الفيزياء العامة

لطلاب كليات التربية والعلوم والهندسة

إعداد

د. حسن مريدي

أستاذ مساعد فيزياء نووية نظرية بجامعة تعز اليمن

https://sites.google.com/site/hasanmaridi

الطبعة الأولى – 2017

المقدمة

يقدم هذا المقرر أهم مبادئ الفيزياء وقوانينها مدعما بالمسائل والتمارين وتطبيقات هذه المبادئ في الحياة. والكتاب تم اعداده من عدة مراجع رئيسية في الفيزياء وكذلك محاضرات الفيزياء العامة من عدة جامعات.

الكتاب تم اعداده لكليات التربية والعلوم والهندسة وهذا هو الاصدار الأول ونسأل الله أن يمدنا بالعمر والعافية لنخرجه بشكل أفضل في الاصدارات القادمة.

د. حسن مريدي
صنعاء، اليمن 2017

المحتويات

الفصل الأول-القياس: الأبعاد، وحدات القياس، أنظمة القياس، التحليل البعدي

الفصل الثاني- المتجهات: المتجهات ومركباتها، متجهات الوحدة، جمع المتجهات، ضرب المتجهات

الفصل الثالث- الحركة الخطية: الحركة الخطية المنتظمة في بعد واحد

الفصل الرابع- القوة وقوانين الحركة: القوة وأنواعها، قوانين نيوتن للحركة، الاتزان، الشغل والطاقة والقدرة

الفصل الخامس- خواص المادة: الكثافة ،المرونة، قانون هوك

الفصل السادس- خواص الموائع: الضغط ، اللزوجة، الشد السطحي

الفصل السابع- الحرارة: كمية الحرارة – الحرارة النوعية - التمدد الحراري- انتقال الحرارة

الفصل الثامن- الصوت:الموجات - الصوت- سرعة الصوت- شدة الصوت - انعكاس وحيود الصوت - ظاهرة دوبلر

الفصل التاسع- الكهربية: الكهرباء الساكنة - قانون كولوم - المجال الكهربى - الجهد الكهربى – المكثفات- التيار الكهربي - المقاومات - قانون أوم - القدرة الكهربية

الفصل العاشر- المغناطيسية: المجالات المغناطيسية، قانون بيوت وسفارت، قانون أمبير

الفصل الحادي عشر- الضوء: طبيعة الضوء، الإنعكاس ، الإنكسار، المرايا وأنواعها، العدسات وأنواعها، قوانين المرايا والعدسات

الفصل الثاني عشر- الفيزياء النووية والنشاط الاشعاعي: الذرة ومكوناتها، الاستقرار النووي وطاقة الربط النووية، النشاط الاشعاعي، التفاعلات النووية، الانشطار النووي، الاندماج النووي، المفاعلات النووية، المعجلات النووية، انتاج واستخدامات النظائر

الفصل الأول: الوحدات والأبعاد
Units and Dimensions

1-1 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. وقياس الكميات الفيزيائية يعنى تحديد مقدارها بأداة القياس والمقدار يعنى رقما ووحدة قياس معيارية.

و تنقسم الكميات الفيزيائية إلى:

- **كميات أساسية:** هي الكتلة و الطول و الزمن و يرمز لها (T , L , M) على الترتيب.

  وحدة قياس الطول (L) Length وتقاس فى النظام الدولى بالمتر m

  وحدة قياس الكتلة (M) Mass وتقاس فى النظام الدولى بالكيلوجرام Kg

  وحدة قياس الزمن (T) Time وتقاس فى النظام الدولى بالثانية S

  و يوجد وحدات أساسية أخرى فى الفيزياء مثل درجة الحرارة وشدة الإضاءة وغيرها.
- **كميات مشتقه:** هي كميات مشتقة من الكميات الأساسية مثل الحجم و السرعة و العجلة و غير ذلك.

2-1 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 80 (دون ذكر وحدة القياس) لأن 80 كيلو متر تختلف عن 80 متر تختلف عن 80 ميل حيث أن الكيلو متر والمتر والميل هي وحدات قياس الطول.

أنظمة القياس

- **النظام الدولي ISU (M K S system):** متر – كيلوجرام – ثانيه. وأحياناً يسمى بالنظام الفرنسي المطلق. وفيه يقاس الطول بالمتر(M) وتقاس الكتلة بالكيلوجرام (K) ويقاس الزمن بالثانية (S)
- **نظام (C G S system)**: سنتيمتر – جرام – ثانيه وهو نظام الوحدات الأصغر حيث يقاس الطول بالسنتمتر(C) وتقاس الكتلة بالجرام (G) ويقاس الزمن بالثانية (S).
- **النظام البريطاني (F B S):** قدم – باوند – ثانيه حيث يقاس الطول بالقدم (Foot) وتقاس الكتلة بالرطل (Slug) ويقاس الزمن بالثانية (S).

وجميع الوحدات المستخدمة في هذا المقرر سوف تكون وفقاً للنظام الدولي للوحدات.

وقد تكون قيمة بعض الكميات الفيزيائية كبيرة جداً أو صغيرة جداً، لذلك نستخدم مقاطع لتدل علي مضاعفات أو أجزاء الوحدة. ويعرض الجدول (1-1) الآتي بعض هذه المقاطع.

جدول (1-1) مضاعفات وأجزاء الوحدة

الاسم	الرمز	القيمة		الاسم	الرمز	القيمة
ديسي	d	10^{-1}		ديكا	da	10
سنتي	c	10^{-2}		هيكتو	h	10^{2}
مللي	m	10^{-3}		كيلو	K	10^{3}
ميكرو	µ	10^{-6}		ميجا	M	10^{6}
نانو	n	10^{-9}		جيجا	G	10^{9}
بيكو	p	10^{-12}		تيرا	T	10^{12}
فيمتو	f	10^{-15}				

تعتبر وحدة قياس المسافة (الكيلومتر) كبيرة في بعض الأحيان فمثلاً لقياس طول غرفة الدراسة أو قياس مسافة عرض الشارع فإنه يمكن استخدام وحدات مشتقة مثل المتر أو السنتمتر أو الميليمتر. الجدول التالي يوضح قيمة وحدات المسافة المشتقة بالمتر.

جدول (1-2) مضاعفات وأجزاء المتر

الاسم	الرمز	القيمة
ديسيمتر	dm	10^{-1} m
سنتمتر	cm	10^{-2} m
مليمتر	mm	10^{-3} m
كيلومتر	km	10^{3} m

الجدول (1-3) يبين وحدات القياس الأساسية والجدول (1-4) يبين بعض وحدات القياس المشتقة.

جدول (1-3) 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 (1-4) وحدات القياس المشتقة

الكمية	الوحدة بالنظام الدولي (ISU)	الوحدة بالنظام البريطاني (FBS)
المساحه	متر^2 (m^2)	قدم^2 (ft^2)
الحجم	متر^3 (m^3)	قدم^3 (ft^3)
الكثافة = الكتلة / الحجم	Kg/m^3	باوند / قدم^3
قوة	نيوتن ($N=Kg.m/s^2$)	ثقل باوند (LB)
الضغط = قوة / مساحة	(باسكال $Pa=N/m^2$)	ثقل باوند / قدم^2

3-1 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 (1-3) يوضح أبعاد بعض الكميات الفيزيائية.

جدول (1-5) حساب أبعاد بعض الكميات الفيزيائية

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

4-1 نظرية الأبعاد (Dimensional Analysis) 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.

اختبار صحة القوانين

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

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \qquad (1\text{-}1)$$

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:

$$\sqrt{\frac{L}{LT^{-2}}} = \sqrt{T^2} = T \qquad (1\text{-}2)$$

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

مثال (Example)

استخدم التحليل البعدي للتأكد من أن هذه المعادلة صحيحة $x = ½\ at^2$ حيث x مسافة و a العجلة و t الزمن.

الحل (Solution)

$x = ½\ at^2$

الطرف الأيسر للمعادلة له بعد طول، ولكي تكون المعادلة صحيحة فإن الطرف الأيمن يجب أن يكون له بعد طول أيضاً، وللتحقق من صحة المعادلة نستخدم تحليل الأبعاد لطرفي المعادلة.

$$L = \frac{L}{T^2} \times T^2 = L$$

اذا هذه المعادلة صحيحة لأن طرفي المعادلة لهم نفس البعد.

مثال (Example)

وضح أن هذه العلاقة صحيحة بعديا $v = v_o + at$ حيث v و v_o سرعات بينما t الزمن و a العجلة

Solution الحل

$[v] = L/T \qquad [v_o] = L/T \qquad [at] = (L/T^2).T = L/T$

اذا جميع أجزاء المعادلة لها نفس البعد L/T

أو يمكنك كتابة أبعاد كالاتي

$L/T = L/T + (L/T^2).T = L/T$

مسائل على الفصل الأول

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

2- أثبت صحة العلاقة التالية من حيث الأبعاد.

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

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

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

$$\boxed{x = x_0 + v_o t + \tfrac{1}{2} at^2}$$

4- أوجد وحدة قياس ثابت التناسب في قانون هوك، $F=-kx$

الفصل الثاني: المتجهات

Vectors

1-2 الكميات القياسية والكميات المتجهة Scalars and vectors

الكميات الفيزيائية نوعان:

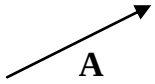
أ- **الكميات القياسية:** هي كميات فيزيائية غير متجهة يتم تعيينها تماماً إذا عرف مقدارها فقط.

ومن أمثلة الكميات القياسية: الكتلة، الزمن، الطول، درجة الحرارة والطاقة.

ب- **الكميات المتجهة:** هي كميات فيزيائية متجهة يتم تعيينها تماماً بمعرفة 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. وتستخدم عادةً الطرق الهندسية في تمثيل الكمية المتجهة حيث يمثَّل المتجه بيانياً بسهم يتناسب طوله طردياً مع مقدار المتجه واتجاهه يمثل اتجاه المتجه شكل (2-1) .

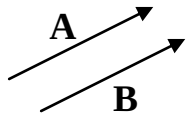


شكل (2-1) سهم يمثل المتجه

خواص المتجهات:

- **تساوي المتجهات:**

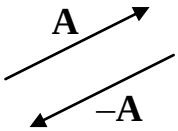
إن المتجهين **A** ، **B** متساويان إذا كان لهما نفس المقدار ونفس الاتجاه (ونفس الوحدة إن وجدت) ، أي أن **A = B** إذا كان مقدار **A** يساوي مقدار **B** وكان السهم الممثل للمتجه **A** يوازي السهم الممثل للمتجه **B** شكل (2-2) .



شكل (2-2) تساوي المتجهات

- **سالب المتجه:**

إذا أعطينا المتجه **A** فإن **A–** هو متجه مساوٍ له في المقدار ويعاكسه في الاتجاه شكل (2-3) .



شكل (2-3) 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.

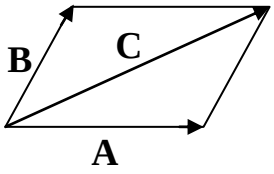
إيجاد محصلة مجموعة من المتجهات:

1- 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.

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

أ- طريقة متوازي الأضلاع:

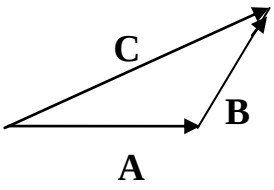
حاصل جمع المتجهين **A** و **B** هو متجه **C**، ويسمى عادةً بالمحصلة (Resultant). ولإجراء عملية الجمع نقوم برسم أحد المتجهين أولاً وليكن **A** بمقياس رسم مناسب ، ثم من بداية المتجه **A** نرسم المتجه **B** بنفس مقياس الرسم ثم نكمل رسم متوازي الأضلاع فتكون المحصلة هي قطر متوازي الأضلاع الذي ضلعاه المتجاوران هما المتجهان **A** و**B**. كما هو موضح في الشكل (2-4).



شكل (2-4) محصلة متجهين بطريقة متوازي الأضلاع

ب- طريقة المثلث:

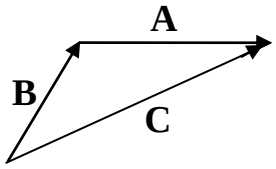
لإجراء عملية الجمع بطريقة المثلث نقوم برسم أحد المتجهين أولاً وليكن **A** بمقياس رسم مناسب، ثم من رأس المتجه **A** ننقل المتجه **B** فتكون المحصلة **C** هي المتجه الذي يبدأ من بداية المتجه **A** وينتهي عند رأس المتجه **B** كما في الشكل (2-5) .



شكل (2-5) 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 (2-6) محصلة متجهين **B+A** بطريقة المثلث

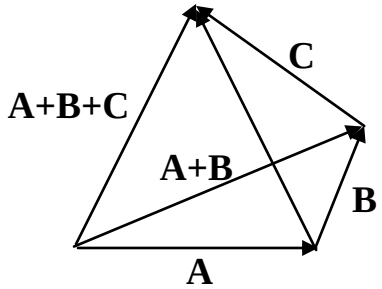
لنفرض أننا بدأنا عملية الجمع بأخذ المتجه **B** أولاً ثم جمعنا إليه المتجه **A** أي قمنا بعملية الجمع **B+A** يتضح من الشكل (2-6) أننا نحصل على نفس المتجه **C** وبذلك نستطيع أن نكتب :

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

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 (2-7).

ويمكن التعبير عن هذه النتيجة رياضياً بالمعادلة



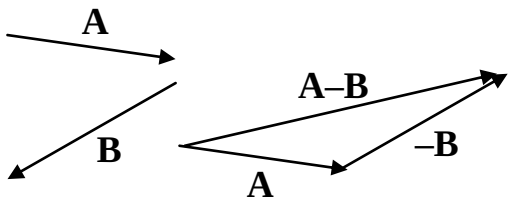
شكل (2-7) محصلة ثلاث متجهات بطريقة المثلث

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

وتسمى هذه المعادلة بقانون الترافق للجمع.

- **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 (2-9). تمثل هذه العملية رياضياً بالمعادلة (2-5).



شكل (2-9) طرح المتجهات

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

- **ضرب المتجهات بكمية قياسية:**

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

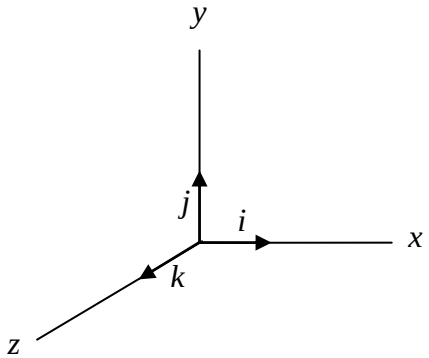
من الأمثلة الفيزيائية على ضرب المتجه بكمية قياسية الزخم الخطي (كمية التحرك الخطية) **P** وهو حاصل ضرب الكتلة m في متجه السرعة **v** ويعطي بالعلاقة (2-6).

$$\mathbf{P} = m\,\mathbf{v} \qquad (2\text{-}5)$$

2-2 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 ***i*** و ***j*** و ***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 (2-10) ، 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 :



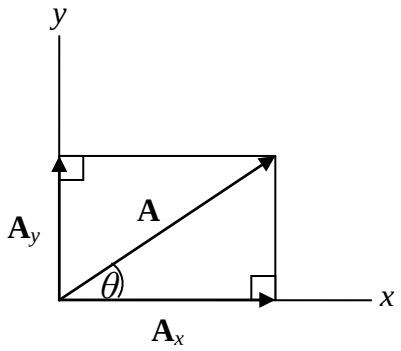
شكل (2-10) متجهات الوحدة ***i*** و***j*** و***k*** تتجه في الاتجاه الموجب للمحاور الثلاثة x وy وz على الترتيب

$$\mathbf{A} = A\,\boldsymbol{i}\,,\ \mathbf{B} = B\,\boldsymbol{j}\,,\ \mathbf{C} = C\,\boldsymbol{k}$$

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

3-2 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** :



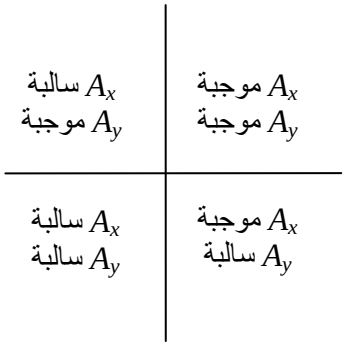
شكل (2-11) تحليل المتجه **A** إلى مركبتين متعامدتين

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

فإذا كان المتجه **A** يصنع زاوية مقدارها θ مع الاتجاه الموجب لمحور x كما هو بالشكل (2-11) 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) :



شكل (2-12) إشارة المركبات حسب الربع الذي يقع فيه المتجه

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

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

ومن الشكل (2-11) نجد أن

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

وعند حلها لإيجاد قيمة θ فإننا نكتب

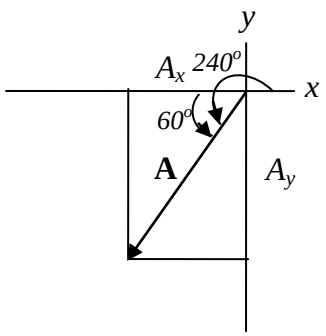
$$\theta = \tan^{-1}\frac{A_y}{A_x} \qquad (2\text{-}11)$$

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 (2-12) يلخص إشارات المركبات في كل ربع.

مثال (2-1)

احسب المركبتين السينية والصادية للمتجهات التالية:

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



الحل:

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

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

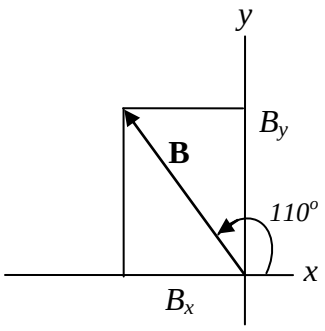
حل آخر:

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

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

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

الحل:



$$B_x = B\cos 110 = -1.7$$

$$By = B\sin 110 = 4.7$$

4-2 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

$$\boxed{R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}} \qquad (2\text{-}12)$$

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

$$\boxed{\theta = \tan^{-1}\frac{R_y}{R_x}} \qquad (2\text{-}13)$$

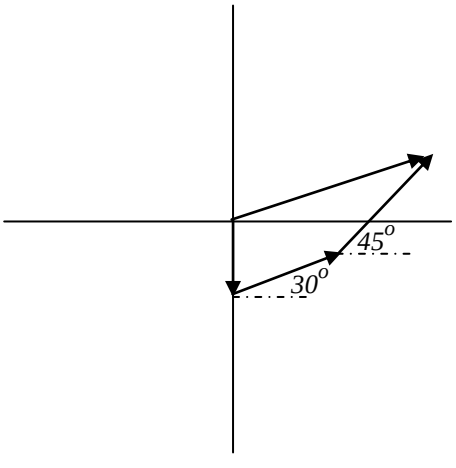
ويمكن كتابة محصلة مجموعة من المتجهات بصورتها الاتجاهية كما يلي:

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

مثال (2-2)

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

الحل:



شكل (2-13) مثال (1)

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 صنعاء 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.

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

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

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

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

$$\theta = 23.2^O$$

ملاحظة/ يمكن كتابة المحصلة بصورتها الاتجاهية كما يلي:

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

مثال (2-2)

Two vectors are given by $\vec{A} = 3i - 2j$ and $\vec{B} = -i - 4j$. Calculate (a) $\vec{A} + \vec{B}$, (b) $\vec{A} - \vec{B}$, (c) $|\vec{A} + \vec{B}|$, (d) $|\vec{A} - \vec{B}|$, and (e) the direction of $\vec{A} + \vec{B}$ and $|\vec{A} - \vec{B}|$.

الحل

(a) $\vec{A} + \vec{B} = (3i - 2j) + (-i - 4j) = 2i - 6j$

(b) $\vec{A} - \vec{B} = (3i - 2j) - (-i - 4j) = 4i + 2j$

(c) $|\vec{A} + \vec{B}| = \sqrt{2^2 + (-6)^2} = 6.32$

(d) $|\vec{A} - \vec{B}| = \sqrt{4^2 + 2^2} = 4.47$

(e) For $\vec{A} + \vec{B}$, $\theta = \tan^{-1}(-6/2) = -71.6^\circ = 288^\circ$

For $\vec{A} - \vec{B}$, $\theta = \tan^{-1}(2/4) = 26.6^\circ$

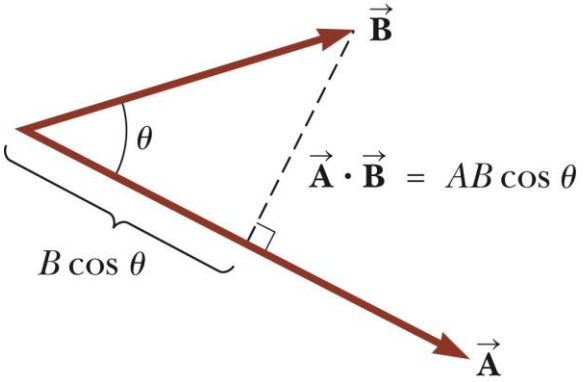
5-2 ضرب المتجهات Product of vectors

يوجد نوعين من الضرب للمتجهات النوع الأول يسمى الضرب القياسي لان حاصل ضرب متجهين يعطي كمية قياسية مثل حاصل ضرب متجه القوة في متجهة الإزاحة يكون الناتج الشغل وهو كمية قياسية، والنوع الثاني هو

الضرب الاتجاهي وذلك لان حاصل ضرب متجهين ينتج عنه متجه ثالث يكون اتجاهه عمودي على المستوى الذي يحوي المتجهين الآخرين مثل متجه سرعة جسم مشحون في متجه المجال المغناطيسي ينتج عنه متجه قوة مغناطيسية.

