركز الهندسي للعدسة.

٣- البؤرة(F) Focus

وهي النقطة التي تتجمع فيها الأشعة الموازية للمحور الأصلي (بؤرة حقيقية) ، أوهي النقطة التي تبدو وكأن الأشعة الموازية للمحور الأصلي تنبثق منها(بؤرة تقديرية).

٤- البعد البؤري (f) focal length

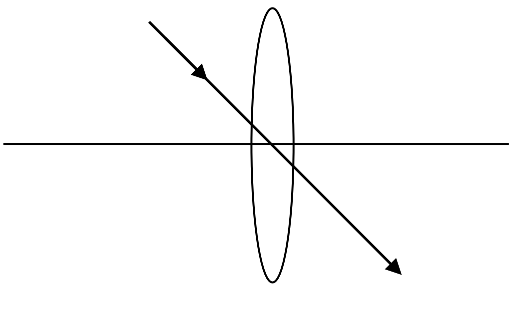
هو المسافة بين بؤرة العدسة والمركز البصري لها.

وكما شرحنا تكون الصورة بواسطة المرايا ، فإنه يمكن أن نجد طبيعة الصورة المتكونة بواسطة العدسة الرقيقة وذلك بتحديد تقاطع اثنين من الأشعة التالية:

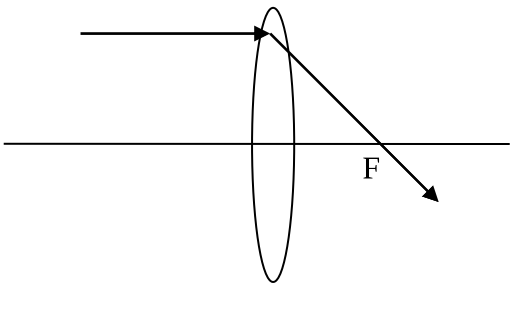
١- شعاع يمر بمركز العدسة فلا يعاني أي انكسار (شكل ٥-١١-١).

٢- شعاع موازي للمحور الأصلي فينكسر مارا بالبؤرة (شكل ٥-١١-٢).

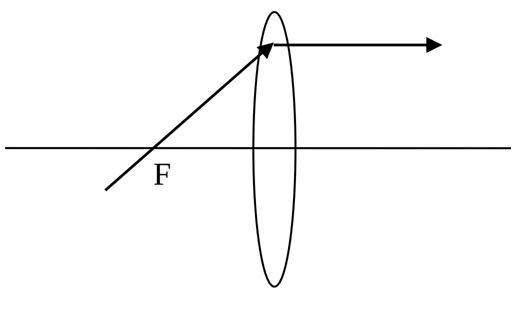
٣- شعاع مار بالبؤرة فينكسر موازيا للمحور الأصلي (شكل ٥-١١-٣).



شكل (٥-١١-١) الشعاع الذي يسقط مارا بمركز العدسة لا يعاني أي انكسار

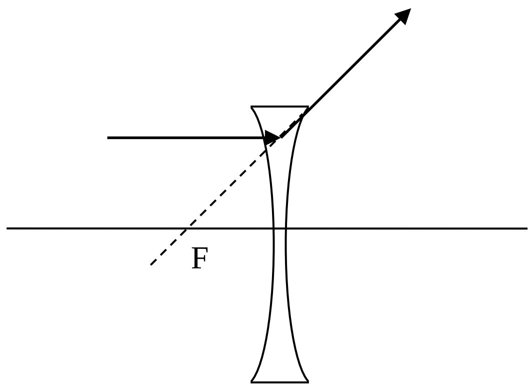


شكل (٥-١١-٢) الشعاع الذي يسقط موازيا للمحور الأصلي للعدسة ينكسر مارا بالبؤرة

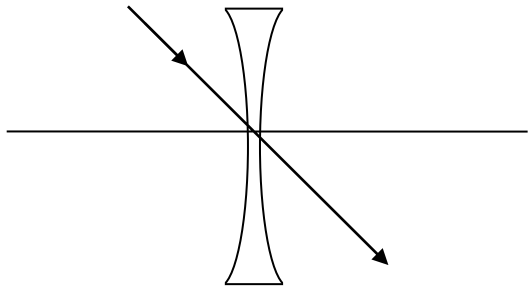


شكل (٥-١١-٣) الشعاع الذي يسقط مارا بالبؤرة ينكسر موازيا للمحور الأصلي

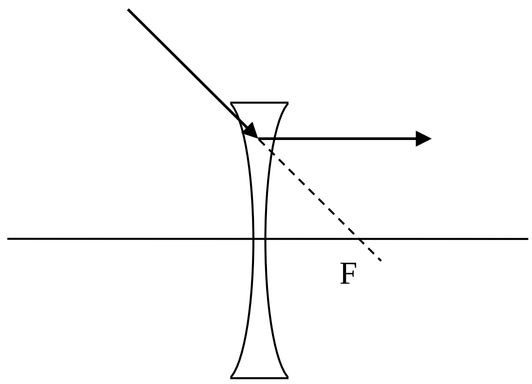
الأشكال التالية توضح كيفية انكسار الأشعة للعدسة المقعرة.