الضرب القياسي The scalar product

يعرف الضرب القياسي scalar product بالضرب النقطي dot product وتكون نتيجة الضرب القياسي لمتجهين كمية قياسية. ويعرف الضرب القياسي لمتجهين بحاصل ضرب مقدار المتجه الأول في مقدار المتجه الثاني في جيب تمام الزاوية المحصورة بينهما.



$$\vec{A}.\vec{B} = |A||B|\cos\theta \qquad (2\text{-}15)$$

يمكن إيجاد قيمة الضرب القياسي لمتجهين باستخدام مركبات كل متجه كما يلي:

$$\hat{\mathbf{i}}\cdot\hat{\mathbf{i}} = \hat{\mathbf{j}}\cdot\hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{k}}\cdot\hat{\mathbf{k}} = 1$$
$$\hat{\mathbf{i}}\cdot\hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{i}}\cdot\hat{\mathbf{k}} = \hat{\mathbf{j}}\cdot\hat{\mathbf{k}} = 0$$

$$\mathbf{A.B} = (A_x\,\boldsymbol{i} + A_y\,\boldsymbol{j} + A_z\boldsymbol{k})\,.\,(B_x\,\boldsymbol{i} + B_y\,\boldsymbol{j} + B_z\boldsymbol{k})$$

$$\begin{aligned}\vec{A}.\vec{B} = (&A_x i.B_x i + A_x i.B_y j + A_x i.B_z k\\ &+ A_y j.B_x i + A_y j.B_y j + A_y j.B_z k\\ &+ A_z k.B_x i + A_z k.B_y j + A_z k.B_z k)\end{aligned}$$

Therefore

$$\therefore \vec{A}.\vec{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

The angle between the two vectors is

$$\cos\theta = \frac{\vec{A}.\vec{B}}{|A||B|} = \frac{A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z}{|A||B|}$$

مسائل على الفصل الثاني

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

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

3- 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) $\mathbf{A + B}$ ب) $\mathbf{A - B}$ ج) $\mathbf{B - A}$ د) $3\mathbf{A - B}$

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

ا) $A = 8m \quad , \quad \theta = 60°$

ب) $A = 6m \quad , \quad \theta = 120°$

ج) $A = 12m \quad , \quad \theta = 225°$

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

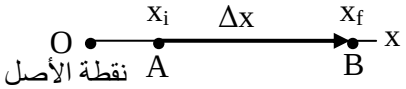
150 بزاوية $20°$ ، 100 بزاوية $120°$ ، 80 بزاوية $170°$ ، 120 بزاوية $240°$ و جميع الزوايا مقاسه بالنسبة للاتجاه الموجب لمحور السينات.

الفصل الثالث: الحركة الخطية
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.

1-3 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 (3-1) 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 محورx السالب. يبين الشكل (3-1) 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.

2-3 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 :

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

3-3 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 :

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

4-3 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.

$$\boxed{\overline{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}} \qquad (3\text{-}4)$$

5-3 التسارع اللحظي Instantaneous acceleration

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

$$a = \frac{dv}{dt} \qquad (3\text{-}5)$$

مثال (3-1)

يتحرك جسم من نقطة الأصل شرقاً مسافة 40m في ست ثواني ، ثم تابع شرقاً مسافة 60m في أربع ثواني . أوجد

أ) إزاحة الجسم

ب) متوسط سرعته المتجهة

ج) متوسط سرعته المتجهة خلال الفترة الزمنية الثانية .

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

$$\Delta x = 40m + 60m = 100m$$

وحيث أن الإزاحة موجبة فإنها تكون باتجاه الشرق.

ب) متوسط السرعة المتجهة

$$\bar{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{X_2 - X_1}{t_2 - t_1} = \frac{100m}{6s + 4s} = 10\ {}^{m}\!/_{s}$$

وبما أنها موجبه فهي أيضاً في اتجاه الشرق.

ج) في الفترة الزمنية الثانية كانت

التغير في المسافة = $\Delta x = 60\ m$

التغير في الزمن = $\Delta t = 4s$

$$\bar{v} = \frac{60m}{4s} = 15\ {}^{m}\!/_{s}$$

6-3 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)

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{V - V_0}{t - 0} \qquad (3\text{-}6)$$

وتتلخص قوانين الحركة الخطية ذات العجلة المنتظمة فيما يأتي:

أولاً: إذا كان الجسم يتحرك بسرعة ابتدائية v_0 وبعجلة منتظمة a ، فمن المعادلة (3-6) تكون سرعته v عند الزمن t هي

$$v = v_0 + at \qquad (3\text{-}7)$$

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

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \qquad (3\text{-}8)$$

وهذه العلاقة تربط بين المتغيرات الثلاث t و a و x

ثالثاً : من تعريف العجلة

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

إذا عوضنا في العلاقة (3-8) عن قيمه t نحصل على:

$$\boxed{V^2 = V_0^2 + 2ax} \qquad (3\text{-}9)$$

مثال (3-2)

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 (3-3)

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 (3-4)

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)

$$x = v_0t + 1/2\ at^2 \Rightarrow 50 = (0)\ (t) + 1/2\ (2.5)\ t^2$$

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

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

$$t = (40)^{½} = 6.32\ s$$

ب)

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

مثال (3-5)

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:

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

مثال (3-6) (السقوط الحر)

جسم كتلته $2kg$ يسقط من ارتفاع $80m$ تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية،

أ) احسب السرعة النهائية عند ارتطامه بالأرض.

ب) الزمن اللازم لوصوله الأرض .

الحل

أ) $v_0 = 0 \quad , \; x = 80\ m \; , \; a=g = 10\ m/s^2$

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

$$v^2 = 0 + 2\ (10)\ (80) = 1600)$$

$$v = 40\ m/s$$

ب) $$v = v_0 + at$$

$$t = (40-0)/10 = 4s$$

مسائل على الفصل الثالث

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

2- يتحرك جسم على خط مستقيم بسرعة $10m/s$ مسافة $200m$ ثم بسرعة $20m/s$ مسافة $140m$ في نفس الاتجاه. جد متوسط سرعة الجسم المتجهة خلال هذه الرحلة.

3- 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.

4- 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.

5- 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.

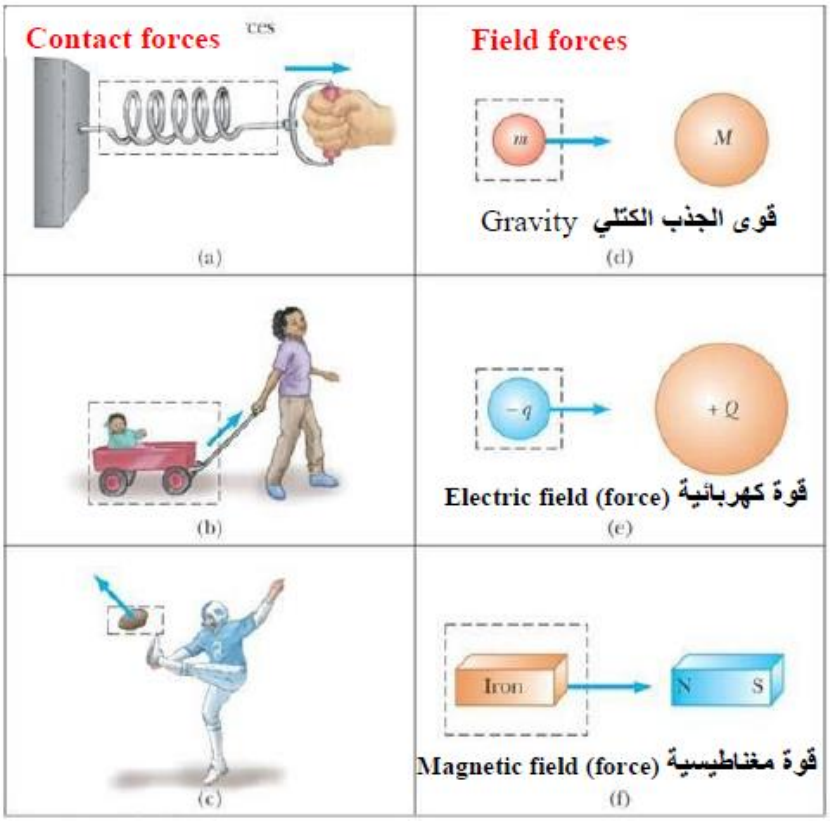
ب) سرعته الابتدائية.

الفصل الرابع: القوة وقوانين الحركة

Force and Newton's law of motion

1-4 القوة Force

نتعامل في حياتنا اليومية مع العديد من أنواع القوى المختلفة التي قد تؤثر على الأجسام المتحركة فتغير من سرعتها مثل شخص يدفع عربة أو يسحبها أو أن تؤثر القوة على الأجسام الساكنة لتبقيها ساكنة مثل الكتاب على الطاولة أو الصور المعلقة على الحائط. ويكون تأثير القوة مباشر *Contact force* مثل سحب زنبرك أو دفع صندوق ويمكن أن يكون تأثير القوة عن بعد Action-at-a-distance مثل تنافر أو تجاذب قطبي مغناطيس.



شكل (4-1) أنواع مختلفة من القوى

يوجد العديد من أنواع القوة الموجودة في الطبيعة وهي أما أن تكون ميكانيكية أو جاذبية أو كهربية أو مغناطيسية أو نووية.

يعرف الجسم الساكن بأنه في **حالة اتزان equilibrium** عندما تكون محصلة القوى المؤثرة عليه تساوي **صفراً.**

2-4 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.

$$F = m\,a \qquad (4\text{-}1)$$

و قد وجد نيوتن أن النسبة بين القوة المؤثرة إلى العجلة الناتجة تكون دائماً ثابتة للجسم الواحد و تساوي كمية المادة بداخله أي كتلته. ووحدة قياس القوة هي النيوتن ($1N = 1\ kg.m/s^2$). وقد سميت وحدة القوة بنيوتن تكريماً للعالم نيوتن.

$$\sum \vec{F} = 0 \qquad \textit{Newton's first law}$$

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \qquad \textit{Newton's second law}$$

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

$$P = mv \qquad (4\text{-}2)$$

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.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

والرمز F_{12} يعني القوة التي يتأثر بها الجسم الأول نتيجة للجسم الثاني.

3-4 الكتلة والوزن Mass & Weight

الكتلة: هي مقدار ما يحتويه الجسم من مادة ويقاس بال kg.

الوزن: هو قوة جذب الأرض للجسم هو كمية فيزيائية لها وحدة القوة (N).

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

$$\boxed{W = m\,g} \qquad (4\text{-}3)$$

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

مثال (4-1)

أحسب وزن ولد كتلته 20 Kg علماً بأن تسارع تسارع السقوط الحر يساوي $10\ m/sec^2$.

الحل

وزن الولد يعطى من:

$$W = mg = 20 \times 10 = 200\ N$$

قوة الشد (Tension)

عند سحب جسم بواسطة حبل فإن القوة المؤثرة على الجسم من خلال الحبل تدعى قوة الشد *Tension* ويرمز لها بالرمز T ووحدته N. ويظهر في الشكل صور مختلفة من قوة الشد وكيفية تحديدها على الشكل.

مثال (4-2)

احسب محصلة القوى المؤثرة في جسم كتلته 0.3 Kg إذا كان تسارعه $20\ m/sec^2$.

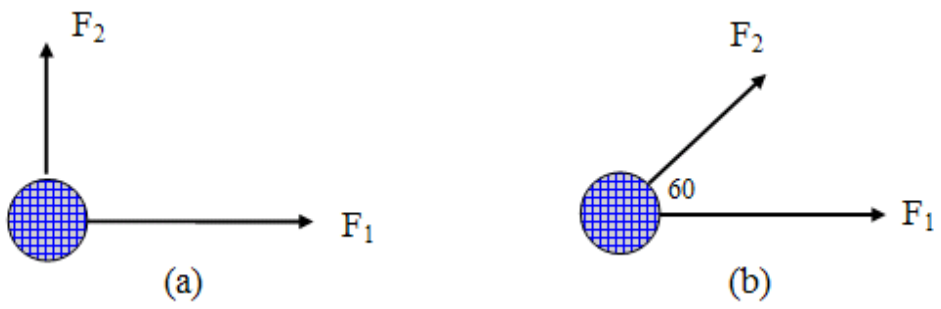
الحل

$$m = 0.3\ Kg, \quad a = 20\ m/sec^2$$

$$F = ma = 0.3 \times 20 = 6\ N$$

مثال (4-3)

قوتان F_1 و F_2 تؤثران على جسم كتلته 5 kg فاذا كانت F_1 =20 N و F_2 =15 N فاحسب العجلة او التسارع الذي سيتحرك به الجسم نتيجة للقوتين المؤثرتين عليه في الشكلين (a) , (b)



(a) $\sum \boldsymbol{F} = \boldsymbol{F_1} + \boldsymbol{F_2} = (20\boldsymbol{i} + 15\boldsymbol{j})$ N

$\sum \boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a} = 20\boldsymbol{i} + 15\boldsymbol{j} = 5\,\boldsymbol{a}$

$\boldsymbol{a} = (4\boldsymbol{i} + 3\boldsymbol{j})$ m/s^2 or $a = 5$m/s^2

(b) $F_{2x} = 15 \cos 60 = 7.5$ N

$F_{2y} = 15 \sin 60 = 13$ N

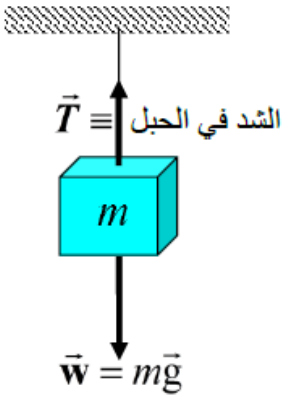
$\boldsymbol{F_2} = (7.5\boldsymbol{i} + 13\boldsymbol{j})$ N

$\sum \boldsymbol{F} = \boldsymbol{F_1} + \boldsymbol{F_2} = (27.5\boldsymbol{i} + 13\boldsymbol{j}) = m\boldsymbol{a} = 5\,\boldsymbol{a}$

$\boldsymbol{a} = (5.5\boldsymbol{i} + 2.6\boldsymbol{j})$ m/s^2 or $a = 6.08$m/s^2

مثال (4-4)

إذا علقنا صندوق بحبل، كما يوضح الشكل أوجد الشد في الحبل.



الحل:

لدينا قوتان فقط تؤثران على الصندوق :الشد(لأعلى)والوزن(لأسفل.)

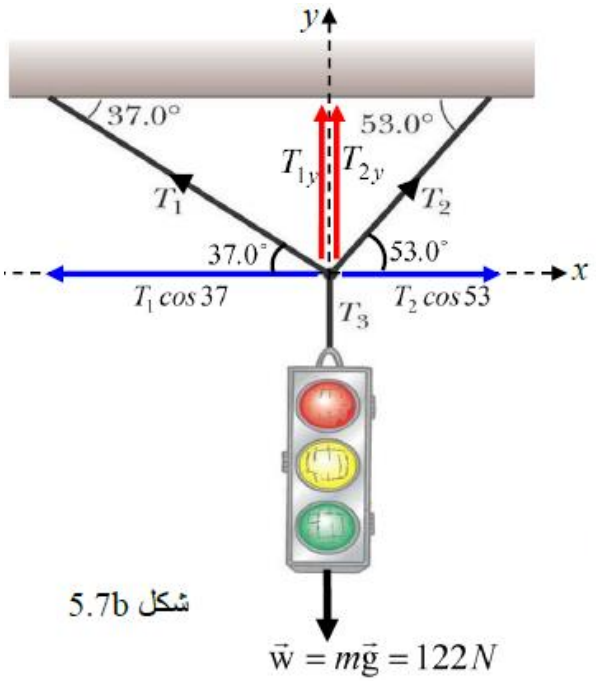
وبما أن الصندوق ساكن، فتسارعه صفرا :من قانون نيوتن الثاني نجد

$$\sum F_y = ma_y \quad \text{او} \quad \sum \boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$$

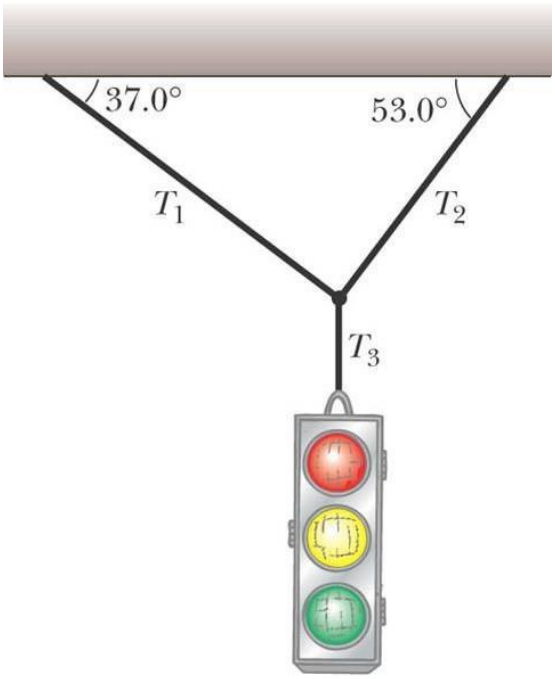
$$T = w = mg \quad \text{اذا} \quad T - w = 0$$

مثال (5-4)

إشارة ضوئية تزن 122N .الحبلان العلويان ينقطعان إذا زاد الشد فيهما عن 100N أوجد الشدين T_1 و T_2



شكل 5.7b



الحل

النظام في حالة اتزان .نحلل القوتين (الشدين T_2 و T_1) الى مركبتيهما، ونطبق قانون نيوتن الثاني على كل من المركبتين السينية والصادية (x- and y-components):

Force	*x* Component	*y* Component
$\mathbf{T}_1$	$-T_1 \cos 37.0°$	$T_1 \sin 37.0°$
$\mathbf{T}_2$	$T_2 \cos 53.0°$	$T_2 \sin 53.0°$
$\mathbf{T}_3$	0	-122 N

$$(1) \qquad \sum F_x = -T_1 \cos 37.0° + T_2 \cos 53.0° = 0$$

$$(2) \qquad \sum F_y = T_1 \sin 37.0° + T_2 \sin 53.0° + (-122 \text{ N}) = 0$$

$$(3) \qquad T_2 = T_1\left(\frac{\cos 37.0°}{\cos 53.0°}\right) = 1.33T_1$$

$$T_1 \sin 37.0° + (1.33T_1)(\sin 53.0°) - 122 \text{ N} = 0$$

$$T_1 = 73.4 \text{ N}$$

$$T_2 = 1.33T_1 = 97.4 \text{ N}$$

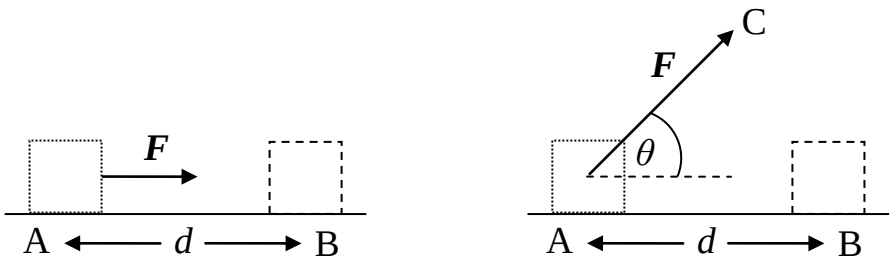
لاحظ أن كل من القيمتين أقل من 100N وبالتالي لا ينقطع الحبلان.

الشغل والطاقة
Work and Energy

4-4 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 ***F*** في الاتجاه من الموضع A إلى الموضع B ، ثم تحرك الجسم مسافة *d* في هذا الاتجاه كما بالشكل (3-3) يكون الشغل المبذول هو

$$W = F.d \qquad (4\text{-}4)$$



شكل (3-3)

أما إذا كان اتجاه القوة ***F*** بالاتجاه من A إلى C فإن الشغل المبذول يكون

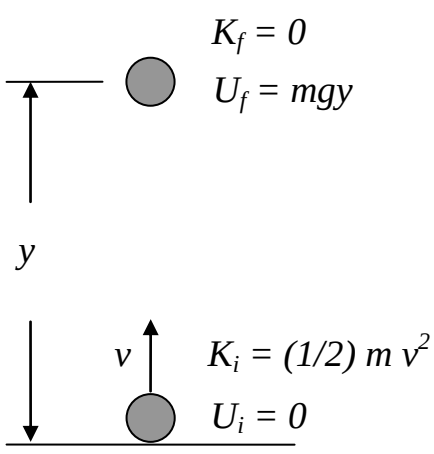
$$W = (F \cos\theta)\, d$$

$$\boxed{W = F\, d \cos\theta} \qquad (4\text{-}5)$$

حيث مقدار الإزاحة التي تحركتها الكتلة هي *d* و($F \cos\theta$) هي مركبة القوة ***F*** في اتجاه الإزاحة ***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

1 جول = 10^7 (داين.سم) = 10^7 إرج.



شكل 3-4

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 (3-4). أيضاً الشغل المبذول في التغلب على قوى الاحتكاك يرفع من الطاقة الحرارية للجسم . وهكذا... نستخلص القانون الآتي:

قانون الشغل والطاقة

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

الشغل المبذول = التغير في طاقة الجسم

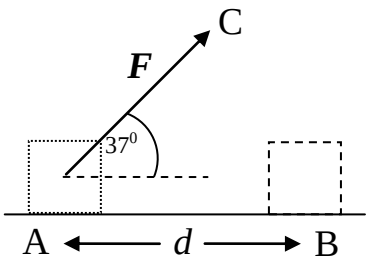
$$W = -\Delta U$$

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 3-4).

مثال (4-6)

جسم كتلته 2Kg يتحرك تحت تأثير قوة ($F=20N$) تصنع زاوية مقدارها 37^0 كما بالشكل (3-5). فإذا تحرك الجسم مسافة مقدارها ($d=4m$) على سطح أملس، احسب الشغل المبذول بواسطة القوة F.

الحل:



شكل (3-5)

حيث أن القوة تصنع مع الإزاحة زاوية θ فسنستخدم العلاقة

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

بالتعويض نجد أن

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

مثال (4-7)

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.

5-4 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

$$\boxed{U = mgy} \qquad (4\text{-}6)$$

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:

$$\frac{1}{2}\left(v^2 - v_0^2\right) = -gy \qquad (4\text{-}7)$$

حيث تم استبدال التسارع a بعجلة الجاذبية g والمسافة x بالمسافة الرأسية y، وبضرب طرفي المعادلة (4-4) 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:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (4\text{-}8)$$

وعليه فإن

$$\boxed{K_f - K_i = \Delta K = W} \qquad (4\text{-}9)$$

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.

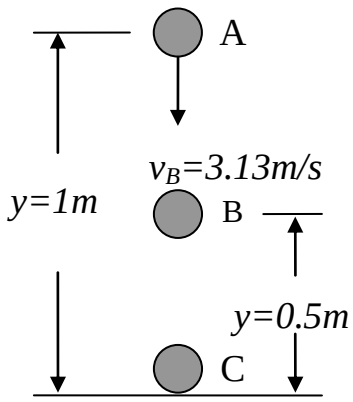
مثال (4-8)

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 (3-6). 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 3-6

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.

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

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

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

6-4 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

$$\boxed{K_f + U_f = K_i + U_i} \qquad (4\text{-}10)$$

وبصورة أخرى

$$\boxed{E_f = E_i} \qquad (4\text{-}11)$$

حيث أن الكمية

$$\boxed{E = K + U} \qquad (4\text{-}12)$$

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

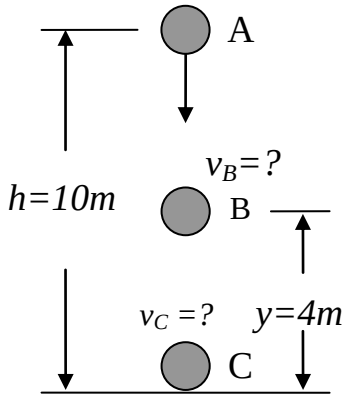
وأنواع الطاقة كثيرة، فبالإضافة إلى الطاقة الميكانيكية التي تشتمل طاقة الحركة وطاقة الوضع يوجد الطاقة الحرارية والكهربائية والمغناطيسية والطاقة الضوئية.

مثال (4-9)

جسم صغير كتلته $m=2Kg$ أسقط من ارتفاع $h=10m$ فوق سطح الأرض كما بالشكل (3-7). مستخدما مبدأ حفظ الطاقة احسب ما يلي:

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

ب) سرعة الجسم لحظة وصوله لسطح الأرض.



شكل 3-7

الحل:

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

$$K_A + U_A = K_B + U_B$$

$$0 + mgh = (1/2)\, m\, v_B^2 + mgy$$

$$2g\,(h - y) = v_B^2$$

$$v_B^2 = (2)\,(9.8)\,(10 - 4) = 117.6$$

$$v_B = 10.8\ m/s$$

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

$$K_A + U_A = K_C + U_C$$

$$0 + mgh = (1/2)\, m\, v_C^2 + 0$$

$$2g\,h = v_C^2$$

$$v_C^2 = (2)\,(9.8)\,(10\ ) = 196$$

$$v_C = 14\ m/s$$

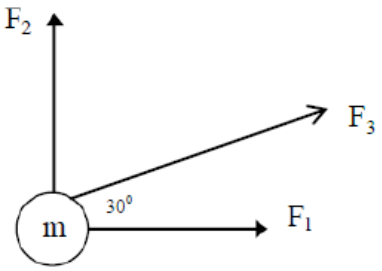
مسائل على الفصل الرابع

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

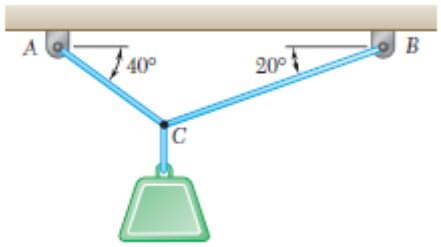
2- أثرت قوة قيمتها $50N$ على جسم كتلته $5kg$. ما هي العجلة التي ستحرك بها الجسم؟

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

4- ثلاث قوى $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \mathbf{F}_3$ تؤثر على جسم كتلته 4 kg كما في الشكل. فاذا كان $F_1 = 10$ N, $F_2 =$ 15 N, $F_3 = 20$ N احسب العجلة التي سيتحرك بها الجسم وحدد اتجاه العجلة.



5- حبلين معقود بهما حمل كتلته 60kg كما في الشكل احسب الشد في AC و BC



الشغل والطاقة

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

7- جسم كتلته 2Kg يتحرك تحت تأثير قوة ($F=20N$) تصنع زاوية مقدارها 37^0 كما بالشكل (3-5). فإذا تحرك الجسم مسافة مقدارها ($d=4m$) على سطح أملس، احسب الشغل المبذول بواسطة القوة F.

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

9- 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.

الفصل الخامس: المرونة

Elasticity

1-5 المرونة Elasticity

إذا أثرت قوة خارجية على جسم، فإنه يستجيب لهذه القوة فيتحرك تحت تأثيرها بسرعة وتسارع ما ويقطع مسافة معينة خلال زمن معين.

ولكن في بعض الأحيان يكون الجسم مثبتاً بطريقة أو بأخري، فعندما تؤثر عليه قوة خارجية لا تحركه ولكن تغير من شكله.

التغير الحادث في شكل الجسم يتناسب مع القوة المسببة لذلك.

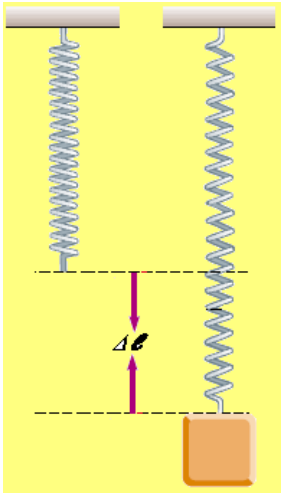
وهذا التغير يكون إما في طول الجسم أو في شكله أو حجمه.

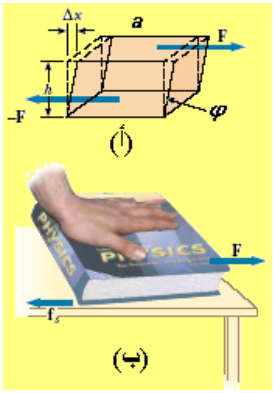
مثال ذلك:

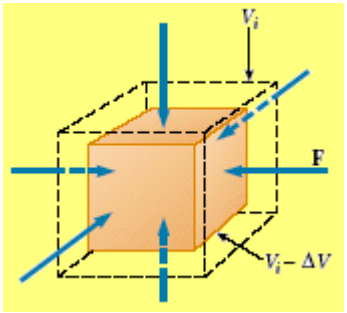
عند التأثير على زنبرك مثبت في حائط بقوة شد فإنه لا ينتقل من مكانه ولكنه يستطيل.

عند التأثير على وجهين متقابلين لمكعب أو كتاب بإزدواج فإن شكل المكعب أو الكتاب سيتغير.

عند التأثير على جميع أوجه مكعب بضغط P فإن حجم المكعب سيتناقص.







وعند زوال القوة المؤثرة علي الجسم يكون هناك ثلاثة احتمالات وهي:

1- يستعيد الجسم حالته السابقة تماماً، أي يستعيد شكله وحجمه الأصلي تماماً ونقول عليه جسم تام المرونة.
2- يستعيد الجسم جزء من حالته السابقة أي يستعيد شكله وحجمه جزئيا ونقول عليه جسم مرنً.
3- لا يستعيد الجسم لا شكله ولا حجمه الأصلي ويحتفظ بتغيرهما دائماً ونسميه جسم عديم المرونة أو لدن.

أي يمكن تقسيم الأجسام من حيث خاصيتها للمرونة إلي:

1- أجسام تامة المرونة
2- أجسام مرنة
3- أجسام غير مرنة أو لدنة

والآن يمكن تعريف **المرونة (Elasticity)** بأنها خاصية للأجسام تمكنها من استعادة شكلها وحجمها الأصلي بعد زوال القوة المؤثرة عليها.

ذكرنا في المحاضرة الأولي أنه عند دراسة ظاهرة فيزيائية فإن مجرد الملاحظة لا تكفي، حتى تؤدى إلى معلومات كمية وعلاقة رياضية تصف هذه الظاهرة.

وللحصول على علاقة رياضية للمرونه نعرف كل من الإجهاد والإنفعال.

2-5 الإجهاد (Stress):

يعرف الإجهاد بأنه القوة المؤثرة عمودياً على وحدة المساحات. ويكتب على الصورة:

$$\sigma = F/A \qquad (5\text{-}1)$$

وحدة قياس الإجهاد في النظام الدولي هي نيوتن/متر^2 (N/m^2) وتسمى أيضا باسكال (Pa).

يوجد ثلاثة أنواع من الإجهاد وهي:

1- إجهاد شد (اجهاد عمودي)
2- اجهاد قص (اجهاد مماسي)
3- اجهاد الضغط (اجهاد حجمي)

3-5 الانفعال (Strain):

الانفعال بشكل عام هو النسبة بين التغير الحادث في الجسم عند التأثير عليه بقوى خارجية إلي أبعاد الجسم الأصلية. والانفعال ليس له وحدات لأنه نسبة.

وتوجد للانفعال ثلاثة أنواع:

1- الانفعال الطولي: وهو النسبة بين التغير في طول الجسم $\Delta\ell$ والطول الأصلي ℓ_0.
ويكتب على الصورة:

$$\varepsilon = \Delta\ell / \ell_o \qquad (5\text{-}2)$$

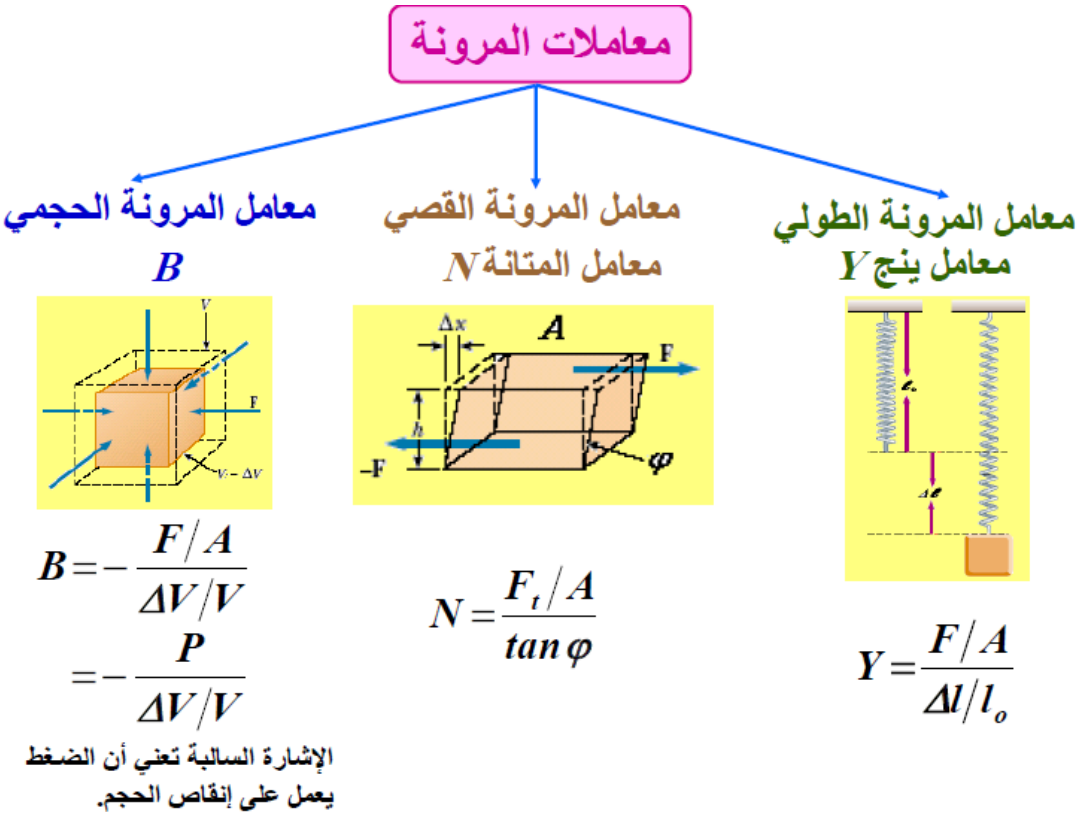
2- الانفعال القصي: يساوى ظل الزاوية φ الناشئة من التأثير على الجسم بقوي مماسية.
3- الانفعال حجمي: هو عبارة عن التغير في الحجم ΔV إلى الحجم الأصلي V.

4-5 معامل المرونة (Elasticity modulus):

النسبة بين الإجهاد والانفعال تسمى معامل المرونة.

وحدة قياس معامل المرونة هي نفس وحدة قياس الإجهاد، وتكون في النظام الدولي نيوتن/متر^2 (N/m^2).

يوجد ثلاثة أنواع من معاملات المرونة وهي:



جدول (5-1) معاملات المرونة الثلاثة لبعض المواد 10^{10} N/m^2

المادة	Y	S	B
الألمنيوم	7.1	2.5	7
النحاس الأصفر	9.1	3.5	6.1
النحاس	11	4.2	14
الفولاذ	20	8.4	16
التنغستين	35	14	20
الزجاج	6.5-7.8	2.6-3.2	5-5.5
الكوارتز	5.6	2.6	2.7
الماء	_	_	0.21
الزئبق	_	_	2.8

5-5 قانون هوك وثابت الزنبرك (النابض):

ينص قانون هوك على أن مقدار الاستطالة الحادثة في قضيب أو زنبرك يتناسب طردياً مع مقدار قوة الشد المؤثرة ما لم نتعدى حد المرونة. ويكتب على الصورة:

$$F = k\,\Delta\ell \qquad (5\text{-}3)$$

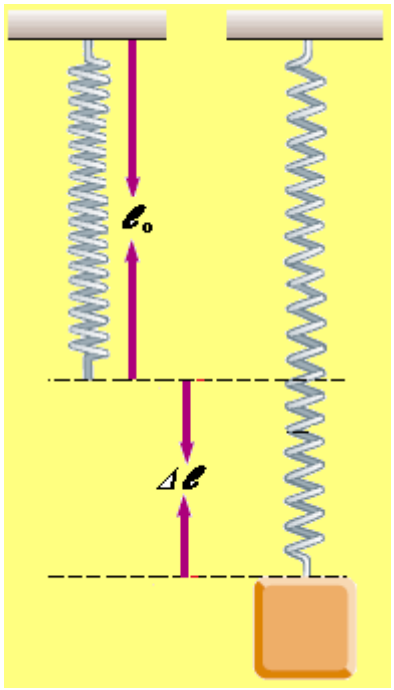
ويسمى الثابت k بثابت الزنبرك وهو عبارة عن القوة اللازمة لإحداث تغير في الطول مقداره الوحدة. ويسمى أيضا بمعامل الصلابة ووحدة قياسه هي N/m

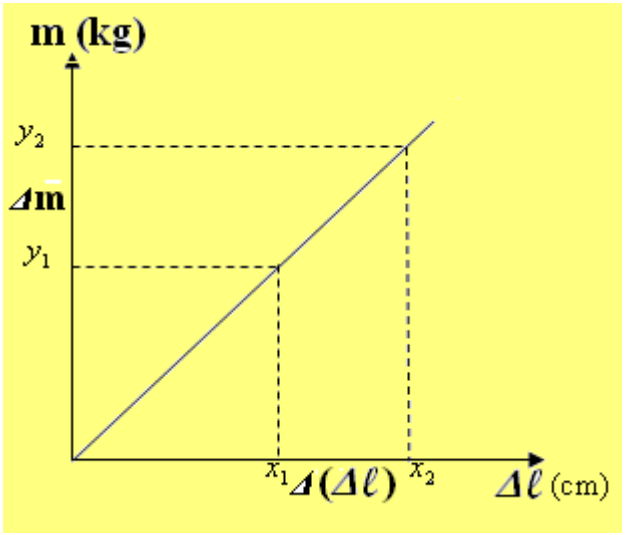
وهو يرتبط بمعامل ينج بالعلاقة: $k = \dfrac{Y\,A}{l_o}$

وعادةً ما يكتب قانون هوك بواسطة قوة الارجاع على الصورة: $F = -\,k\,\Delta\ell$

ومعني الإشارة السالبة أنه بزيادة الاستطالة تزيد قوة الارجاع التي تحاول أن تعيد الجسم إلي وضعه الأصلي.

تحقيق قانون هوك عملياً وتعيين ثابت الزنبرك:





نعلق كتلاً مختلفة m في طرف الزنبرك ثم نحدد في كل مرة استطالة الزنبرك عند الاتزان.

نرسم العلاقة بين الكتلة علي المحور الرأسي وبين الإستطالة $\Delta\ell$ علي المحور الأفقي، فنحصل علي خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي k/g. ومن ميل الخط الناتج نحسب ثابت الزنبرك k.

مثال (5-1):

أثرت قوة قدرها 900N على زنبرك فكم يستطيل هذا الزنبرك اذا علمت أن معامل الصلابة له 980N/m

الحل:

$$F = 9.8\ N \quad , \quad k = 980\ N/m$$

$$\Delta L = \frac{F}{m}$$

$$\Delta L = \frac{9.8}{980} = 0.01\ m$$

مثال (5-2):

علقت كتلة مقدارها 400g بزنبرك فاستطال بمقدار 0.3 cm ، أوجد معامل الصلابة (ثابت الزنبرك)

الحل:

$$\Delta L = 0.3\ cm = \frac{0.3}{100} = 0.003\ m$$

$$m = 400\,g = \frac{400}{1000} = 0.4\ kg$$

$$F = m\ g$$

$$F = 0.4 \times 9.8 = 3.92\ N$$

$$\because\ k = \frac{F}{\Delta L}$$

$$\therefore\ k = \frac{3.92}{0.003} = 1306.66\ N/m$$

مثال (5-3):

في تجربة لقياس معامل ينج للفولاذ، علق جسم وزنه 10kN بسلك من الفولاذ طوله 4m ومساحة مقطعه $1cm^2$ فزاد طول الجسم بمقدار 0.1cm احسب كل من:

1- الإجهاد 2- الانفعال 3- معامل ينج

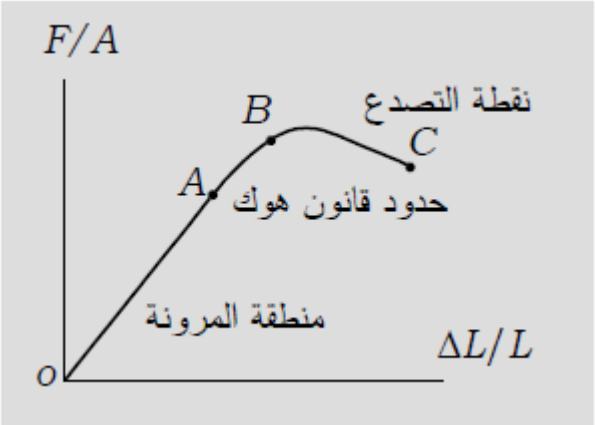
الحل:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{10\times10^3}{1\times10^{-4}} = 10^8\ N/m^2$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_o} = \frac{0.1\times10^{-2}}{4} = 2.5\times10^{-4}$$

$$\therefore\ Y = \frac{10^8}{2.5\times10^{-4}} = 4\times10^{11}\ N/m^2$$

6-5 منحني الاجهاد- الانفعال (Stress vs. Strain Curve):



العلاقة بين الإجهاد الطولي والانفعال الطولي لمادة مرنة من الأمور الهامة في الفيزياء لمعرفة طبيعة المواد وخواصها الميكانيكية. ويمكن تقسيم شكل هذه العلاقة إلي عدة مناطق كالآتي:

1- **منطقة المرونة:** في المنطقة (OB) يكون السلك في هذه المنطقة تام المرونة. وتنقسم تلك المنطقة في بعض المواد إلي منطقتين:
   - a- **منطقة التناسب:** في المنطقة (OA) يتبع السلك قانون هوك. وتسمى النقطة A **بحد التناسب**.
   - b- في المنطقة (AB)عند زيادة الإجهاد عن حد التناسب A يظل السلك تام المرونة ولكن لا يتبع قانون هوك أي أن العلاقة بين الإجهاد والانفعال تكون غير خطية.
2- **منطقة التشوه اللدن:** إذا زاد الإجهاد عن إجهاد النقطة *B* التي تسمي بنقطة الإذعان أو الخضوع نجد أن السلك يفقد مرونته. وتسمى المنطقة (BC) بالمنطقة اللدنة (plastic region)
3- وقبل النقطة C يبدأ السلك في الاختناق فتتناقص مساحة مقطعه سريعاً في منطقه عند منتصف السلك تقريباً، ويستمر النقص في مساحة المقطع حتى ينكسر السلك عند **نقطة الكسر**أو التصدع *C*.

مسائل على الفصل الخامس

1- سلك طوله 10cm، ومساحة مقطعه $0.01\ m^2$ تؤثر فيه قوة شد قدرها 1000 N ، احسب مقدار الاستطالة اذا علمت أن معامل المرونة للسلك يساوي $5\times10^{10}\ N/m^2$.

2- يعلق جسم كتلته 0.25Kg بنهاية سلك فولاذي طوله 3m ومساحة مقطعه $0.15\ m^2$ ما مقدار استطالته؟

3- زنبرك أثرت عليه قوة مقدارها 0.009 N فاستطال بمقدار 3cm ثم أزيلت القوة فعاد الزنبرك الى وضعه الأصلي تماما، احسب ما يلي:

أ- معامل الصلابة للزنبرك

ب-اذا أثرنا عليه بقوة مقدارها 0.08 N بحيث لا يفقد مرونته فكم يستطيل هذا الزنبرك.

الفصل السادس: خواص الموائع

Fluid Properties

1-6 مقدمة

2-6 الضغط Pressure

القوة التي يؤثر بها المائع "سائل أو غاز" على سطح ما (الإناء الذي يحويه أو جسم مغمور فيه) تكون دائماً قوة عمودية علي السطح.

فالمائع الساكن لا يمكن أن يبذل قوة مائلة أو مماسية علي سطح معين، ولكن لا بد أن تكون عمودية علي السطح.

لذلك توصف القوة التي يؤثر بها المائع علي سطح معين عن طريق كمية فيزيائية تسمي الضغط.

ويعرف الضغط P بأنه مقدار القوة المؤثرة عمودياً على وحدة المساحات من السطح.

ويكتب رياضياً على الصورة: $\boxed{P = \frac{F}{A}}$

حيث أن A مساحة السطح.

ويقاس الضغط في النظام الدولي للوحدات بوحدة نيوتن/م^2 وتسمي باسكال.

وعملياً تعد هذه الوحدة صغيرة جداً، لذلك يستخدم البار بدلاً منها حيث أن الواحد بار يساوى 10^5 باسكال.

وقيمة الضغط عند نقطة داخل سائل علي عمق h من سطحه تعطى من العلاقة: $\boxed{P = P_0 + \rho g h}$

حيث أن ρ هي كثافة السائل، g هي تسارع الجاذبية الأرضية، أما P_0 فهو الضغط الجوي.

الضغط الجوي P_o يعرف على أنه وزن عمود من الهواء مساحة مقطعه وحدة المساحات وارتفاعه يعادل سمك الغلاف الجوي.