شكل (٥-١٢-٢) الشعاع الذي يسقط موازيا للمحور الأصلي للعدسة ينكسر بحيث يمر امتداده بالبؤرة



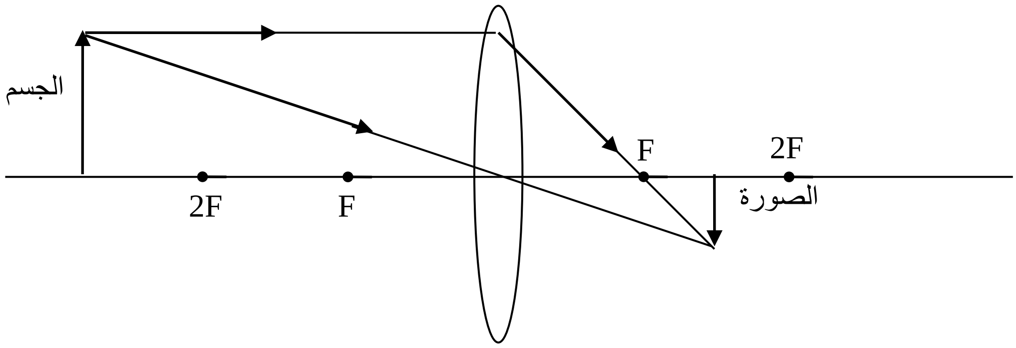
شكل (٥-١٢-١) الشعاع الذي يسقط مارا بمركز العدسة لا يعاني أي انكسار



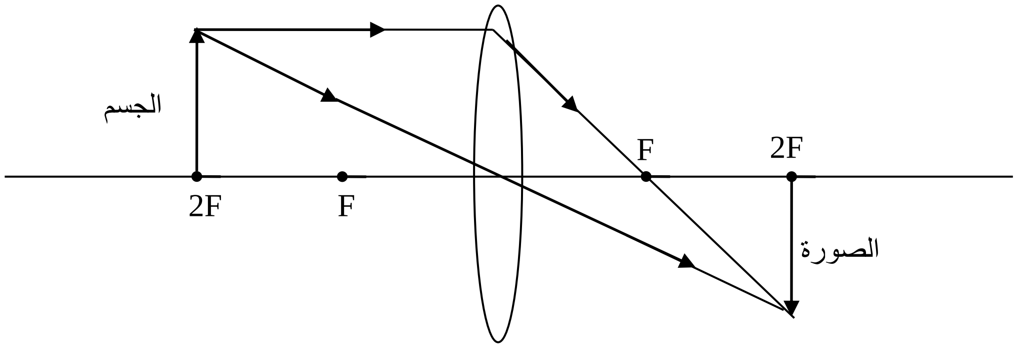
شكل (٥-١٢-٣) الشعاع الذي يسقط بحيث يمر امتداده بالبؤرة ينكسر موازيا للمحور الأصلي

كيف تتكون الصور في كل من العدسة المحدبة والعدسة المقعرة وما هي صفاتها؟

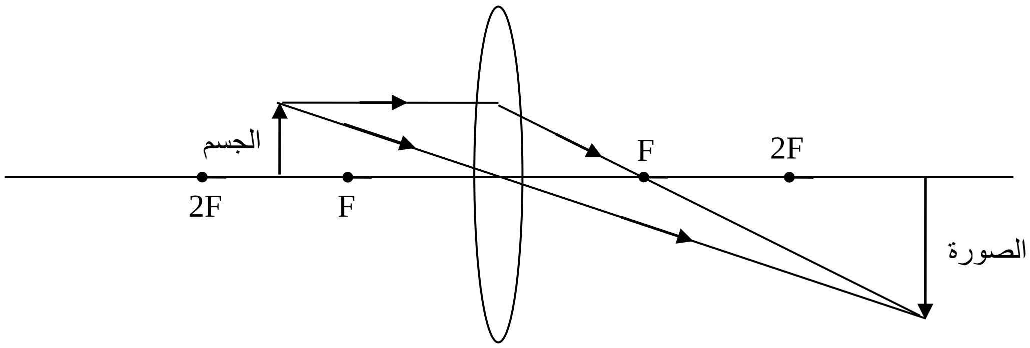
يمكن الإجابة على هذا السؤال من خلال الرسم كما هو موضح بالأشكال التالية (٥-١٢ إلى ٥-١٧) :