وقيمة الضغط الجوي تختلف باختلاف الارتفاع، وعند مستوي سطح البحر يساوي الضغط الذي يسببه عمود من الزئبق ارتفاعه 76 سم.

فإذا كانت كثافة الزئبق 13.6 جم/سم^3، فإن قيمة الضغط الجوي عند مستوي سطح البحر يعطى من:

$\boxed{P = P_0 + \rho g h}$

$$P_0 = 13.6 \times \underline{1000} \times 9.8 \times 0.76 = 1.013 \times 10^5 \ N/m^2$$
$$= 1.013 \times 10^5 \ Pa$$

مثال (6-1)

احسب مقدار الضغط الواقع على قاع إناء عمقه 25 cm عندما يكون ممتلئاً:

أ) بالماء ب) بالزئبق

علماً بأن كثافة الماء 1000 kg/m^3 وكثافة الزئبق 13600 kg/ m^3

أ) في حالة الماء:

$$P = P_o + 1000 \times 9.8 \times 0.25 = (P_o + 2450) \quad N/m^2$$

$$\boxed{P = P_0 + \rho g h}$$

ب) في حالة الزئبق:

$$P = P_o + 13600 \times 9.8 \times 0.25 = (P_o + 33320) \quad N/m^2$$

إذا كانت قيمة الضغط الجوي معلومة أو أعطيت معلومات لحسابها، يتم التعويض عنها في العلاقتين السابقتين وإلا يترك الناتج كما هو بدلالة الضغط الجوي.

مثال (6-2)

غواصة تستطيع أن تغوص إلى عمق أقصاه 1000 m تحت سطح البحر. احسب أقصى ضغط يتحمله غلافها الخارجي إذا كان الضغط الجوي يعادل 76 سم زئبق وكثافة ماء المحيط $1.3\ gm / cm^3$ وكثافة الزئبق $13.6\ gm/cm^3$.

الحل:

أقصي ضغط تستطيع أن تتحمله الغواصة عبارة عن الضغط الجوي مضاف إليه ضغط عمود الماء الذي طوله 1000 m.

أولاً: حساب الضغط الجوي:

$$P_0 = \rho_{Hg}\, g\, h_0 = 13.6 \times \underline{1000} \times 9.8 \times 0.76 = 1.013 \times 10^5 \quad N/m^2$$

ثانياً: حساب ضغط عمود الماء:

$$P_1 = \rho_w\, g\, h = 1.3 \times 1000 \times 9.8 \times 1000 = 1.274 \times 10^7 \quad N/m^2$$

ويكون الضغط الكلي هو مجموع كل من P_0 ، P_1:

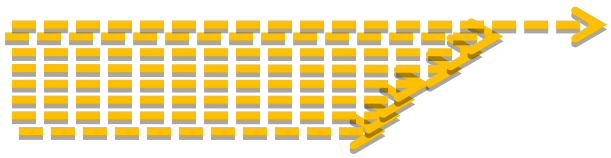
$$P = P_o + P1 = 1.284 \times 10^7 \quad N/m^2$$

3-6 اللزوجة Viscosity

اللزوجة هي خاصية للسوائل تجعلها تختلف في استجابتها للقوى التي تعمل على حركتها أو مقاومتها للأجسام المتحركة داخلها فانسياب (جريان) الماء غير جريان الزيت غير جريان الجلسرين كما أن حركة جسم داخل الماء غير حركته في سائل أخر.

وتنشأ خاصية اللزوجة بسبب الاحتكاك بين طبقات السائل بعضها وبعض أو بسب الاحتكاك بين طبقات السائل وبين الأجسام المتحركة فيه.

وعند انسياب سائل، نلاحظ وجود تدرج "إنحدار" في سرعة إنسياب طبقاته. فنجد سرعة انسياب الطبقة العليا كبيرة نسبياً وتتناقص السرعة في الطبقات التالية حتى نصل إلى الطبقة الأخيرة الملامسة للسطح فتكون سرعتها صفراً تقريباً (ساكنة)، ويوضح الشكل التالي هذه الظاهرة.



يمكن تعريف إنحدار "تدرج" السرعة بأنه مقدار التغير في السرعة Δv خلال وحدة المسافات Δh، أي أن:
انحدار السرعة $= \Delta v / \Delta h$ ويمكن كتابتها v/h إذا كانت سرعة الطبقة العليا v وسرعة الطبقة السفلى صفر وكان العمق هو h . ولكي ينساب السائل وتتحرك طبقاته بتدرج في السرعة لابد من التأثير على طبقاته بقوة مماسية.

وبدلاً من القوة المماسية المحركة لأي طبقة، سوف نستخدم تعبيراً أكثر دقة وهو الإجهاد المماسي F/A حيث A هي مساحة مقطع الطبقة التي تؤثر عليها القوة المماسية.

ولقد وجد أن النسبة بين الإجهاد المماسي وبين إنحدار السرعة تساوي مقداراً ثابتاً تتوقف قيمته على نوع السائل ودرجة حرارته.

يسمي هذا المقدار الثابت بمعامل اللزوجة η.

أي يمكن تعريف معامل اللزوجة η بأنه النسبة بين الإجهاد المماسي وانحدار السرعة:

$$\eta = \frac{F/A}{v/h}$$

وكما سبق فإن قيمة معامل اللزوجة η لسائل تتوقف على نوع السائل ودرجة حرارته.

ويقاس معامل اللزوجة في النظام الدولي للوحدات بوحدة نيوتن.ث/م^2.

أما في النظام الفرنسي CGS فإن وحدة معامل اللزوجة هي داين.ث/سم^2 وتشتهر هذه الوحدة باسم البواز.

مثال (6-3)

صفيحة رقيقة مستوية مساحتها 2 سم^2، معزولة عن صفيحة أُخري ثابتة بطبقة من سائل سمكها 1 مم. فإذا أثرت عليها قوة مماسية قدرها 9.8 نيوتن فتحركت بسرعة 24.5 سم/ثانية، احسب معامل لزوجة السائل.

الحل:

باستخدام العلاقة التالية يمكن حساب معامل لزوجة السائل.

$$\eta = \frac{F/A}{v/h} \qquad \eta = \frac{Fh}{vA}$$

$$\eta = \frac{9.8 \times 1 \times 10^{-3}}{24.5 \times 10^{-2} \times 2 \times 10^{-4}} = 200 \quad \text{N.s/m}^2$$

4-6 تعيين معامل اللزوجة η لسائل (طريقة ستوكس):

بعد لحظات من سقوط كرة معدنية في السائل المراد تعين معامل لزوجته η، فإنها تتزن (تتحرك بسرعة منتظمة) تحت تأثير ثلاثة قوى هي:-

1) قوة وزن الكرة (قوة الجاذبية الأرضية) ويكون اتجاهها لأسفل:

$$F_1 = mg = V_s \rho_s g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s g$$

2) قوة دفع السائل للكرة (قوة دفع أرشميدس) وتكون إلى أعلى:

$$F_2 = V_s \rho_\ell g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_\ell g$$

3) قوة لزوجة السائل (قوة ستوكس) وتكون إلى أعلى:

$$F_3 = 6\pi\eta r v$$

حيث أن m كتلة الكرة، r نصف قطر الكرة، V_s حجم الكرة، v السرعة الحدية لسقوط الكرة، ρ_s كثافة مادة الكرة، ρ_l كثافة السائل.

من القوى الثلاثة السابقة نستنتج أن:

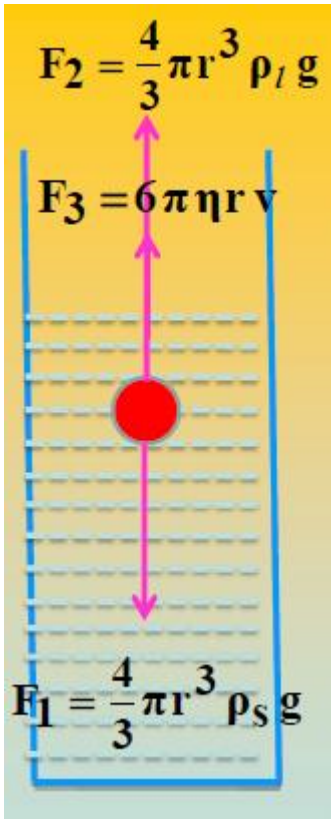
$$v = \frac{2}{9}\pi(\rho_s - \rho_\ell)\frac{g}{\eta}r^2$$

عملياً يمكن إيجاد معامل لزوجة سائل على النحو التالي:

نعتبر الشكل المقابل وهو عبارة عن أنبوبة بها سائل المراد تعيين معامل لزوجته.

- نحضر كرة معلومة نصف قطرها (يمكن قياس نصف القطر باستخدام الميكرومتر) ونسقطها في السائل.
- تتزن الكرة تحت تأثير الثلاث قوي عندما تصل إلى العلامة الأولى الموجودة على جدار الأنبوبة، وعندها نبدأ في تسجيل الزمن حتى تصل إلى العلامة الثانية.
- نقيس المسافة بين العلامتين وبذلك يمكن إيجاد السرعة (خارج قسمة المسافة على الزمن).
- نكرر الخطوات السابقة لعدة كور مختلفة في أنصاف أقطارها.
- نرسم العلاقة البيانية بين السرعة v على المحور y وبين مربع نصف قطر الكرة r^2 على المحور x، نحصل على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل. كما هو بالشكل.
- بحساب ميل الخط المستقيم slope (فرق الصادات على فرق السينات).
- وبمعرفة كل من كثافة الكرة والسائل يمكن الحصول على معامل اللزوجة من العلاقة:

$$\eta = \frac{2}{9}\pi(\rho_s - \rho_\ell)\frac{g}{slope}$$



مثال (6-4)

احسب السرعة النهائية لكرة فولازية قطرها 2 مم، سقطت في سائل كثافته $1.3g/cm^3$. إذا علمت أن كثافة الكرة تساوي $8g/cm^3$ ومعامل لزوجة السائل 7.3 بواز.

الحل

باستخدام العلاقة التالية يمكن حساب السرعة المطلوبة.

$$v = \frac{2}{9}\pi(\rho_s - \rho_\ell)\frac{g}{\eta}r^2 = \frac{2}{9}\times(8-1.3)\times\frac{980}{7.3}\times(0.1)^2 =$$

2 cm/sec =

الفصل السابع: الحرارة
Heat

1-7 درجة الحرارة Temperature

هي المعدل الذي يدل على مقدار سخونة الجسم أو برودته. والحرارة تنتقل دائما من الجسم الساخن إلى الجسم البارد، فالجسم الساخن يفقد حرارة والجسم البارد يكتسب هذه الحرارة. ومصادر الحرارة متعددة، منها الشمس وتعد المصدر الرئيسي للحرارة على الأرض، ومنها أيضا الاحتكاك، وإشعال الوقود، والكهرباء.

2-7 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، مثل تغيرطول المعادن وضغط الغازات عند ثبوت حجمها ، وحجمها عند ثبوت ضغطها ، ومقاومة الموصلات. وهذا هو الأساس الذي يبنى عليه عمل الترمومترات التي تستخدم لقياس درجة الحرارة.

3-7 المقياس الترمومتري Thermometric scale

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

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

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

3 – 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 100°م (*100°C*) ، ويسمى أحياناً بمقياس سلسيوس نسبة إلى العالم (Celsius) .

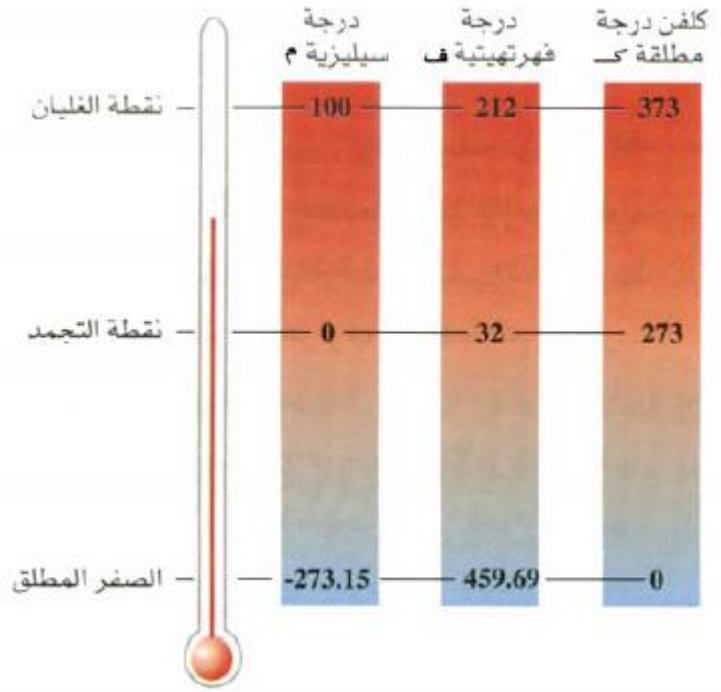
المقياس الفهرنهيتي Fahrenheit scale

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

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 $(-273°C)$.



شكل (7-1) المقياس الترمومتري

العلاقة بين المقاييس الترمومترية

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

$$\boxed{\frac{C}{100}=\frac{F-32}{180}=\frac{K-273}{100}} \qquad (7\text{-}1)$$

للتحويل من الفرنهيت الى الدرجة المئوية يمكننا استخدام المعادلة الاتية

$$\boxed{F=\frac{9}{5}C+32} \qquad (7\text{-}2)$$

ويمكن التحويل من درجة الحرارة المئوية إلى درجة الحرارة المطلقة (الكلفن) باستخدام المعادلة :

$$K=C+273 \qquad (7\text{-}3)$$

مثال (7-1)

احسب درجة حرارة إناء بالفهرنهيت إذا كانت قيمتها $25°C$ مقاسة بترمومتر مئوي.

الحل:

$$F = \frac{9}{5}C + 32$$

إذن بالتعويض ينتج أن:

$$F = \frac{9}{5}.25 + 32 = 79$$

$$F = 79^0 F$$

مثال (7-2)

احسب درجة حرارة بالمقياس المطلق اذا كان درجة حرارته بالمقياس المئوي هي $25\ ^\circ C$

الحل:

$$T_c = 25^\circ c$$
$$T = T_c + 273$$
$$T = 25 + 273$$
$$T = 298\,K$$

4-7 الترمومترات Thermometers

أ- الترمومتر الزئبقي

1- 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 .

2- 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 .

3- و يستخدم الزئبق في عمل الترمومتر الطبي الذي يستخدم لقياس درجة حرارة الإنسان و لذلك فهو يدرج فقط من $35C^0$ إلى $42C^0$ 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:

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

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

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

5-7 الحرارة Heat

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**.

وإذا تم اعطاء هذه الطاقة الحرارية إلى مادة ما فأن 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

تعرف السعة الحرارية لجسم بانها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم درجة مئوية واحدة. 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*.

$$\boxed{C = \frac{Q}{\Delta T}} \qquad (7\text{-}4)$$

حيث Q هي كمية الحرارة. وعليه فان

$$\boxed{Q = C\Delta T}$$

الحرارة النوعية لمادة Specific heat

وتختلف السعة الحرارية لجسم 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.

$$\boxed{S = \frac{Q}{m\Delta T}} \qquad (7\text{-}5)$$

ولذلك فان

$$\boxed{Q = mS\Delta T}$$

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

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

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

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.

مثال (7-3)

ما هي كمية الحرارة اللازمة لرفع ماء كتلته $720gm$ من درجة حرارة $10C^0$ إلي $15C^0$ ؟ مع العلم أن

$$S_{water} = 4190J/kg.k^0$$

الحل:

$$Q = ms(T_f - T_i)$$
$$T_i = 10C^0$$
$$T_f = 15C^0$$
$$Q = 0.72 \times 4190 \times (15 - 10) = 15084J$$

6-7 انتقال الحرارة Transmission of heat

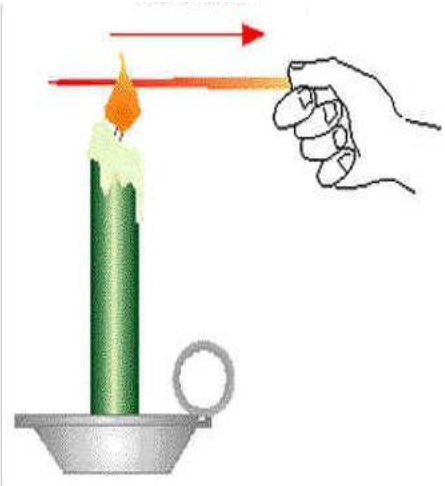
يوجد ثلاثة طرق مختلفة تنتقل فيها الحرارة من مكان إلي أخر ، وهذه الطرق هي :-

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 7-2). 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 الموضوع في النار بالاشتعال. أي أن المعدن جيد التوصيل للحرارة في حين أن الخشب رديء التوصيل للحرارة. وتستعمل كلمة "التوصيل" لتعني الانتقال الحراري في المواد الصلبة.

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.



شكل (7-2)
التوصيل الحرارى

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 ؟

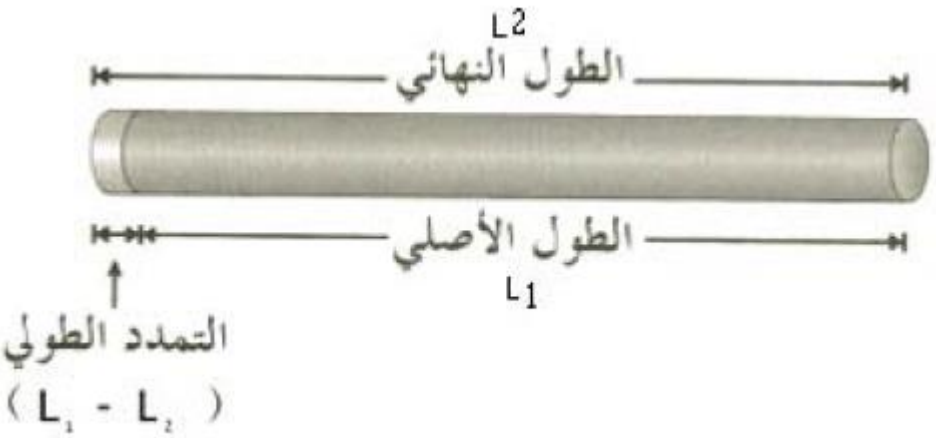
تنتقل هذه الأشعة علي هيئة موجات كهرومغناطيسية وهي ذات طاقة ولا تحتاج الي وسط مادي لانتقالها بل تنتقل في الفراغ اضافة الي انتقالها في بعض الأوساط المادية .

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

7-7 التمدد الحراري للجوامد 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 $(T_2\text{-}T_1)$ وكذلك طرديا مع الطول الأصلي للسلك أي أن:

$$\Delta L \propto T_2 - T_1$$
$$\Delta L \propto L_1$$
$$\Delta L = \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$
$$\boxed{\Delta L = \alpha L_1 \Delta T} \qquad (7\text{-}6)$$

$$\Delta L = L_2 - L_1$$
$$\therefore L_2 - L_1 = \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$
$$L_2 = L_1 + \alpha L1 (T_2 - T_1)$$
$$L_2 = L_1 [1 + \alpha (T_2 - T_1)] \qquad (7\text{-}7)$$

حيث ΔL تمثل الاستطالة في السلك أي طوله الجديد بعد التمدد مطروحا منه طوله الأصلي قبل التمدد وα هو معامل التمدد الطولي للسلك ووحدة قياسه $^0C^{-1}$.

الجدول (7-1) يوضح المعاملات الطولية للتمدد الحراري لبعض المواد:

جدول (7-1) المعاملات الطولية للتمدد الحراري

المادة	$\alpha C^{0-1} x10^{-6}$	المادة	$\alpha C^{0-1} x10^{-6}$
الألمنيوم	25	قرميد وخرسانة	10
شبة	18	حديد	12
نحاس أصفر	19	بلاتين	9
زجاج (لين)	9	فضة	18
زجاج (بيركس)	3	كوارتز	0.4
ماس	1.2	ذهب	14

مثال (7-4)

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

b. قدر الاستطالة.

c. الطول الجديد للسلك بعد رفع درجة حرارته من ^{0}C 20 إلى ^{0}C 420.

الحل:

(a

$$\Delta L = \alpha L_1 [T_2 - T_1]$$
$$\Delta L = 3\times10^{-6} \times (420 - 20)$$
$$= 3\times10^{-6} \times 10 \times 400$$
$$\Delta L = 0.012cm$$

(b

$$L_2 = L_1[1 + \alpha(T_2 - T_1]$$
$$L_2 = 10[1 + 3\times10^{-6}(420 - 20)]$$
$$L_2 = 10.012cm$$

بعض التطبيقات على تمدد الأجسام الجامدة:

إن لخاصية تمدد الأجسام الجامدة بتأثير الحرارة وانكماشها عندما تبرد تطبيقات هامة في الصناعة والمنشآت المختلفة. ومن ذلك ما يلي :

1- عند مد قضبان السكك الحديدية تترك مسافات صغيرة بين طرفي كل قضيبين متجاورين كي تسمح بتمدد القضبان في فصل الصيف.

2- تمد أسلاك الكهرباء على الأعمدة بحيث تكون مرتخية قليلاً حتى لا تؤثر على الأعمدة أو تنقطع عندما ينكمش طولها في فصل الشتاء.

3- عند إقامة الجسور الفولاذية الطويلة يراعى ترك مسافات صغيرة بين أطراف الجسور والدعامات التي ترتكز عليها وتكون إحدى نهايتي الجسر محمولة على عجلات تسمح للفولاذ بالتمدد.

4- وفي البناء يراعى أن يكون معامل تمدد الحديد مساوياً لمعامل تمدد المزيج المكون من الأسمنت والرمل والحجر وإلا تفتت الأسمنت بسبب التمدد والانكماش .

5- صناعة الترموستات (الازدواج المعدني) وهو عبارة عن قضيبين مختلفين في النوع متلاصقين يختلف الواحد منها عن الآخر بمعامل تمدده ، فعندما يسخن الازدواج المعدني يتمدد أحد القضيبين أكثر من الآخر فينحني القضيب ، لذلك يستخدم الترموستات (الازدواج المعدني) في الكهرباء مثلاً في وصل التيار الكهربائي أو قطعة.