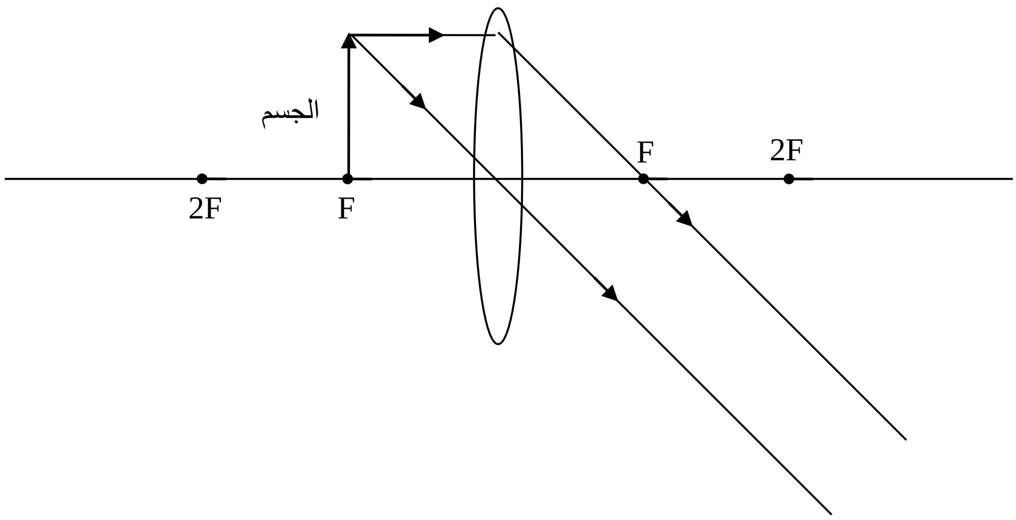
شكل (٥-١٢) تتكون صورة حقيقية مقلوبة مصغرة عندما يكون الجسم على مسافة أبعد من ضعف البعد البؤري.



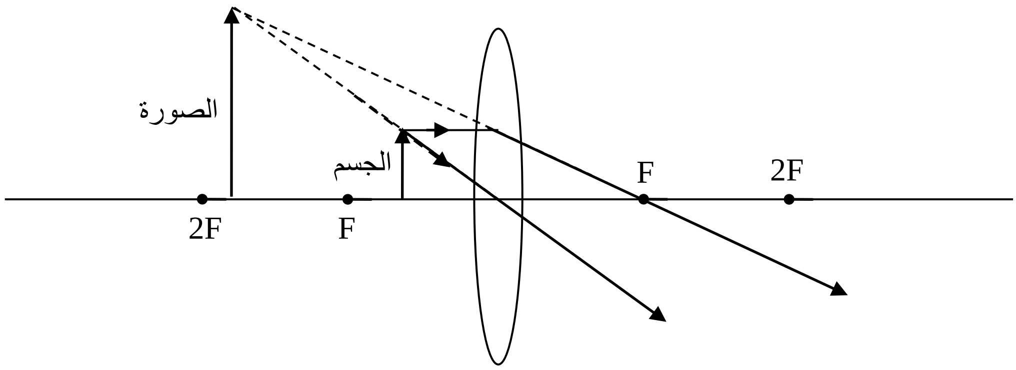
شكل (٥-١٣) تتكون صورة حقيقية مقلوبة مساوية لحجم الجسم عندما يكون الجسم عند ضعف البعد البؤري.



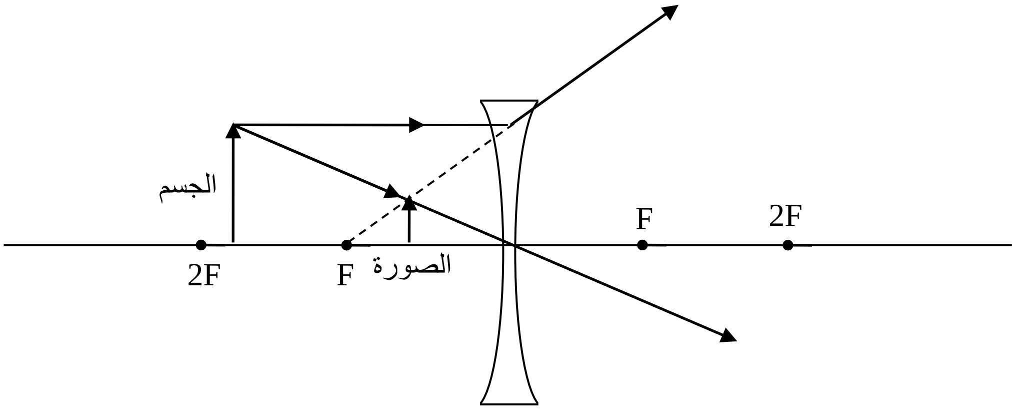
شكل (٥-١٤) تتكون صورة حقيقية مقلوبة مكبرة عندما يكون موضع الجسم بين البعد البؤري وضعف البعد البؤري البؤري.