مسائل على الفصل السابع

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

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

$-40\ ^0F,\ 95\ ^0C,\ 377\ ^0K,\ 50\ ^0F$

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

7- 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 $Q= -1200cal$)

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

9- 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.

10- سلك من النحاس طوله 250m في الصيف حيث درجته 40^0C، فكم طول هذا السلك في الشتاء حيث درجة حرارته 10^0C، علما بأن $\alpha=1.7\times10^{-5}\ ^0C^{-1}$

الفصل الثامن: الصوت
Sound

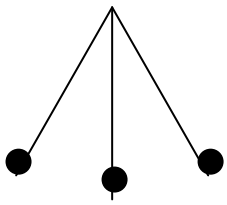
1-8 الاهتزازات والموجات

الحركة الاهتزازية : الحركة التى يحدثها الجسم المهتز حول موضع السكون او الاستقرار ؛ تقل السرعة كلما ابتعدنا عن موضع السكون وتزداد كلما اقترابنا

الاهتزازة الكاملة الحركة التى يحدثها الجسم المهتز فى الفترة الزمنية التى تمضى بين مروره بنقطة ما بنفس السرعة مقدار و اتجاه

الاهتزازة الكاملة = 4 إزاحات ..... كل إزاحة = سعة اهتزازة

سعة اهتزازة: اقصى ازاحة يصنعها الجسم المهتز بعيدا عن موضع السكون



الحركة الاهتزازية مثل

1- البندول البسيط 2- شوكة رنانة

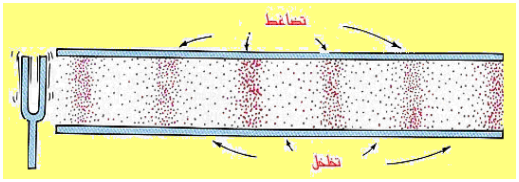
3- سلك حلزونى 4- وتر مشدود

الحركة الموجية هى مجمل حركة دقائق الوسط فى لحظة ما وباتجاه معين

الموجة هى اضطراب بالوسط ينتقل باتجاه معين وبسرعة معينة ويقوم بنقل الطاقة فى اتجاه انتشارها ويمكن تقسيم الموجات إلي ثلاثة أقسام، وهي:

1- موجات كهرومغناطيسية

- عبارة عن اضطراب لمجالين متعامدين أحدهما كهربي والآخر مغناطيسي.
- لا تحتاج إلي وسط لانتقالها.
- مثل موجات الضوء وأشعة جاما والأشعة السينية.

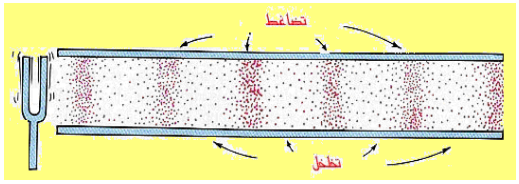


2- موجات ميكانيكية

لابد من وجود وسط لانتقالها وتنقسم إلي نوعين

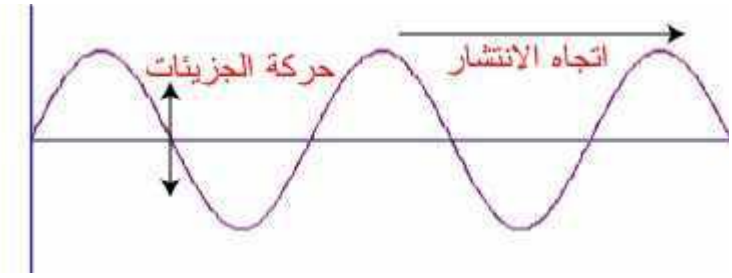
أ- موجات طولية

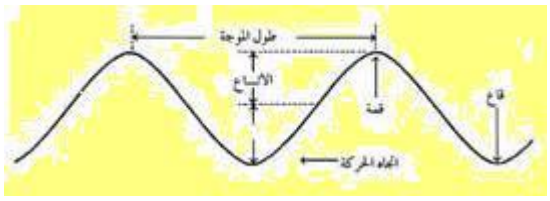
- تتكون من تضاغط وتخلخل.
- جزيئات الوسط تهتز في نفس اتجاه انتشار الموجة.
- مثل موجات الصوت والزنبرك.



ب- موجات مستعرضة

- تتكون من قمة وقاع.
- جزيئات الوسط تهتز عمودياً علي اتجاه انتشار الموجة.
- مثل موجات الماء والأوتار.





ويمكن تمييز موجة عن أخرى بواسطة التردد والطول الموجي والسرعة

التردد f: تردد الموجة يساوي عدد الذبذبات في الثانية الواحدة.

التـــــــــــردد:هو عدد الاهتزازات الكاملة التى يحدثها الجسم المهتز فى الثانية الواحدة

$$\text{التردد} = \frac{\text{عدد الاهتزازات الكاملة}}{\text{الزمن (بالثوانى)}}$$

الوحدة :ذبذبة /الثانية أو اهتزازة كاملة /الثانية وتسمى الهرتز Hz

الزمن الدورى T :الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز لعمل اهتزازة كاملة

الزمن الدورى= 1/ التردد

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

الطول الموجي λ:

هو المسافة بين أي نقطتين متتاليتين تتحركان بنفس الكيفية "لهما نفس الطور".

ففي حالة الموجة الطولية يساوي المسافة بين مركزي تخلخلين متتاليين أو مركزي تضاغطين متتاليين.

وفي حالة الموجة المستعرضة يساوي المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين.

السعة:

هي القيمة المطلقة لأعلى مسافة إزاحة تحدثها الموجة، ويمكن تخيلها بأعلى ارتفاع تصله موجة تنتقل في حبل، أو أعلى فرق ضغط يحدثه صوت ما في الهواء (بإهمال تضائل شدة الصوت مع المسافة). أو هي المسافة بين نقطتين في مسار حركة الجسم تكون سرعته في إحداهما أقصاها وفي الأخرى منعدمة.

سرعة انتشار الموجة v:

سرعة انتشار أي موجة v تساوي حاصل ضرب كل من ترددها f في طولها الموجي λ أي أن:

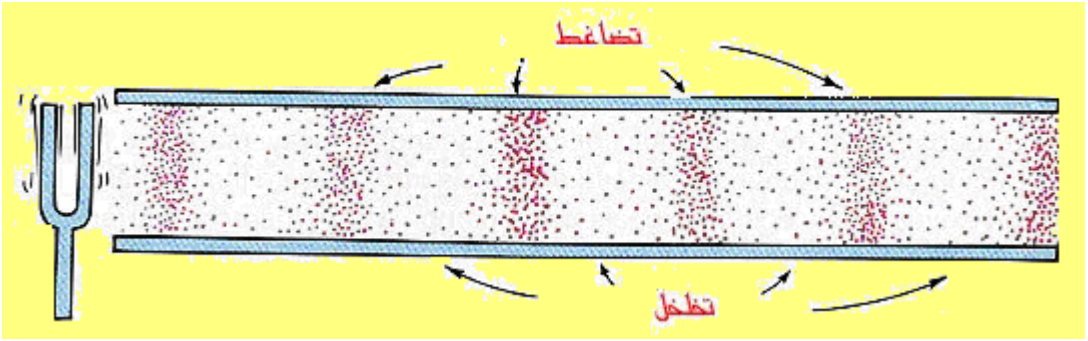
$$\boxed{v = \lambda f} \quad \mathbf{v = \lambda f}$$

تعتمد سرعة موجات الصوت على الوسط الناقل لها، وتكون سرعتها في الغازات أقل ما يمكن، ثم تزداد في السوائل، وتكون أسرع ما يمكن في الأجسام الصلبة. كذلك تعتمد سرعة الصوت على درجة حرارة الوسط.

الصوت:

الصوت عبارة عن موجات ميكانيكة طولية تصدر من الأجسام المهتزة، مثل الشوك الرنانة والأوتار المشدودة والحبال الصوتية.

والموجات الطولية عبارة عن سلسلة من التضاغطات والتخلخلات التي تنتقل في الاوساط المادية مثل الهواء والماء والمواد الصلبة.



عندما يهتز مصدر الصوت فإن جزيئات الوسط تتحرك ذهاباً وإياباً بنفس الطريقة التي يتحرك بها مصدر الصوت ذهاباً وإياباً، مما يسبب ازدياد ونقصان للضغط في تلك المنطقة عن الضغط الجوي الطبيعي.

وعندما يزداد الضغط بسبب الصوت تسمى هذه الحالة تضاغط وعندما يقل الضغط تسمى هذه الحالة تخلخل.
هذه التضاغطات والتخلخلات تنتقل عبر الوسط الناقل إلى أن تصل إلى طبلة الأذن وتسبب الإحساس بالصوت.

ويلاحظ في هذه الحالة أن الحركة الاهتزازية لجزيئات الوسط هي في نفس اتجاه انتشار الموجة الصوتية ، لذلك فإن هذه الأمواج هي أمواج طولية.

2-8 أنواع الموجات الصوتية

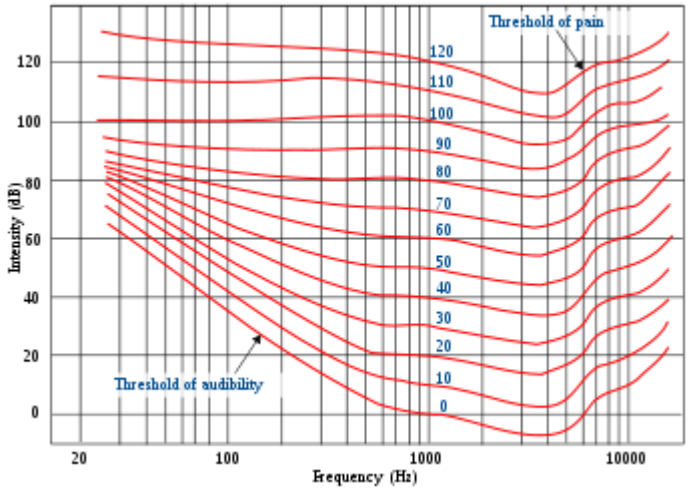
تصنف الموجات الصوتية طبقا لترددتها كما يلي:

موجات فوق سمعية:

- هي الموجات التي تزيد ترددتها على 20 الف هيرتز.
- تقع خارج نطاق حاسة الاذن البشرية .
- لها العديد من التطبيقات المهمة في الصناعة تُستخدم في تنظيف الساعات والمجوهرات والأجهزة الدقيقة، وفي الطب تستخدم في تشخيص الأمراض وتفتيت الحصى في الحويصلة الصفراوية والكُلى وفي الكشف عن نمو الجنين وفي تقدير عمق البحر.
- يستطيع الوطواط والكلب، وأنواع أخرى كثيرة من الحيوانات، سماع موجات فوق سمعية.

موجات مسموعة:

- هي تلك الموجات التي تقع ترددتها بين 20 هيرتز و 20000هيرتز .
- تمثل الصوت المسموع بواسطة الاذن البشرية العادية.
- الأذن البشرية لا تتحسس بالتساوي الأصوات ذات الترددات المختلفة حتى إن تساوت شدتها.



موجات تحت سمعية:

- هي الموجات الصوتية التي يقل ترددها عن 20 هيرتز.
- لاتستطيع الاذن البشرية الاحساس بها
- اهم مصدر لها هو الحركة الاهتزازية والانزلاقية لطبقات القشرة الأرضية، وبعض الآلات الثقيلة مثل الحفار.
- لذلك فهي مهمة جدا في رصد الزلازل وتتبع نشاط البراكين.
- تستطيع بعض الحيونات الاحساس بالزلازل قبل حدوثها بسببها.
- الآلات الثقيلة التي تصدر موجات تحت سمعية لها تأثير مدمر لحاسة السمع وصحة الإنسان.

ويمكن وصف أي صوت بسيط وصفاً كاملاً عن طريق تحديد ثلاث خصائص هي، درجة الصوت وشدة الصوت أو ارتفاعه ونوع الصوت أو جودته.

وتتوافق هذه الخصائص تماما مع ثلاث كميات فيزيائية هي، التردد والسعة ونمط الموجة.

درجة الصوت

تردد الموجة الصوتية يساوي عدد الضغوط والتخلخلات التي ينتجها الجسم المهتز في الثانية الواحدة.

وتردد الصوت يحدِّد طبقته، أي يحدد درجة علو الصوت وانخفاضه.

الأصوات عالية الطبقة ذات ترددات أعلى من الأصوات منخفضة الطبقة.

نوع الصوت

خاصية الصوت التي تتوقف على نوع مادة المصدر وطريقة توليد الصوت فتمكننا من التمييز بين صوتين متساويين بالعلو والدرجة ولكنهما صادران من مصدرين مختلفين. فمثلاً نميز بين نغمتين ذات التردد الواحد والشدة الواحدة ولكن تحدثها آلات موسيقية مختلفة.

شدة الصوت

تعرف شدة الصوت بمقدار القدرة "الطاقة في الثانية الواحدة" التي تنساب خلال وحدة مساحات عمودية علي اتجاه انتشاره. وتتناسب شدة الصوت طردياً مع مربع سعة الموجة الصوتية. وتقاس شدة الصوت بوحدة الديسيبل.

شدة الصوت (I) : معدل انتقال طاقة الموجة عبر وحدة المساحة المتعامدة مع حركة الموجة .
الشدة = القدرة / المساحة (مساحة سطح كروي نصف قطره هو r)

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

و تقاس شدة الصوت بوحدة قياس (W/m^2).

وتتناسب شدة الموجة عكسياً مع مربع البعد عن المصدر .

سؤال : تبلغ القدرة المنبعثة من مكبر صوت $(100\,W)$. إذا كانت شدة صوت المكبر عند نقطة ما تساوي $(0.5W/m^2)$ فاحسب بعد هذه النقطة عن المكبر .

سؤال :ما شدة الموجات الصوتية الصادرة عن مذياع يبعد مسافة $(3.2\,m)$ إذا كانت قدرة المذياع الصوتية تساوي $(20\,W)$ **؟**

- **العوامل المؤثرة على شدة الصوت :**

يمكن إيجازها من خلال النقاط التالية :

١- المسافة بين مصدر الصوت والسامع ، فكلما زادت المسافة بينهم يحدث تفريق الموجات الصوتية على مساحة أكبر مما ينتج عنها انخفاض شدة الصوت .

٢- كثافة الوسط المادي الناقل للصوت ، فبزيادة كثافة الوسط المادي تزداد شدة الصوت .

٣- مساحة السطح المهتز ، وهي كذلك تزداد شدة الصوت بزيادة مساحة السطح المهتز .

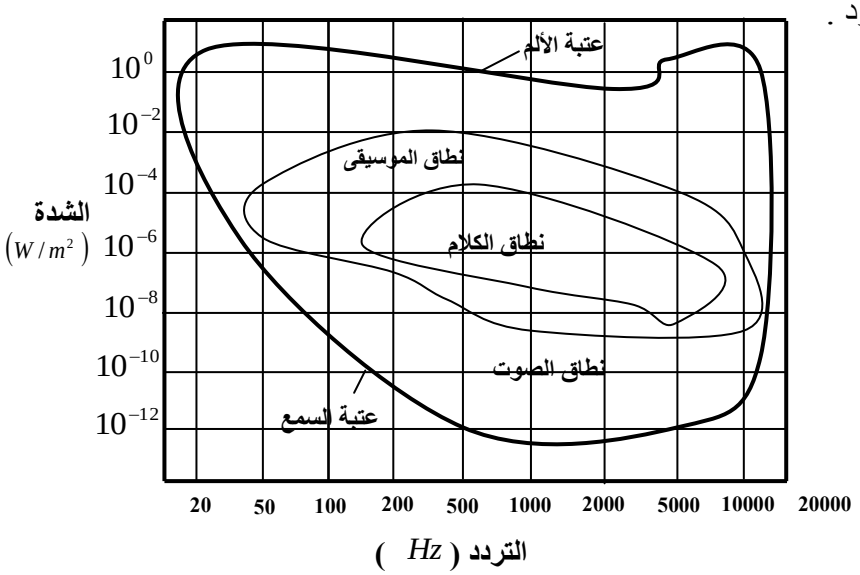
الذي يحدد الصوت المسموع لدى الإنسان هو : أ) التردد ب) شدة الموجات

عتبة السمع تقع ضمن الترددات ($50\,HZ$) و ($12000\,Hz$) .

الشدة والتردد معا يحددان الأصوات المسموعة.

وتقع عتبة السمع ، الشدة = ($10^{-12}\,W/m^2$) . وعتبة الألم، الشدة = $\left(10^{0}\,1W/m^2\right)$.

الرسم البياني المجاور لا يبين التمثيل الصحيح لسماع الفرد ، فهو يعتمد على متوسط القدرة السمعية للأذن ، وقد يتباين سمع الفرد .



و تمثل عتبة السمع بشكل منحنى وليس نقطة لأنها تعتمد على التردد الشدة معاً.

عتبة الألم : هي أكثر الأصوات ارتفاعاً ، وبمقدور الأذن تحملها . وتبلغ شدتها حوالي $\left(1\,W/m^2\right)$

مستوى شدة الصوت (β) : النسبة بين شدة موجة صوتية معينة إلى شدة موجة صوتية عند عتبة السمع .

@ يقاس مستوى الشدة بوحدة : الديسيبل (dB) .

تذكر أن تردد الموجة يحدد درجة الصوت (حدة الصوت أو غلظته) وأن شدة الموجة تحدد ارتفاع الصوت .

قانون مستوى شدة الصوت :

$$\beta = 10\log\frac{I}{I_0}$$

حيث (I) : شدة الصوت . (I_0) : شدة عتبة السمع وتساوي ($10^{-12}\,W/m^2$).

سؤال : إذا كنت تقف على بعد (50 m) من مكبر صوت للإذاعة المدرسية حيث تنتشر منه الموجـــات في جميـــع الاتجاهات ، فكان مستوى شدة الصوت الذي تسمعه (60 dB) . فاحسب شدة الصوت الذي تسمعه.

نوع الصوت	شدة الصوت I $W\ m^{-2}$	مستوى الشدة dB
المسبب لانفجار طبلة الأذن	10^{4}	160
طائرة نفاثة قريبة	10^{3}	150
حد الألم	1	120
قطار سريع	10^{-3}	90
شارع مزدحم بالسيارات والمارة	10^{-5}	70
محادثة اعتيادية	3.2×10^{-6}	65
صوت سيارة حديثة	10^{-7}	50
همس متوسط	10^{-10}	20
حفيف الأشجار	10^{-11}	10
حد السمع عند تردد 100 هيرتز	10^{-12}	0

صوت شدته تبلغ ($1x10^{-10}\ W/m^2$) ، فما هو مستوى الشده بوحدة الديسبل .

الحل :

$$B = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{1x10^{-10}}{1x10^{-12}}$$

$$\Rightarrow B = 20\ \ dB$$

3-8 الانعكاس فى الصوت

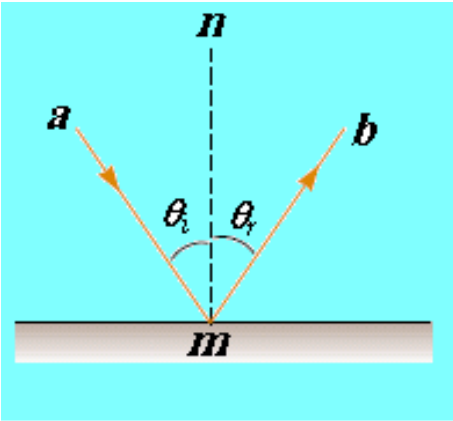
تنعكس الموجات الصوتية على الاسطح التى تقابلها بنفس الطريقة التى يحدث بها الانعكاس فى الضوء. وطبقاً لقانوني الانعكاس:

1- الشعاع الصوتي الساقط am والشعاع المنعكس mb والعمود المقام من نقطه السقوط mn تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس.

2- زاوية السقوط θ_i تساوي زاوية الانعكاس θ_r.

انعكاس الموجات الصوتية يسبب ظاهرة الصدي.

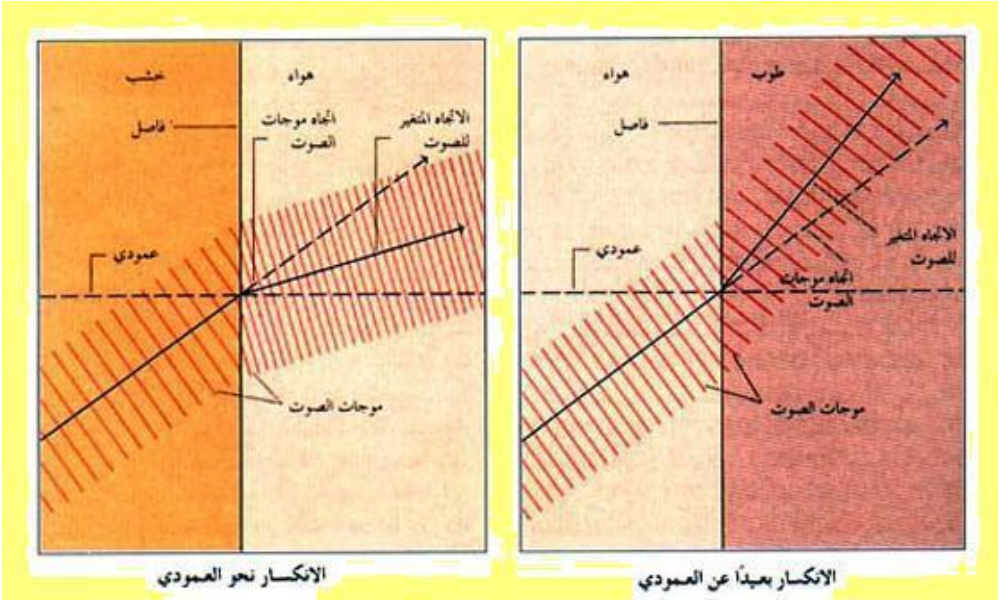
لذلك تغطي جدران قاعات المحاضرات والمسارح ودور السينما بمواد تمنع انعكاس الصوت، لمنع حدوث الصدي.



4-8 الانكسار فى الصوت

تنكسر الموجات الصوتية خلال مرورها من وسط لآخر يختلف عنه.

ويرجع انكسار الصوت عند انتقاله من وسط لآخر، الى اختلاف سرعة الصوت من وسط لآخر.



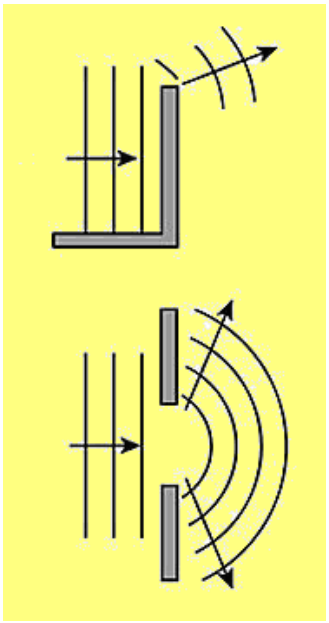
الحيود فى الصوت

الحيود هو ظاهرة انحراف الطاقة الصوتية المصاحبة لانتقال الحركة الموجية عن سيرها فى خط مستقيم، وذلك فى نفس الوسط.

ويحدث حيود الموجات عند مرورها خلال فتحة مناسبة فى حاجز.

ويفسر حيود الموجات بان كل نقطة على صدر الموجة تعمل عمل مصدر يرسل مويجات كرية ثانوية تنتشر فى اتجاهات مختلفة.

وبسبب ظاهرة الحيود نستطيع أن نسمع الأصوات من خلف الحواجز "كالأبواب والشبابيك".



التداخل فى الصوت

التداخل ظاهرة تحدث نتيجة لتقابل موجتين متحدتين فى الطور ولهما نفس التردد وسعة الاهتزازة.

وينتج من هذا التقابل وجود نقط فى الوسط الذى تنتشر فيه الامواج وتهتز اجزاء الوسط عندها بسعة اهتزازة كبيرة، وتسمى تلك النقط بالبطون "هدب بناءة".

بينما توجد نقط اخرى فى الوسط يحدث عندها سكون، تسمى تلك النقط بالعقد "هدب هدامة".

ولذلك توضع أجهزة الصوت "السماعات" في المساجد وقاعات المحاضرات والمسارح في أماكن وعلي مسافات محسوبة حتى لا تتكون عقد "هدب هدامة" في أماكن المستمعين.

إذا انعكست موجة ساقطة علي نفسها فإنه يحدث تداخل بين الموجة الساقطة والموجة المنعكسة، وينشأ عن ذلك تكون ما يسمي بالموجة الموقوفة.

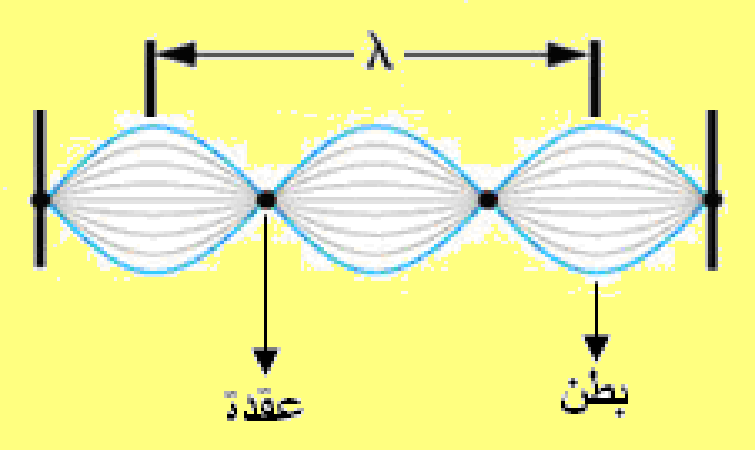
الموجات الموقوفة

هي الموجات التي تنشا من تراكب موجتين متماثلتين في التردد والسعة وتسيران في اتجاهين متعاكسين وتتكون من عقد و بطون.

العقدة هي موضع في الموجة الموقوفة تكون عنده سعة الاهتزازة لجزيئات الوسط صفراً.

البطن هو موضع في الموجة الموقوفة يكون عنده سعة الاهتزازة اكبر ما يمكن.

طول الموجة الموقوفة يساوي ضعف المسافة بين عقدتين متتاليتين أو بطنين متتاليين.



ملاحظة: تسمى الموجة الموقوفة موجة ساكنة لأنه ليس فيها انتقال للطور.

من أمثلة الأمواج المستعرضة الموقوفة الأمواج التي تحدث في وتر مهتز مثبت من الطرفين.

من أمثلة الأمواج الطولية الموقوفة الأمواج التي تحدث في الأعمدة الهوائية عند حدوث الرنين.

ظاهرة الرنين

عندما تؤثر سلسلة من الاهتزازات على جسم قادر على الاهتزاز بحيث أن تردد هذه الدفعات يساوي أحد الترددات الطبيعية للجسم فإن الجسم يهتز بسعة كبيرة نسبياً. تسمي هذه الظاهرة بظاهرة الرنين، ويقال بأن الجسم في حالة رنين مع الاهتزازات المطبقة.

فإذا وضعنا شوكتين رنانتين متماثلتين تماماً بعيدتين بعض الشيء عن بعضهما وضربنا الشوكة الأولى فسنجد أن الشوكة الثانية سوف تتجاوب مع الشوكة الأولى وتبدأ في الاهتزاز بشكل مماثل وسنسمع صوت الشوكة الثانية حتى بعد إيقاف الرنانة الأولى عن الاهتزاز.

كذلك تنعكس الموجات الطولية الصادرة من شوكة رنانة عند سطح الماء داخل أنبوبة الرنين وتتداخل الموجات الصوتية المنعكسة مع الموجات الساقطة، وعند الرنين تنشأ موجة موقوفة بحيث تتكون عقدة عند سطح الماء ويتكون بطن بالقرب من فوهة الأنبوبة.

تعيين سرعة الصوت

نضع الأنبوبة المفتوحة من الطرفين في مخبار مملوء بالماء، ثم نطرق شوكة رنانة ترددها f ونقربها من الطرف العلوي للأنبوبة مع رفع الأنبوبة إلى الأعلى ببطء إلى أن نحصل على أول رنين.

وتكون العلاقة بين أقصر طول للأنبوبة L يحدث رنين مع الشوكة وبين ترددها f هي:

$$L=\frac{v}{4}\frac{1}{f}-L'$$

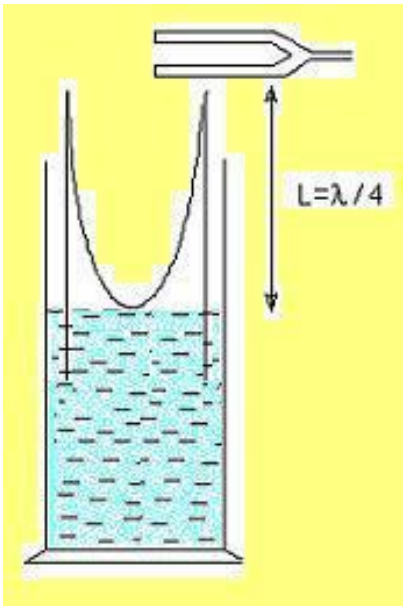
حيث v سرعة الصوت، L' المسافة بين بطن الموجة وفوهة الأنبوبة.

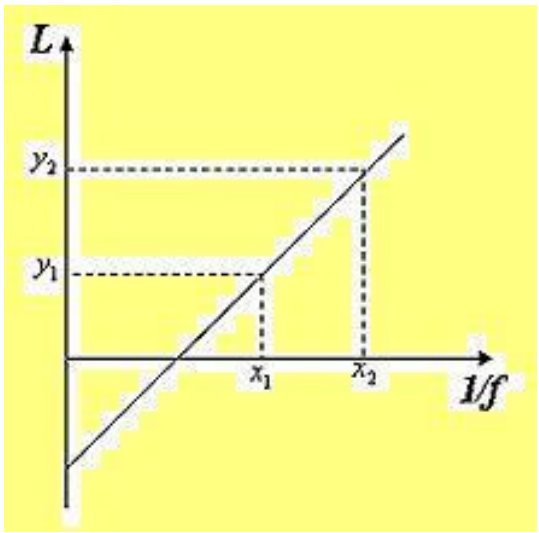
نكرر ما سبق مع شوك أخري ذات ترددات مختلفة وفي كل مرة نعين L.

نرسم العلاقة البيانية بين طول العمود L ومقلوب تردد الشوك $1/f$، فنحصل علي خط مستقيم يقطع جزء سالب من محور الصادات.

من ميل الخط المستقيم يمكن حساب سرعة الصوت v حيث:

v = 4 × الميل m/sec





ظاهرة دوبلر

إذا كان كل من مصدر الصوت والسامع والوسط ثابتاً بالنسبة لبعضهما ، فإن السامع يسمع صوتاً تردده مساوياً لتردد المصدر.

أما لو تحرك أي منهم بالنسبة لبعضهما البعض، فإن التردد المسموع سيختلف عن تردد المصدر وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة دوبلر.

وتبحث ظاهرة دوبلر في تغير تردد الموجة المسموعة التي يصدرها مصدر في حالة وجود حركة نسبية بين المصدر والسامع.

فعندما يتحرك المصدر مقترباً من مراقب ثابت فإن التردد المقاس بواسطة المراقب يزداد.

وعندما يبتعد المصدر عن المراقب الثابت يصبح التردد المقاس أقل من تردد المصدر في حالة سكون.

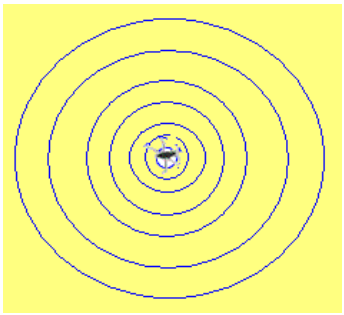
تزداد درجة صوت الصافرة باقتراب القطار من السامع وتقل بابتعاده عنه.

وتستخدم ظاهرة دوبلر في رادارات سيارات شرطة المرور لمعرفة سرعة السيارات المخالفة للسرعة القانونية، كما لها تطبيقات عدة في مجال الطب حيث يتم التعرف على نبضات الجنين وكذلك سرعة تدفق الدم في الأوعية الدموية باستخدام الأمواج فوق الصوتية وظاهرة دوبلر.

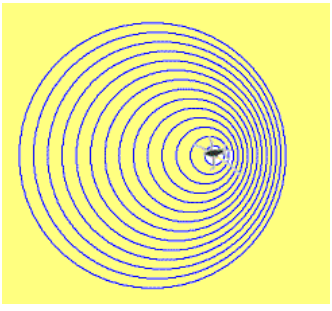
ظاهرة اختراق حاجز الصوت

تحدث ظاهرة اختراق حاجز الصوت عندما يتحرك الجسم بسرعة اكبر من سرعة الصوت.

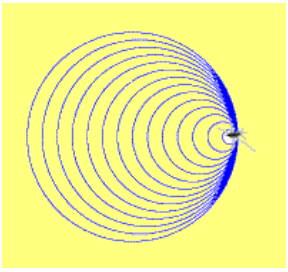
لنتصور طائرة تصدر صوتاً وهي ساكنه قبل الاقلاع فتنتشر الأمواج الصوتية على شكل حلقات تكون الطائرة في مركزها.



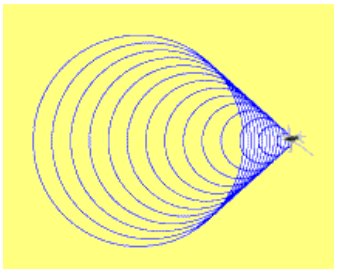
عندما تتحرك الطائرة فطبقاً لظاهرة دبلر يكون تردد الأمواج الصوتية امام الطائرة أكبر من ترددها خلف الطائرة.



عندما تصل سرعة الطائرة إلى سرعة الصوت فيصبح انتشار الامواج الصوتية الناتجة من الطائرة تساوي سرعة الطائرة نفسها فتتراكم جبهات الموجات الصوتية امام الطائرة مباشرة لتكون ما يسمى بموجة الصدمة.



عندما تصبح سرعة الطائرة أكبر من سرعة الصوت فإن كل جبهات الموجات الصوتية الناتجة من محرك الطائرة تتراكم فوق بعضها البعض على جانبي الطائرة وتتداخل تداخلاً بناءً لتشكل جبهة موجة واحدة ذات سعة كبيرة جداً هي موجة الصدمة ولكن في هذه الحالة على جانبي الطائرة وتنتشر في الهواء على شكل مخروط مركزه مقدمة الطائرة.



عندما تصل موجة الصدمة على طرفي المخروط الصوتي سطح الأرض يصدر صوتاً مزعجاً يحدث ضرراً لأذن الإنسان وقد يحطم نوافذ المباني.

بعض صور لطائرات اثناء اختراق حاجز الصوت

علم الصوتيات البيئي

وعلم الصوتيات البيئي أحد فروع علم الصوتيات، الذي يهتم بالتحكم في التلوث الضجيجي، والتخفيف من آثاره.

الضجيج أو الضوضاء فهي عبارة عن صوت معقد أو خليط من العديد من الترددات المختلفة لا يوجد تناغم صوتي بينها.

ومصادر الضجيج عديدة، مثل: الطائرات ومواقع البناء والصناعات والسيارات والأجهزة المنزلية.

والضجيج المتواصل، حتى لو لم يكن صاخباً، يسبب الإرهاق والصداع، وفقدان السمع، والتوتر والغثيان.

والأفراد الذين يتعرضون للضجيج المرتفع، لفترات طويلة، قد يعانون فقدان السمع، المؤقت أو الدائم.

ويمكن التحكم في تلوث الضجيج بعدة طرق.

فمن وسائل تقليل ضجيج السيارات كاتم الصوت "الشكمان"، الذي يجعل محركات السيارات أهدأ.

في المباني، يمكن استخدام الجدران السميكة الثقيلة، والأبواب والنوافذ، التي يمكن إحكام إغلاقها.

مسائل على الفصل الثامن

1- علل:

١- لا يمكن سماع منبه يدق داخل غرفة مفرغة من الهواء .

٢- سرعة الصوت في الماء أعلى من الهواء.

٣- لا يستطيع الانسان سماع نبض القلب .

٤- هيجان الحيوانات وهروبها قبل حدوث الزلازل والبراكين .

(4 – 11 – 2) : موجة تتحرك على خيط مسافة قدرها ($12m$) وخلال زمن وقدره ($0.06\ Sec$) فاحسب تردد الموجة المهتزة لموجة طولها ($0.1\ m$).

(4 – 11 – 3) : وضحنا في مقدمة الوحدة الترددات المسموعة ، فاحسب الطول الموجي للموجتين المرافقتين للترددين . علماً بأن سرعة الصوت هي ($344\ m/Sec$).

(4 – 11 – 4) : احسب سرعة الصوت في الماء ، علماً بأن معامل المرونة الحجمي للماء ($2100\ MPa$) وكثافته ($1000\ kg/m^3$).

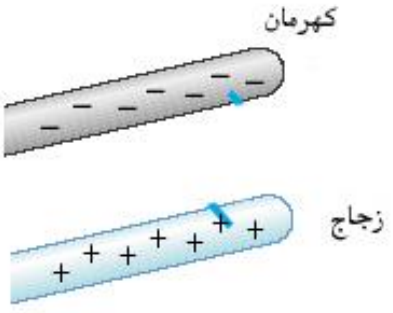
(4 – 11 – 5) : احسب مستوى الشدة مقدرة بالديسبل (dB) لموجة صوتية شدتها ($1x10^{-5}\ W\ m^{-2}$).

الفصل التاسع: الكهربية
Electricity

الكهربية الساكنة والتيار الكهربي من علوم الفيزياء الاساسية ولها العديد من التطبيقات في حياتنا العملية مثل المصابيح الكهربية والمولدات الكهربية والبطاريات الجافة والألواح الشمسية وماكنات التصوير وطابعات الليزر، ولدراسة هذا العلم سوف نقوم بشرح المفاهيم الاساسية التي يعتمد عليها هذا العلم، وتتلخص تلك المفاهيم في مفهوم الشحنة الكهربية والمجال الكهربي والفيض الكهربي والجهد الكهربي والمجال المغناطيسي ، سنقوم أيضا بدراسة بعض التطبيقات الاساسية مثل المكثف الكهربي والتيار الكهربي المستمر والمقاومات الكهربية وتحليل الدوائر الكهربية

1-9 الشحنة والمادة Charge and Matter

عرف الإنسان الكهرباء منذ القدم، فقد لاحظ ثيلز (Thales) عام 600 قبل الميلاد أن قطعة من الكهرمان (Amber) تجذب إليها قطعاً من القش إذا دلكت بقطعة من الملابس ، ولذلك يمكن القول أن الكهرمان قد اكتسب شحنة كهربية.



تعتمد نوع هذه الشحنة على طبيعة المادة التى نقوم بدلكها. بمعنى أنه فى حالة دلك مادة الكهرمان بفرو الحيوان فإنها تكتسب شحنات سالبة. أما فى حالة مادة الزجاج المدلوك بالحرير فتنتقل الشحنات السالبة للحرير ويصبح قضيب الزجاج موجب الشحنة.

الشحنة Charge

تتكون المادة من ذرات، و تتكون الذرات بدورها من إلكترونات و بروتونات و نيوترونات. ولكل من هذه الجسيمات خواصها المميزة. ومن خواص هذه الجسيمات خاصية الكتلة (mass) و التي تحدد قصور (inertia) أو عجز هذه الجسيمات عن الحركة من تلقاء نفسها. وهناك خاصية أخرى لهذه الجسيمات هي الشحنة (charge).

ويرمز لها بالرمز q (أو Q)، و تقاس بالكولوم (Coulomb) ويرمز للكولوم بالرمز C. ومثل ما تمكن خاصية الكتلة للأجسام من جذب بعضها بعضاً (كالجذب المتبادل بين الأرض و القمر)، فإن خاصية الشحنة للمادة تمكن الأجسام من التأثير بعضها على بعض. والشحنة قد تكون سالبة و قد تكون موجبة، وبالتالي فإن القوة الناتجة عن وجود خاصية الشحنة في المادة قد تكون قوة جذب أو قوى تنافر.ومن هنا يمكن استنتاج قاعدة التجاذب والتنافر:

تتجاذب الشحنات المختلفة وتتنافر الشحنات المتشابهة

ومن الأمثلة على بعض الشحنات الأساسية الهامة ، هي شحنة الإلكترون (e) ومقداراها 1.6×10^{-19} كولوم. وهي أصغر مقدار للشحنة في الكون وتتواجد الشحنات على الأجسام المادية المختلفة بكميات مساوية لمضاعفات شحنة الإلكترون، أي على شكل Ne حيث N عدد صحيح. فمثلاً يمكن أن تتواجد شحنة على جسم ما بمقدار $2e$ أو $10e$ أو 1.6×10^{2} e، بيد أنها لا يمكن أن تتواجد بمقدار $1.5e$ أو $25.3e$ ومن هنا فإنه يقال على الشحنة بأنها مكماة (Quantized).

Particle الجسيم	Symbol الرمز	Charge الشحنة	Mass الكتلة
Proton البروتون	p	1.6×10^{-19}C	1.67×10^{-27}K
Neutron النيوترون	n	0	1.67×10^{-27}K
Electron الالكترون	e	-1.6×10^{-19}C	1.67×10^{-31}K

ويجب أن ننوه هنا أن هناك نوعاً آخر من القوى التي تربط مكونات النواة مع بعضها البعض وهى القوى النووية، ولولاها لتفتت النواة بواسطة قوى التجاذب بين الإلكترون والبروتون.

تصنيف المواد:

تقسم المواد إلى ثلاثة أصناف، وذلك حسب سماحيتها للشحنات بالحركة خلالها:

(1) الموصلات (Conductors)

وهي المواد التي تمتلك أعدادا كبيرة من الالكترونات الحرة وتسمح للشحنات بالحركة خلالها، وذلك تحت تأثير قوة خارجية. ومن الأمثلة عليها: جميع المعادن (كالنحاس والحديد والذهب والفضة ...) وجميع محاليل الأملاح (كمحلول الطعام ومحلول كبريتات النحاس ...).

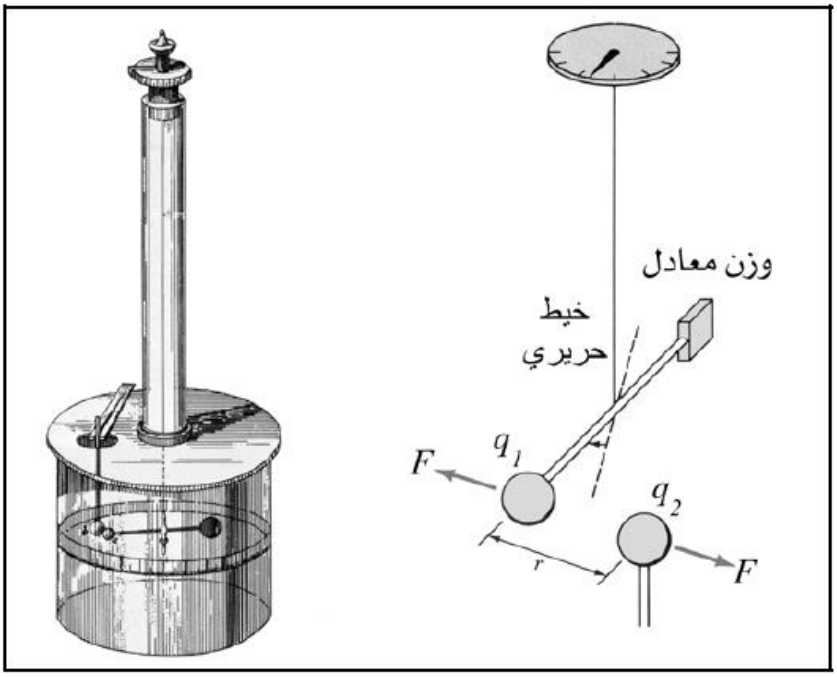
(2) المواد العازلة (Insulators)

وهي المواد التي لا تمتلك جسيمات مشحونة حرة ولا تسمح، عندما تكون نقية، للشحنات بالحركة خلالها، ومن الأمثلة عليها، الزجاج والمطاط والخشب.

(3) شبه الموصلات (Semiconductors):

وهي المواد المتوسطة، بين العازلات والموصلات، في سماحيتها للشحنات بالحركة من خلالها. ومن الأمثلة عليها : السيليكون و الجرمانيوم. ويمكن إضافة بعض الشوائب كالبورون أو الفوسفور إلى شبه الموصلات لزيادة توصيلها.