شكل (٥-١٥) تتكون صورة حقيقية في مالانهاية للجسم عندما يكون موضع الجسم عند البعد البؤري.



شكل (٥-١٦) تتكون صورة تقديرية معتدلة مكبرة عندما يكون الجسم بين البعد البؤري ومركز العدسة.

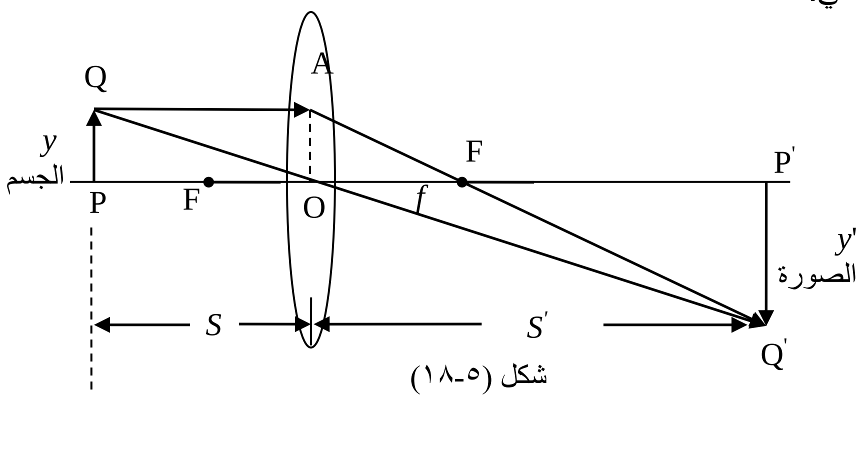


شكل (٥-١٧) جميع الصور المتكونة في هذه الحالة تكون صورا تقديرية معتدلة مصغرة بغض النظر عن موضع الجسم.

٥-١١ القانون العام للمرايا والعدسات:

The general formula for mirrors and lenses

هناك علاقة تربط بين موضع الجسم S ، وموضع الصورة S' والبعد البؤري f وسوف نستنتج هذه العلاقة وذلك بالاستعانة بالشكل التالي:



شكل (٥-١٨)

من تشابه المثلثين FP'Q'، FOA نجد أن:

$$\frac{P'Q'}{OA}=\frac{FP'}{FO}$$

$$\frac{y'}{y}=\frac{s'-f}{f} \quad (1)$$

ومن تشابه المثلثين OPQ، OP'Q' نجد أن:

$$\frac{P'Q'}{PQ}=\frac{P'O}{PO}$$

$$\frac{y'}{y}=\frac{S'}{S} \qquad (2)$$

بمقارنة (1) ، (2) نجد أن

$$\frac{S'}{S}=\frac{S'-f}{f}=\frac{S'}{f}-1$$

$$\frac{1}{S}=\frac{1}{f}-\frac{1}{S'}$$

$$\boxed{\frac{1}{S}+\frac{1}{S'}=\frac{1}{f}} \qquad (5\text{-}6)$$

وبالرغم من أن المعادلة (6-5) قد اشتقت للعدسة اللامة فإنه يمكن أن نشتقها للعدسة المفرقة ، وكذلك للمرآة المحدبة والمقعرة ، والمعادلة (6-5) تعرف بالقانون العام للمرايا والعدسات.

ولكن عند استخدام هذا القانون يجب مراعاة التالي:

١- البعد البؤري (f) يكون موجبا في حالة المرآة اللامة(المقعرة) والعدسة اللامة(المحدبة) ويكون سالبا في حالة المرآة المفرقة(المحدبة) والعدسة المفرقة(المقعرة).

٢- بعد الجسم S يكون موجبا إذا كان الجسم حقيقيا ، ويكون سالبا إذا كان الجسم غير حقيقي .

٣- بعد الصورة S' يكون موجبا إذا كانت الصورة حقيقية وسالبا إذا كانت الصورة تقديرية.

٤- جميع المسافات S'-S-f تقاس من مركز المرآة أو العدسة.

وقبل أن نوضح هذا القانون بأمثلة نود أن نشير بأن تكبير العدسة أو المرآة يمكن أن يعبر عنه كما هو واضح من المعادلة (2) كما يلي :

$$\boxed{m=\frac{y'}{y}=\frac{S'}{S}} \qquad (5\text{-}7)$$

أي أن التكبير هو النسبة بين طول الصورة وطول الجسم أو بعد الجسم.

مثال (٥-٤)

وضع جسم طوله $5cm$ على بعد $4cm$ من مرآة مقعرة بعدها البؤري $5cm$. جد بعد وطول الصورة وكذلك التكبير في المرآة.