2-9 قانون كولوم



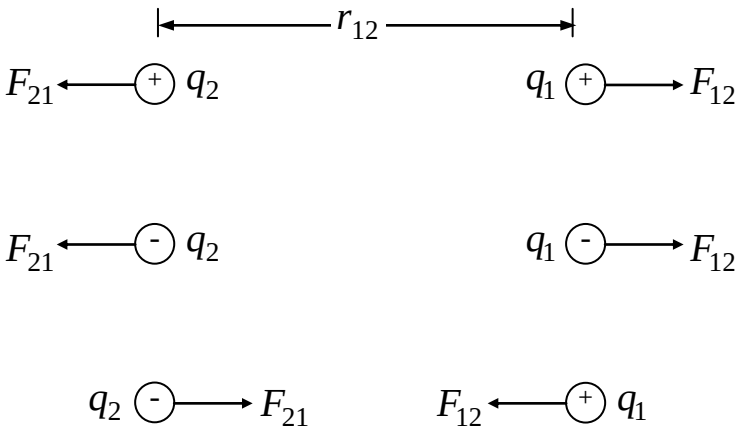
أجرى العالم الفرنسى كولوم فى عام 1785 م دراسة تتعلق بالقوى الكهربية بين الشحنات واستنتج بالتجربة أن القوة بين شحنتين نقطيتين مثل q_1, q_2 تتناسب طردياً مع قيمة كل من الشحنتين و عكسياً مع مربع المسافة بينهما r_{12}. أي يمكن كتابة القوة المتبادلة بين الشحنتين على النحو التالي:

$$F = K\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$$

حيث K مقدار ثابت يعتمد على نوع الوسط المحيط بالشحنتين ويساوي في حالة الفراغ 9×10^9 $\mathrm{N.m^2/C^2}$. و يكتب الثابت K في كثير من الأحيان على النحو التالي:

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\times10^9\ \mathrm{N.m^2/C^2}$$

حيث يمثل ε_0 ثابت نفاذية الفراغ للتأثير الكهربائي، ويساوي 8.85×10^{-12} $\mathrm{C^2/N.m^2}$. وعند وجود وسط آخر غير الفراغ بين الشحنتين، يستعاض عن ε_0 بثابت نفاذية ذلك الوسط للتأثير الكهربائي. باستخدام النظام العالمي للوحدات (SI) فإن القوة تقاس بالنيوتن (N)، و المسافة (r_{12}) بالمتر(m)، و الشحنة بالكولوم (C). وعندما تكون الشحنتان متشابهتين (موجبة-موجبة أو سالبة – سالبة) تكون القوة بينهما قوى تنافر. وإذا كانت الشحنتان مختلفتين (موجبة –سالبة) تكون القوة بينهما قوى تجاذب كما هو موضح بالشكل التالي :



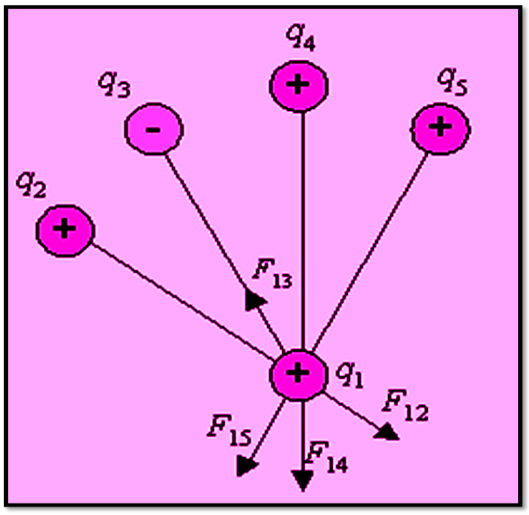
نص قانون كولوم

" القوى الناشئة بين شحنتين تتناسب طرديا مع حاصل ضرب الشحنتين و عكسيا مع مربع المسافة بين الشحنتين"

ملحوظة

إذا كان هناك مجموعة من الشحنات النقطية (q_1, q_2, q_3, q_4) يؤثر بعضها على بعض، فإن القوة الكلية التي تؤثر على إحداها (الشحنة q_1 مثلاً) تعطى بجمع متجهات القوى بين هذه الشحنة وكلا من الشحنات الأخرى

$$\vec{F_1} = \vec{F_{12}} + \vec{F_{13}} + \vec{F_{14}}$$



مثال (9- 1)

كم شحنة نواة الكربون ؟

الحل

تحتوي نواة ذرة الكربون على 6 بروتونات اذا شحنتها

$$q = 6 \times 1.6 \times 10^{-19} = 9.6 \times 10^{-19} C$$

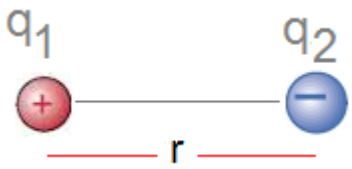
مثال (9- 2)

شحنت كرتان من نخاع البيلسان بحيث تحمل الاولي شحنة $-4.3\ \mu C$ والثانية شحنة $+6\mu C$ فإذا وضعت الكرتان على مسافة $0.12m$:

ا) ما نوع القوة المتبادلة بين القوتين

ب) مقدار القوة واتجاه التي تؤثر على الشحنة الاولي.

الحل



$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$= \frac{9 * 10^9 * 6 * 10^{-6} * 4.3 * 10^{-6}}{0.12^2}$$

$$= 16.1N$$

اتجاه القوة يكون على يسار q_1

مثال (9- 3)

يبعد البروتون عن الالكترون في ذرة الهيدروجين مسافة $5.3\ x10^{-11}\ m$ تقريبا فأوجد مقدار القوة الكهروستاتيكية ومقدار قوة الجذب بينهما ؟ أيهما أكبر؟

الحل

$$F_e = k_e\frac{|e||-e|}{r^2} = (8.99 \times 10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2})\frac{(1.60 \times 10^{-19}\ \mathrm{C})^2}{(5.3 \times 10^{-11}\ \mathrm{m})^2}$$

$$= 8.2 \times 10^{-8}\ \mathrm{N}$$

$$F_g = G\frac{m_e m_p}{r^2}$$

$$= (6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N\cdot m^2/kg^2}) \times \frac{(9.11 \times 10^{-31}\ \mathrm{kg})(1.67 \times 10^{-27}\ \mathrm{kg})}{(5.3 \times 10^{-11}\ \mathrm{m})^2}$$

$$= 3.6 \times 10^{-47}\ \mathrm{N}$$

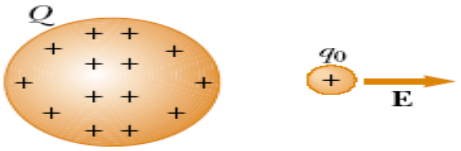
3-9 المجال الكهربائي The Electric Field

المقصود بمجال أي شيء هو نفوذ أو تأثير ذلك الشيء. فإذا قلنا أن شيئاً موجود في مجال شيء آخر، فهذا يعني أن الشيء الأول خاضع لنفوذ و تأثير الشيء الثاني (المنتج لهذا المجال). ولذلك يصاحب أى جسم مشحون مجال كهربي يحيط به ويؤثر على أي شحنة تقع داخل حيز هذا المجال بقوة تنافر أو تجاذب حسب نوع هذه الشحنة (موجبة أو سالبة) . وهذا يشبه مجال الجاذبية الأرضية حيث تجذب الأرض إليها الأجسام طالما لم يخرج من نطاق الجاذبية الأرضية. وكذلك مجال المصدر الحراري الذي يؤثر على الأجسام الموجودة فيه، ويشعرها بالدفء والحرارة. ويمكن الكشف عن وجود مجال كهربي عند نقطة ما بوضع جسم مشحون بشحنة موجبة صغيرة q_o وتسمى بشحنة إختبار (test charge) فإذا تأثرت هذه الشحنة بقوة كهربية فهذا يعنى وجود مجال كهربي عندها.

وتعرف شدة المجال الكهربائي E في نقطة ما بأنها القوة على وحدة الشحنات الموضوعة في هذا المجال.

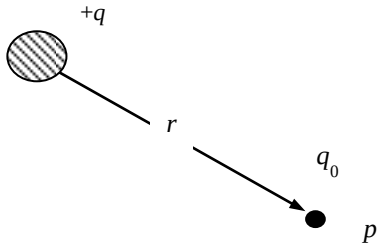
$$E = \frac{F}{q_0} \qquad (1)$$

حيث تمثل E المجال الكهربائي، و F القوة (Force) التي يؤثر بها على شحنة اختبار (test charge) موجبة قيمتها q_0 موضوعة في تلك النقطة. ومن هذا التعريف نرى أنه لحساب شدة المجال الكهربائي E عند نقطة ما، فإنه يمكن تخيل وجود شحنة موجبة q_0 في تلك النقطة، ثم حساب القوة التي يؤثر المجال بها على هذه الشحنة، ومن ثم توجد قيمة المجال E من المعادلة (1).



ووحدة المجال الكهربائي هي نيوتن لكل كولوم (N/C). ومن خصائص شحنة الاختبار (Test Charge) أنها موجبة و صغيرة جدا.

ولإيجاد المجال الكهربائي E الناتج عن شحنة نقطية q، عند نقطة مثل p تبعد عن الشحنة مسافة r، كما في الشكل. نفترض وجود شحنة اختبار موجبة صغيرة، مثل q_0 في النقطة. ثم نحسب القوة التي تؤثر بها الشحنة q على شحنة الاختبار q_0، و أخيراً نقسم القوة F على q_0 لإيجاد قيمة E.



$$F = K\frac{q\,q_0}{r^2}\hat{r} \qquad (2)$$

حيث تمثل $\hat{r}$ وحدة متجهات باتجاه r، أي أن

$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{|r|}$$

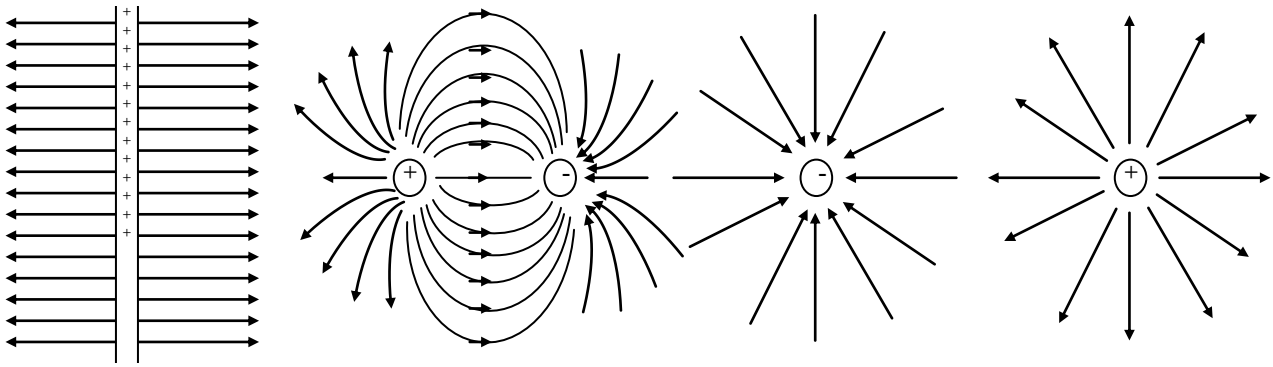
ولإيجاد المجال الكهربائي نعوض قيمة F في المعادلة (1).

$$\boxed{E = \frac{F}{q_0} = K\frac{q}{r^2}\hat{r}} \qquad (3)$$

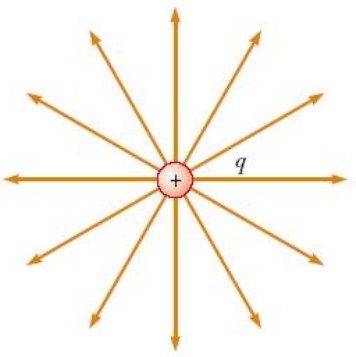
ونلاحظ من هذه المعادلة أن المجال E لا يعتمد على مقدار شحنة الاختبار q_0، وإنما يعتمد على الشحنة q (مصدر المجال)، وعلى المسافة r (التي تحدد مكان النقطة المراد حساب المجال عندها).

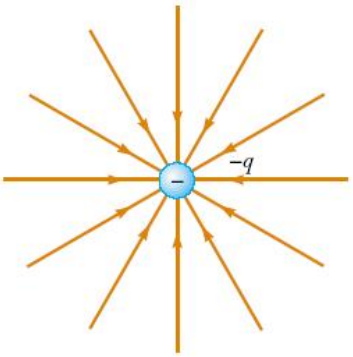
ويعرف اتجاه المجال الكهربي على أنه اتجاه القوى المؤثرة على شحنة الاختبار الموجبة كما يسمى مسار هذه الحركة بخط القوة الكهربية Line of force وهى خطوط وهمية تستخدم لوصف المجال الكهربي مقداراً واتجاهاً.

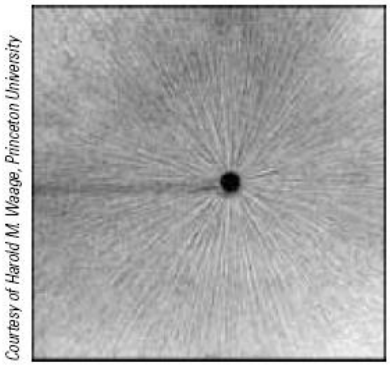
ويمثل الشكل التالي بعض خطوط القوى حول شحنة موجبة حيث نرى أن خطوط المجال تبدأ منها أى تكون اتجاه الخطوط خارجة من الشحنة الموجبة . وبالنسبة للشحنة السالبة تكون خطوط القوى متجة إلى الشحنة السالبة.

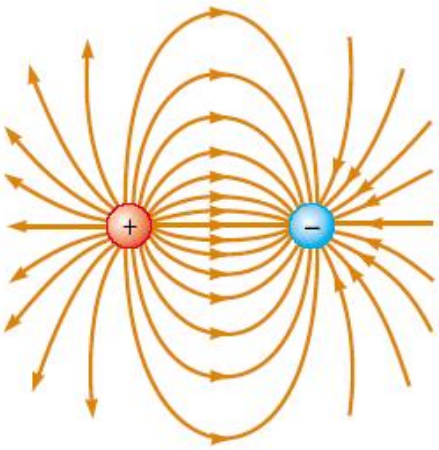


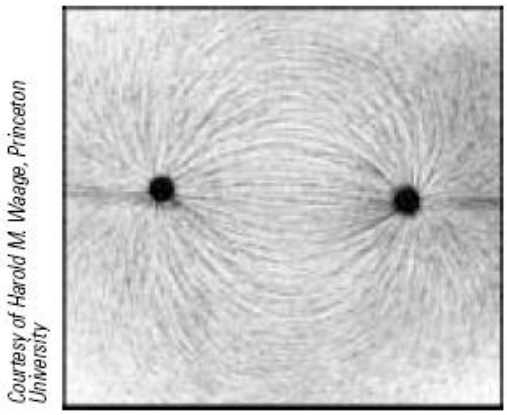
صفيحة واسعة جداً | ثنائي قطبي | أحادي قطبي | أحادي قطبي

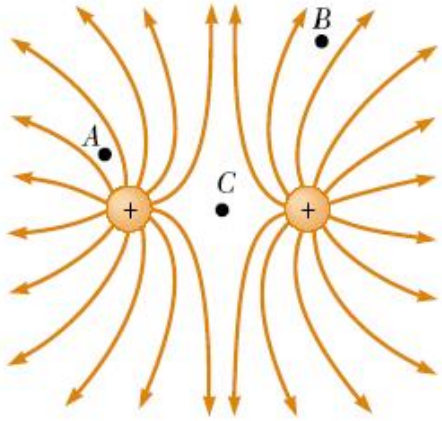


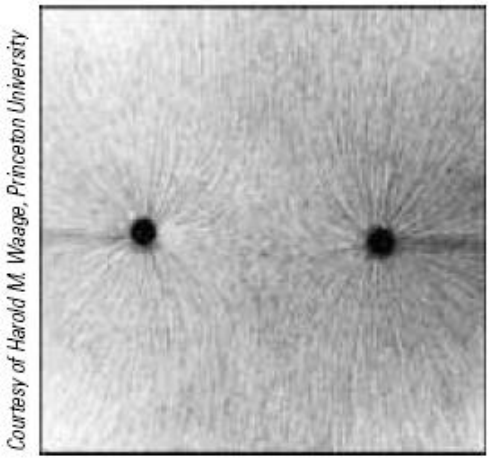












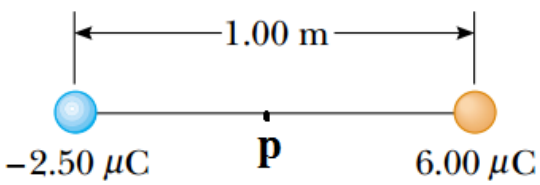
وفي حالة صفيحة طويلة منتظمة الشكل مشحونة بشحنة موجبة فإن خطوط القوى تكون متعامدة على مستوى الصفيحة ومتوازية مع بعضها البعض وتكون قيمة المجال E واحدة لكل النقاط القريبة من الصفيحة.

وفي حالة وجود شحنتين موجبة وسالبة يكون المجال عند أى نقطة محصلة المجالين الناشئين عن الشحنتين واتجاه يمثل المماس لخط القوى الكهربية.

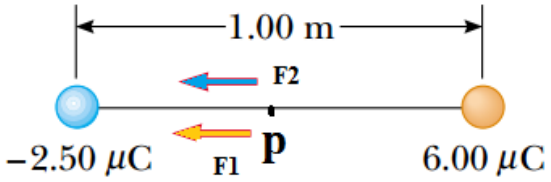
ويأخذ المجال الكهربي نفس اتجاه القوة إذا كانت الشحنة المتأثرة موجبة أما إذا كانت الشحنة المتأثرة سالبة فيكون اتجاه المجال عكس اتجاه القوة.

مثال (9- 4)

احسب المجال الكهربي مع تحديد الإتجاه على النقطة P الناتج من شحنتين إحداهما موجبة والأخرى سالبة وقيمة كل منهما كما في الشكل.



الحل



$$E_p = E_1 + E_2$$

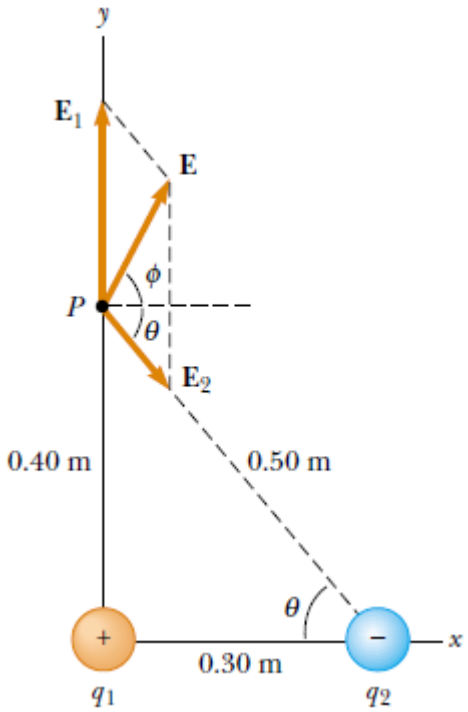
$$= K\frac{q_1}{r_1^2} + K\frac{q_2}{r_2^2} =$$

$$= 9\times10^9 \times\left(\frac{6\times10^{-6}}{(0.5)^2} + \frac{2.5\times10^{-6}}{(0.5)^2}\right)$$

$$= 3*10^5\ N/C$$

مثال (9- 5)

احسب المجال الكهربي الناتج من شحنتين الأولى مقدارها q_1 = 7.0 μC وتقع عند نقطة الأصل والثانية مقدارها q_2 = -5.0 μC وتقع على محورالسينات وتبعد مسافة 30 سم من نقطة الأصل. أوجد المجال الكهربي عند النقطة P التي تبعد 40 سم عن نقطة الاصل على محور الصادات.



الحل

اولا نحسب مقداري المجالين E1 الناتج من الشحنة q_1 و E2 الناتج من الشحنة q_2

$$E_1 = k_e \frac{|q_1|}{r_1^2} = (8.99 \times 10^9\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2}) \frac{(7.0 \times 10^{-6}\ \mathrm{C})}{(0.40\ \mathrm{m})^2}$$
$$= 3.9 \times 10^5\ \mathrm{N/C}$$

$$E_2 = k_e \frac{|q_2|}{r_2^2} = (8.99 \times 10^9\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2}) \frac{(5.0 \times 10^{-6}\ \mathrm{C})}{(0.50\ \mathrm{m})^2}$$
$$= 1.8 \times 10^5\ \mathrm{N/C}$$

$$E_{2x} = E_2 \cos\theta = \tfrac{3}{5} E_2$$
$$E_{2y} = -E_2 \sin\theta = -\tfrac{4}{5} E_2$$

$$\mathbf{E}_1 = 3.9 \times 10^5 \hat{\mathbf{j}}\ \mathrm{N/C}$$
$$\mathbf{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \hat{\mathbf{i}} - 1.4 \times 10^5 \hat{\mathbf{j}})\ \mathrm{N/C}$$

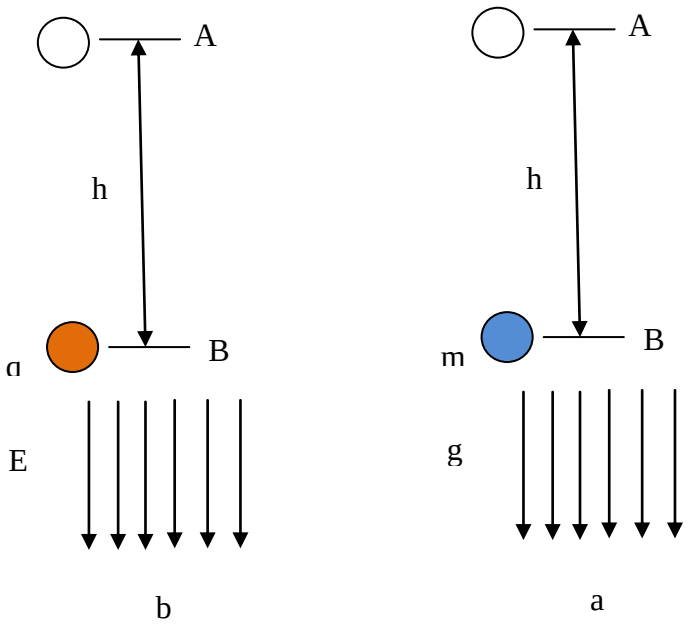
$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \hat{\mathbf{i}} + 2.5 \times 10^5 \hat{\mathbf{j}})\ \mathrm{N/C}$$

$E = 2.7 \times 10^5$ N/C. $\phi = \tan^{-1}(E_y / E_x)$

E makes an angle ϕ of 66°

4-9 الجهد الكهربائي Electric Potential

عند وضع جسم كتلته m من النقطة B إلى النقطة A في مجال الجاذبية الأرضية g على ارتفاع h من الأرض فإنه يكتسب مقداراً من طاقة الوضع (يساوي mgh)، ويكتسب الجسم طاقة الوضع هذه نتيجة لوضعه بالنسبة للأرض، على ارتفاع h من سطحها (شكل 1-a). و بالمثل عند وضع شحنة كهربائية q في مجال كهربائي E فإن الشحنة تكتسب مقداراً من الطاقة يعتمد على وضعها بالنسبة لما حولها من شحنات، يسمى باسم طاقة الوضع الكهربائية (Electric potential energy) (شكل 1-b). و كما أن الجسم في مجال الجاذبية يحصل على طاقته الوضعية من الشغل الميكانيكي الذي بذل في رفعه إلى مكانه على ارتفاع h، فإن الشحنة كذلك تحصل على طاقتها الوضعية من الشغل المبذول في تحريكها ووضعها في مكانها داخل المجال الكهربائي. ومثلما يتحرك الجسم محولاً طاقته الوضعية إلى طاقة حركية عندما يتحرك حراً في مجال الجذب الأرضي، فإن الشحنة كذلك تتحرك محولة طاقتها الوضعية إلى حركية في المجال الكهربائي. وتسمى طاقة الوضع الكهربائية التي تمتلكها وحدة الشحنة باسم الجهد الكهربائي (electric potential)، ويرمز للجهد الكهربي بالرمز V.