الحل:

$$Y=5cm \quad S=4cm \quad F=+5cm \quad S'=? \quad Y=?$$

$$\frac{1}{S}+\frac{1}{S'}=\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{S'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{S'}$$

$$\frac{1}{S'}=\frac{1}{5}-\frac{1}{4}$$

$$S'=-20cm$$

والإشارة السالبة لبعد الصورة تدل على أن الصورة تقديرية

$$m=\frac{y'}{y}=\frac{S'}{S}$$

$$\frac{y'}{5}=\frac{20}{4}=5$$

$$y'=5\times 5=25cm$$

نستنتج أن الصورة مكبرة وكذلك تقديرية وذلك لأن بعدها سالب ، كما أن الصورة ستكون معتدلة أيضا.

قارن هذه النتيجة مع الشكل (٥-٨-٥) الذي مر عليك سابقا في المرايا المقعرة وذلك عندما يقع الجسم على بعد أقل من البعد البؤري للمرآة.

التكبير في المرآة:

$$m=\frac{y'}{y}=\frac{25}{5}=5>1$$

$$\because m>1$$

وحيث أن m أكبر من الواحد الصحيح فإن الصورة مكبرة.

مثال (٥-٥)

وضع جسم طوله $5cm$ على بعد $40cm$ من مرآة مقعرة بعدها البؤري $15cm$ ، أوجد بعد وطول الصورة وكذلك التكبير في المرآة.

الحل:

$y=5cm \quad S=40cm \quad F=15cm \quad S'=? \quad Y'=?$

$$\frac{1}{S}+\frac{1}{S'}=\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{S'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{S}=\frac{1}{15}-\frac{1}{40}=\frac{25}{600}$$

$$S'=24cm$$

$$m=\frac{y'}{y}=\frac{S'}{S}$$

$$\frac{y'}{5}=\frac{24}{40}$$

$$y'=\frac{24}{40}\times 5=3cm$$

نلاحظ من النتائج ان:

١- الصورة ستكون مصغرة.

٢- الصورة حقيقية لان بعدها موجب.

٣- الصورة مقلوبة.

قارن هذه النتيجة مع الشكل (٥-٨-١) الذي مر عليك سابقاً وذلك عندما يقع الجسم على بعد اكبر من نصف قطر التكور للمرآة المقعرة.

التكبير في المرآة:

$$m=\frac{y'}{y}=\frac{3}{5}=0.6<1$$

وحيث أن $m<1$ فان الصورة تكون مصغرة.

الاجهزة البصرية

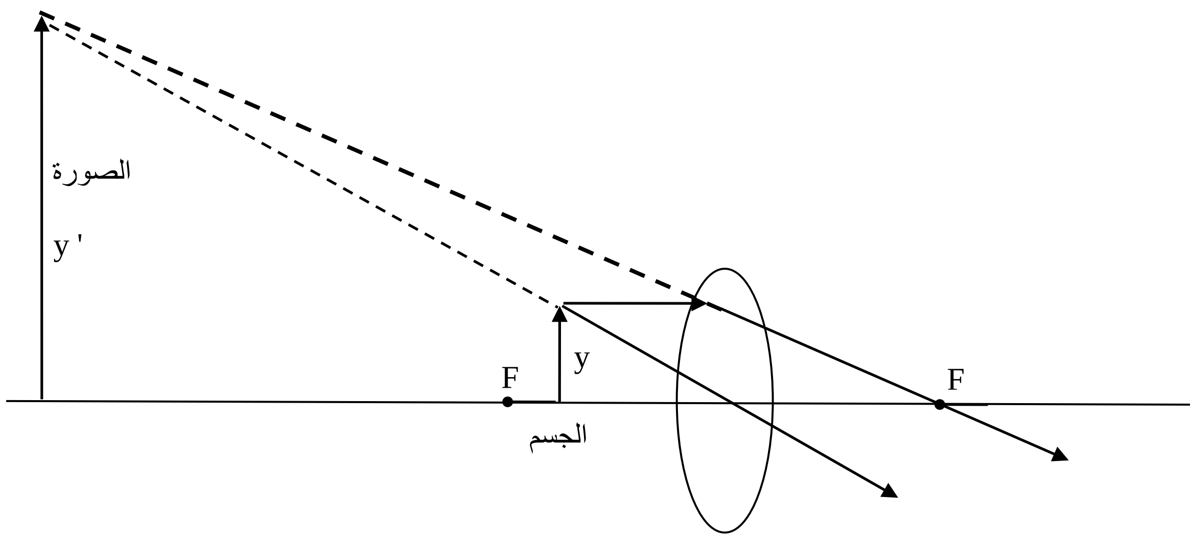
Optical instruments

٥-١٢ المجهر_البسيط Simple microscope

المجهر البسيط شكل (٥-١٩) ليس أكثر من عدسة محدبة، ويوضع الجسم المراد تكبيره بين مركزها وبؤرتها كما في الشكل، والصورة النهائية تكون تقديرية معتدلة، وفي العادة تكون على بعد *25cm*، وهي النقطة القريبة للعين، ويكون تكبير المجهر البسيط اذا كانت الصورة النهائية على بعد *25cm* هو:

$$\boxed{m=\frac{S'}{S}=\frac{25cm}{S}} \qquad (5\text{-}8)$$

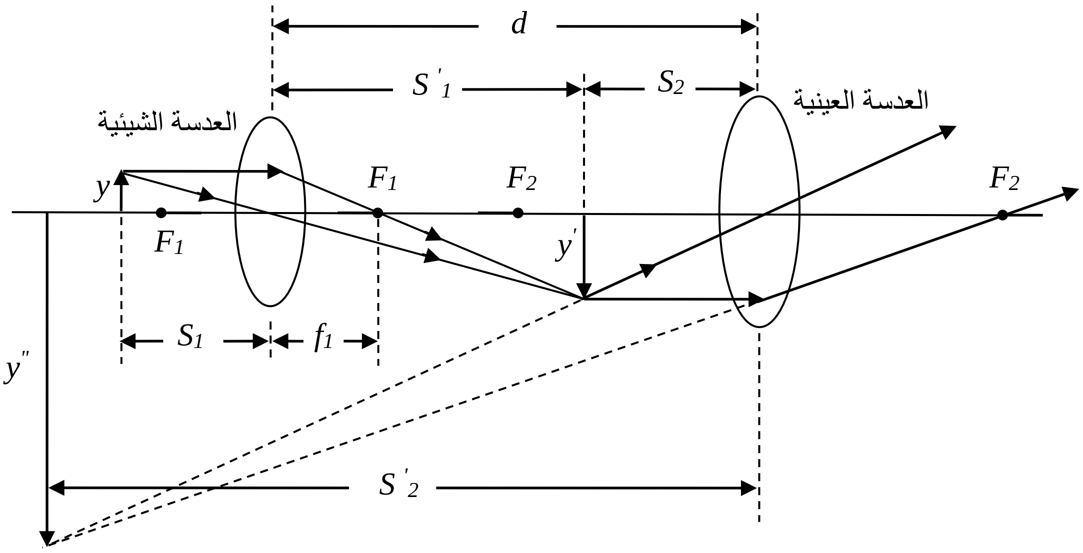
حيث *S* مقاسة بوحدة السنتيمتر.



شكل (٥-١٩) المجهر البسيط

٥-١٣ المجهر المركب Compound microscope

يتكون المجهر المركب من عدستين محدبتين بحيث تكون الصورة الناتجة عن العدسة الأولى (العدسة الشيئية Objective lens) بمثابة جسماً للعدسة الثانية (العدسة العينية Ocular lens). المسافة بين العدستين يمثل طول المجهر والشكل (٥-٢٠) يوضح عمل المجهرالمركب .



شكل (٥-٢٠) المجهر المركب

يوضع الجسم المراد تكبيره ابعد قليلاً من البعد البؤري للعدسة الشيئية ،فتتكون له صورة حقيقية مكبرة بحيث يكون موضعها داخل البعد البؤري للعدسة العينية ، وتعمل العدسة العينية عمل المجهر البسيط فتكون له صورة تقديرية مكبرة ويكون تكبير المجهر المركب هو

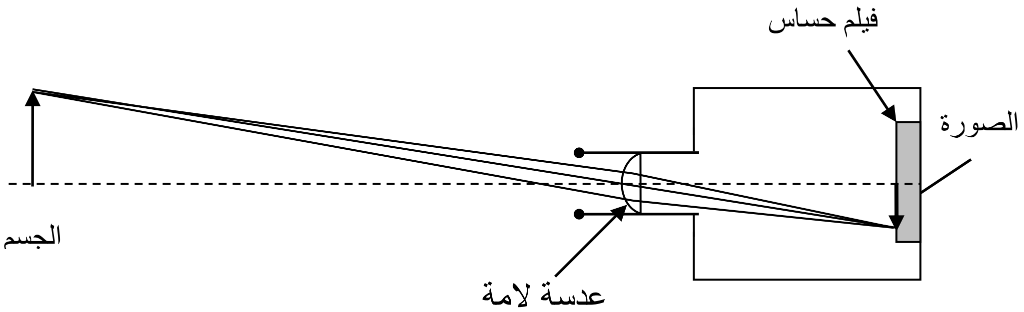
$$m = \frac{y''}{y} = \frac{y''}{y'} = \frac{y''}{y'} \bullet \frac{y'}{y} = m_2 m_1$$

$$\boxed{\therefore m = m_1 m_2} \qquad (5\text{-}9)$$

حيث m_1 تشير الى تكبير العدسة الشيئية و m_2 تشير الى تكبير العدسة العينية.

٥-١٤ آلة التصوير Camera

آلة التصوير عبارة عن عدسة لامة ،وصندوق معتم ، وفيلم حساس ، ويكون بعد الجسم المراد تصويره اكبر من البعد البؤري ،وتتكون له صورة مقلوبة على الفيلم كما في الشكل (٥-٢١).

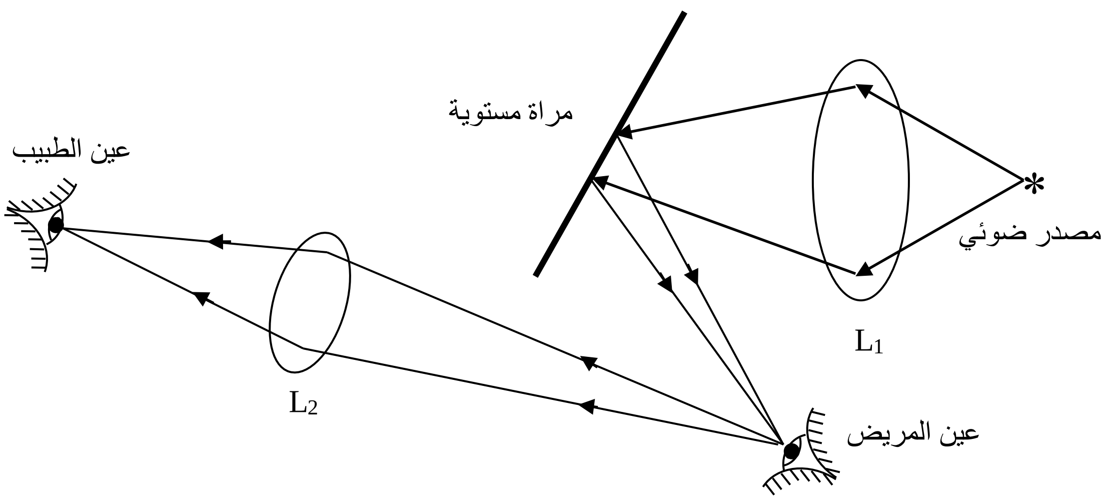


شكل (٥-٢١) آلة التصوير

ويوجد غطاء آلي يتحكم في مقدار الضوء الذي يدخل الآلة ، ويتناسب مقدار الضوء مع مساحة العدسة.

٥-١٥ المعيان Ophthalmoscope

وهو جهاز لفحص باطن العين ، ويستخدمه اطباء العيون لمعاينة مقلة العين الداخلية ،ويتكون من مصدر ضوئي قوي يتم تركيزه باستخدام عدسة محدبة على سطح مرآة لينعكس على عين المريض وينير جزء من شبكية العين ويتمكن الطبيب الفاحص من رؤية صورة مكبرة لسطح الشبكية (انظر الشكل ٥-٢٢) .



شكل (٥-٢٢) المعيان

مثال (٥-٦)

وضع جسم على بعد $S_1=1.2cm$ من العدسة الشيئية لمجهر مركب ، فتكونت له صورة نهائية على بعد $S_2'=25cm$ من العدسة العينية ، فإذا كان البعد البؤري للعدستين الشيئية $f_1=1.1cm$ والعينية $f_2=3cm$،

احسب:

١- بعد الصورة الأولية من العدسة الشيئية $S_1'=?$.

٢- بعد الصورة الأولية من العدسة العينية $S_2=?$.

٣- المسافة بين العدستين (طول المجهر) $d=?$.

٤- تكبير العدسة الشيئية $m_1=?$.

٥- تكبير العدسة العينية $m_2=?$.

٦- تكبير المجهر $m=?$.

الحل:

$$(1)\cdots\frac{1}{s_1}+\frac{1}{s_1'}=\frac{1}{f_1}$$

$$\frac{1}{1.2}+\frac{1}{s_1'}=\frac{1}{1.1}\Rightarrow\frac{1}{s_1'}=\frac{1.2-1.1}{(1.1)(1.2)}=\frac{0.1}{1.32}$$

$$\therefore s_1'=\frac{1.32}{0.1}=13.2cm$$

$$(2)\cdots\frac{1}{s_2'}+\frac{1}{s_2'}=\frac{1}{f_2}$$

$$\frac{1}{s_2}+\frac{1}{-25}=\frac{1}{3}\Rightarrow\frac{1}{s_2}=\frac{25+3}{(3)(25)}=\frac{28}{75}$$

$$\therefore s_2=\frac{75}{28}=2.75cm$$

$$(3)\cdots d=s_1'+s_2'=13.2+2.75=15.95cm$$

$$(4)\cdots m_1=\frac{s_1'}{s_1}=\frac{13.2}{1.2}=11$$

$$(5)\cdots m_2=\frac{s_2'}{s_2}=\frac{25}{2.75}=9.09$$

$$(6)\cdots m=m_1m_2=11\times 9.09=99.99\approx 100$$

مثال (٥-٧)

وضع جسم على بعد *27cm* من مرآة محدبة بعدها البؤري *9cm* ، أوجد طبيعة الصورة المتكونة.

الحل:

$$s = 27cm,\ f = -9cm$$

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{27}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{-9} \Rightarrow \frac{1}{s'}=-(\frac{3+1}{27})$$

$$s'=\frac{-27}{4}=-6.75cm$$

وحيث أن بعد الصورة سالب فان هذا يعني أن الصورة تقديرية

$$m=\frac{s'}{s}=\frac{6.75}{27}=0.25<1$$

وحيث أن التكبير اقل من الواحد الصحيح فان الصورة تكون مصغرة

مثال (٥-٨)

وضع جسم طوله *2.5cm* على بعد *10cm* من عدسة محدبة بعدها البؤري *8cm* ، جد طول الصورة.

الحل:

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}$$

$$\therefore \frac{1}{10}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{8} \Rightarrow \frac{1}{s'}=\frac{10-8}{(8)(10)}$$

$$\therefore s'=\frac{80}{2}=40cm$$

وحيث أن *S'* موجبة فان الصورة تكون حقيقية .

$$\therefore m=\frac{s'}{s}=\frac{y'}{y}$$

$$y'=y\frac{s'}{s}$$

$$\therefore y'=2.5\times\frac{40}{10}=10cm$$

إذن الصورة مكبرة لأن $y' > y$.

مسائل على الفصل الخامس

١- احسب سرعة الضوء في زجاج معامل انكساره 1.66 ، علما بأن سرعة الضوء في الفراغ تساوي $2.99\times10^8 m/s$.

٢- ما هو معامل انكسار كلوريد الصوديوم إذا اخترقه الضوء بسرعة $1.99\times10^8 m/s$ علما بأن $C=2.99\times10^8 m/s$ للفراغ .

٣- سقط ضوء في الهواء بزاوية 30 درجة على سطح لوح زجاجي معامل انكساره 1.66

أ- احسب زاوية انكسار الضوء داخل الزجاج .

ب- هل ينكسر الشعاع مقتربا أم مبتعدا عن العمود المقام ؟

ج- احسب زاوية انحراف الضوء.

٤- سقط شعاع ضوئي من الماء ($n_1=1.33$) بزاوية ($\theta_1=30^0$) على سطح لوح من الزجاج ($n_2=1.52$)

جد:

أ- اتجاه الشعاع المنعكس (θ_r = ?) .

ب- اتجاه الشعاع المنكسر (θ_2= ?) .

٥- عندما وضع جسم أمام مرآة مقعرة على بعد $34cm$ تكونت له صورة مماثلة في الطول ، احسب البعد البؤري للمرآة .

٦- جسم طوله $2.5cm$ على بعد $15cm$ من عدسة محدبة فتكونت له صورة على بعد $45cm$ ، جد:

أ- البعد البؤري للعدسة.

ب- طول الصورة.

٦- وضع جسم على بعد $5cm$ من عدسة مجهر بسيط فتكونت له صورة تقديرية على بعد $25cm$ ، احسب:

أ- تكبير المجهر.

ب- البعد البؤري لعدسة المجهر.

٧- إذا تكونت صورة نهائية على بعد $25cm$ من العدسة العينية لمجهر بتكبير كلي مقداره 330 مرة . احسب طول المجهر. إذا كان البعد البؤري للعدسة الشيئية $0.5\ cm$ وللعدسة العينية $2.5cm$.

الجواب ($d=17.77cm$)

٨- وضعت عدستان بعدهما البؤري ($+10cm$) و($+5cm$) بحيث كانت المسافة بينهما $30cm$. صف طبيعة الصورة النهائية لجسمٍ وضع على بعد $18cm$ من العدسة $+10cm$.

الجواب ($S_2'=-15cm$)

أي أن الصورة النهائية صورة تقديرية وفي منتصف المسافة بين العدستين .

A

m² cm² mm² km cm mm µm ℓ →⟶
mm³ cm³ m³ km³ m/s m/s² rad rad/s rad/s²
µs ms mW kΩ MΩ kW

η θ γ β ؟ > < ∞ √ ˆ ° ¾ ½ ¼ ^ + ، - µ α × %
≥ ≤ √↑ ← → ↔ ” “ • – — — θ σ ρ π ξ λ ω
جـ د ∴ × ∫ ∫ ∂ ˆ ~ ∞ ˚ ĵ ؟ î î ± … هـ ☼ ∑ ≠ ≈
مستودع غاز أيدروجين زئبق **h** أ ∂∇ Δ⇆ ↥ } **ب**
أنبوبة ملتوية وسط
λ ∴ χ→π⇨☑☒➡➧