إذا زال تأثير الشغل المبذول على الجسم فانة سوف يسقط سقوطا حرا عائدا الى وضعة الابتدائى B وبذا تقل طاقة الوضع بالتدريج الى ان تتحول كاملة الى طاقة حركة عند وصول الجسم الى سطح الأرض وعندئذ طاقة الوضع عند اقصى ارتفاع A تساوى طاقة الحركة عند اصطدام الجسم بالأرض B اى (يصبح الفرق في طاقتي الجسم بين النقطتين A&B مساويا للصفر). قياساً على ذلك فإن لكل جسم مشحون موجود فى مجال كهربى طاقة كهربية تنتج عن الشغل المبذول واللازم لتحريك الجسم. مثال: فصل شحنتين متجاذبتين او تقريب شحنتين متباعدتين فى عكس المجالات الكهربية وهذا الشغل يتحول الى طاقة حركة لو ترك الجسم المشحون حرا.

اذا وضعت شحنة اختبار q_o فى مجال كهربى شدتة E فانها سوف تتحرك من نقطة قريبة من الشحنة إلى نقطة أكثر بعداً أي من B إلى A مثلا . بحساب الشغل المبذول بواسطة قوة خارجية (F_{ex}) ضد القوى الكهربية (qE) لتحريك شحنة اختبار q_o من A إلى B بحيث تكون دائما في حالة اتزان أي أن

$$F_{ex} = q_o \, E$$

وفيزيائيا نقول أن الشحنة q_o تحركت من مناطق ذات جهد كهربي مرتفع إلى مناطق ذات جهد كهربي منخفض. ولذلك يكون تعريف فرق الجهد الكهربي بين نقطتين A&B واقعتين في مجال كهربي شدته E:

بالشغل الازم لنقل وحدة الشحنات الموجبة بين هاتين النقطتين عكس المجال الكهربى

$$V_B - V_A = V_{BA} = \frac{W_{AB}}{q_o}$$

ووحداته Joule/Coulomb = فولت (V)

فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائي منتظم

اذا كان لدينا مجالاً منتظماً E ونريد أن نجد فرق الجهد بين نقطتين واقعتين في منطقة المجال، كالنقطتين A, B تبعدان عن بعضهما المسافة d فان:

$$\boxed{E = \frac{V}{d}}$$

وهذة المعادلة تبين العلاقة بين فرق الجهد والمجال الكهربى كحالة خاصة فى حالة وجود مجال كهربى منتظم .

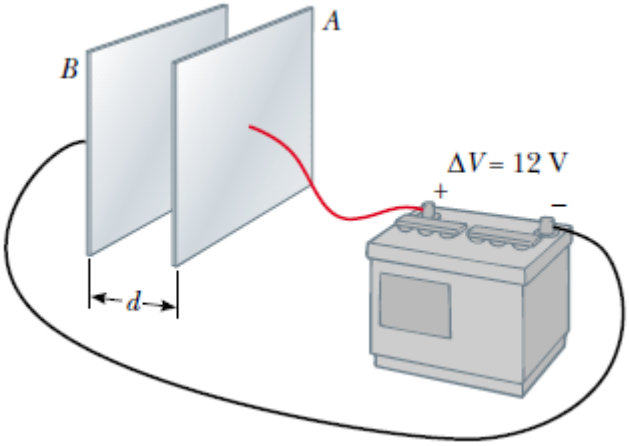
ووحدة قياس المجال هنا (V/m) وهى تساوى (N/C) .

مثال (9- 6)

بطارية 12 فولت وصلت بلوحين كما في الشكل فاذا كانت المسافة بين اللوحين هي 0.3 cm وبافتراض أن المجال الكهربي بين اللوحين منتظما أوجد مقدار المجال الكهربي بين اللوحين؟

الحل:

المجال الكهربي موجه من اللوح A الى اللوح B واللوح الموجب هو الأعلى جهدا من اللوح السالب. فرق الجهد بين الوحين الجهد بين قطبي البطارية، اذا مقدار المجال الكهربي بين اللوحين هو



$$E = \frac{|V_B - V_A|}{d} = \frac{12\ \text{V}}{0.30 \times 10^{-2}\ \text{m}} = 4.0 \times 10^3\ \text{V/m}$$

الجهد الكهربى لنقطة مشحونة

الجهد الكهربي عند نقطة تبعد مسافة قدرها r من نقطة مشحونة بشحنة موجبة هو

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_o}\frac{1}{r}$$

الجهد الكهربي لمجموعة من الشحنات النقطية

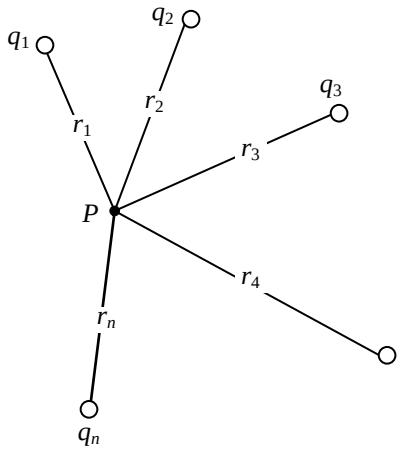
الجهد الناتج عن عدد n من الشحنات النقطية عند نقطة مثل P، كما في الشكل (8)، نحسب الجهد الناتج عن كل شحنة على حدة، متجاهلين وجود الشحنات الأخرى، ثم نجمع قيم هذه الجهود جمعاً جبرياً بسيطاً، لأن الجهد كمية قياسية (غير متجهة)، فنحصل على الجهد الكهربائي عند النقطة المطلوبة.

$$V_P = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots + V_n$$

$$\boxed{V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \ldots + \frac{q_n}{r_n}\right]}$$

أي أن:

$$\boxed{V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i}{r_i}}$$

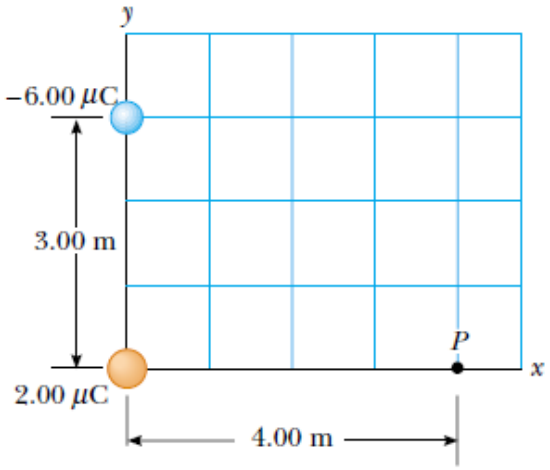


شكل (8)

مثال (9- 7)

شحنة q1 = 2.0 μC موجودة عند نقطة الأصل وشحنة q2 = 6.0 μC موجودة عند (0, 3.0) m كما في الشكل، أوجد الجهد الكهربائي الكلي الناتج من هاتين الشحنتين عند النقطة P والتي احداثياتها (4.0, 0) m.

الحل:



$$V_P = k_e\left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2}\right)$$

$$V_P = (8.99 \times 10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}) \times \left(\frac{2.00 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}}{4.00\ \mathrm{m}} - \frac{6.00 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}}{5.00\ \mathrm{m}}\right)$$

$$= -6.29 \times 10^3\ \mathrm{V}$$

5-9 المكثفات Capacitors

المكثفات اجهزة تستخدم فى تخزين الشحنات الكهربية. وعموما فان المكثفات تستخدم فى:

1- ضبط تردد اجهزة الاستقبال الاذاعي ، عمليات التوليف والرنين

2- كمرشحات فى مصادر الامدادات الكهربائيه، فى نظم احداث شرارة الأشتعال في نظام السياره،

3- كمصدر تخزين للطاقة في الأجهزة للتحكم فى الوحدات الالكترونيه.

المكثف يتكون من موصلين يفصل بينهما مادة عازلة (insulator) وكل مكثف لة سعة معينة تعتمد على الشكل الهندسي للمكثف وعلى المادة العازلة التي تفصل بين الموصلين.

سعة المكثفات

عند شحن مكثف بشحنة كهربية (q) فيتولد بين لوحيه فرق في الجهد (V) وتكون سعة المكثف عبارة عن مقدار الشحنة على كل موصل مقسوما على فرق الجهد بينهما.

$$C = \frac{Q}{V}$$

$$V = \frac{Q}{C}$$

وشدة المجال الكهربي بين اللوحين هي

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{r^2}$$

$$E = \frac{V}{r}$$

$$\therefore V = E \cdot r$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{r}$$

حيث r المسافة بين لوحين المكثف

من المعادلات السابقة يمكن استنتاج قيمة السعة C

$$C = 4\pi\varepsilon_o r$$

أي ان سعة المكثف تعتمد علي:

1- أبعاد لوحي المكثف 2- الوسط العازل بين اللوحين

وحدة قياس سعة المكثف هي الفاراد وتساوي $(1F=1C/V)$ ولكن الفاراد وحدة قياس كبيرة ولذا يستخدم

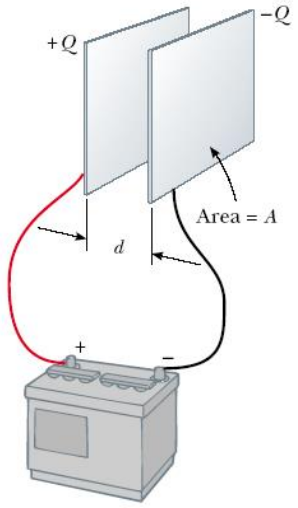
$1\mu F = 10^{-6}$ F , $1nF = 10^{-9}$ F , $1pF = 10^{-12}$ F

أنواع المكثفات :

هناك انواع عدة من المكثفات كمتوازي اللوحين والكروي والحلزوني وغيرها.

المكثف متوازى اللوحين

يتكون من لوحين موصلين متوازيان تفصلهما مسافة صغيرة d ومساحة سطح أى من اللوحين S وسحنة أحد اللوحين Q+ واللوح الأخر Q– . الشحنة السطحية تعطى من العلاقة



$$E = \frac{Q}{\varepsilon_o A}$$

$$\because V = E\ d$$

$$\therefore V = \frac{Q}{\varepsilon_o A}\ d$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\varepsilon_o A}{d}$$

من هذه المعادلة كلما كانت المسافة بين اللوحين صغيرة فإن الجهد صغيرا بينما تزداد سعة المكثف. وأيضا تزيد السعة بزيادة مساحة اللوحين للمكثف.

مثال (9- 8)

مكثف متوازي اللوحي مساحة كل من لوحيه $10\ cm^2$ والمسافة بين لوحيه $1mm$ فإذا كان فرق الجهد بين لوحيه $1000\ V$ فاحسب سعة المكثف وشحنته وقيمة المجال الكهربي بين لوحيه

الحل

لإيجاد السعة:

$$C = \frac{\varepsilon_o . A}{d} = 8.85\times10^{12} \times \frac{10\times10^{-4}}{10^{-3}} = 8.85\times10^{-12} \quad f$$

لإيجاد الشحنة: $q = C.V = 8.85\times10^{-12}\times10^{3} = 8.85\times10^{-9}\ C$

لإيجاد المجال الكهربي

$$E = \frac{V}{d} = \frac{10^3}{10^{-3}} = 10^6 \quad V/m$$

مثال (9- 9)

مكثف متوازي اللوحبن مصنوع من مادة الالومنيوم المسافة بين لوحيه $1\ mm$ ماذا يجب ان تكون مساحة كل من لوحيه (A) كي تكون سعته $1\ \mu f$

الحل

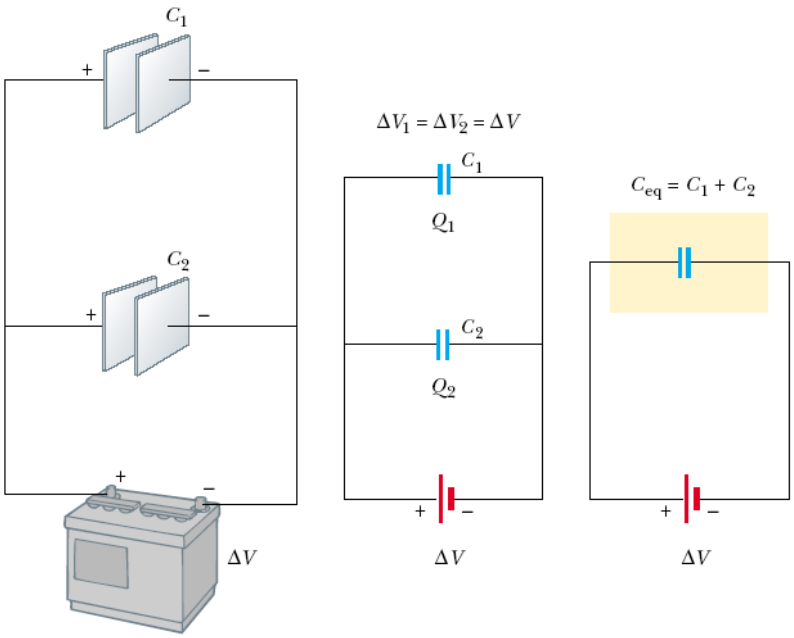
$$\because C = \frac{\varepsilon_o . A}{d} \qquad \therefore A = \frac{C.d}{\varepsilon_o}$$

$$A = \frac{1\times10^{-6}}{8.85\times10^{-12}} = 1.13\times10^{2} \quad m^2$$

توصيل المكثفات على التوازى

هذا النوع من التوصيل يتميز بـ:

1- فرق الجهد لا يتجزأ على المكثفات 2- الشحنة تتجزأ



$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 = C_1 \Delta V \qquad Q_2 = C_2 \Delta V$$

$$Q = C_{eq} \Delta V$$

$$C_{eq} \Delta V = C_1 \Delta V + C_2 \Delta V$$

$$C_{eq} = C_1 + C_2 \qquad \text{(parallel combination)}$$

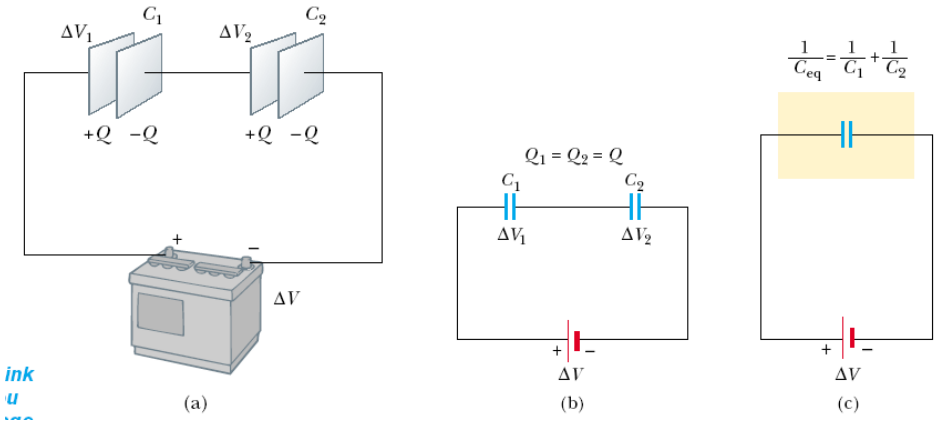
$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots \qquad \text{(parallel combination)}$$

توصيل المكثفات على التوالي

هذا النوع من التوصيل يتميز بـ:

1- فرق الجهد يتجزأ على المكثفات

2- الشحنة لا تتجزأ



$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

$$\Delta V = \frac{Q}{C_{\text{eq}}}$$

$$\Delta V_1 = \frac{Q}{C_1} \qquad \Delta V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

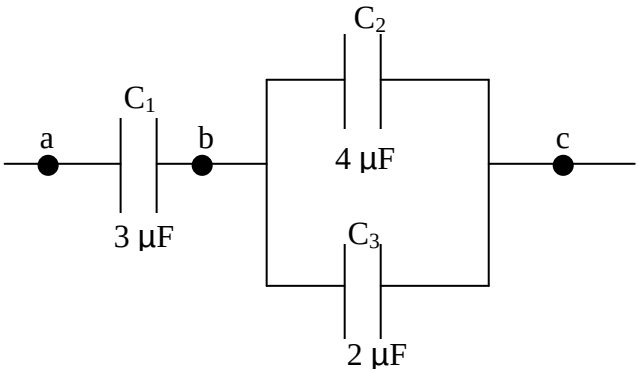
$$\frac{Q}{C_{\text{eq}}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \qquad \text{(series combination)}$$

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots \qquad \text{(series combination)}$$

مثال (9- 10)

احسب السعة الكلية لهذا الشكل



الحل

المكثفان C_3 ، C_2 متصلان على التوازي:

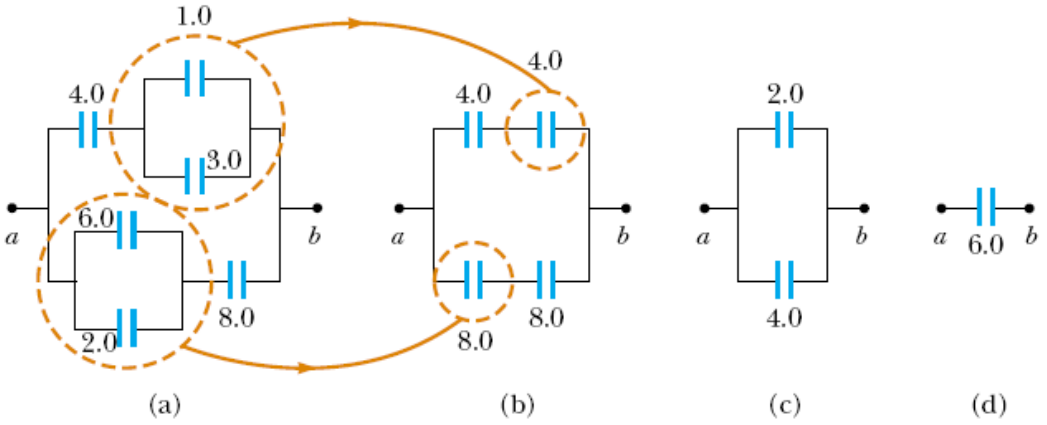
$$C = C_2 + C_3 \quad = 4 + 2 = 6\ \mu f$$

هذه السعة متصلة على التوالي مع C_1 فتكون المحصلة هي $\frac{1}{C_o} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C_1} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3}$

$$C_0 = 2\ \mu f$$

مثال (9- 11)

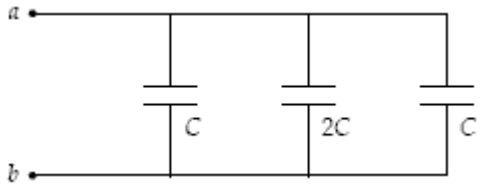
احسب السعة المكافئة للدائرة التالية



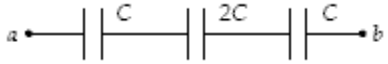
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{4.0\ \mu F} + \frac{1}{4.0\ \mu F} = \frac{1}{2.0\ \mu F}$$

$$C_{eq} = 2.0\,\mu F$$

تمرين : السعة المكافئة لمكثفات موصلة على التوازي كما في الشكل المقابل هي [0.4 C ، 4 C ، 40 C]



تمرين: السعة المكافئة لمكثفات موصلة على التوالي كما في الشكل المقابل هي [0.4 C ، 4 C ، 40 C]



تمرين: مكثفين سعة كل منهما (C_1=400μF, C_2=200μF) موصلان على التوازي وطبق عليهما فرق جهد كهربائي مقداره 120V ، والمطلوب:

1) ارسم الدائرة الكهربائية

2) احسب السعة المكافئة C_{eq}

3) احسب فرق الجهد على كل مكثف

4) احسب الشحنة على كل مكثف

6-9 التيار الكهربى Electric Current

- تتحرك الشحنات داخل مادة الموصل من مكان الى أخر تحت تأثير مجال كهربي داخل مادة الموصل تعطى ما يسمى بالتيار الكهربى.
- ويعرف التيار الكهربى (I) بكمية الشحنة التى تمر خلال مقطع سلك فى الثانية الواحدة، فإذا مرت شحنة كهربية صغيرة Δq فى زمن قدرة Δt خلال مقطع السلك فإن:

$$\boxed{I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}} \qquad \textbf{(1)}$$

ووحدته هى امبير = كولوم/ثانية (1 A = 1 C/ 1 S)

والتيار كمية قياسية (Scalar) واتجاة التيار دائما يكون عكس حركة الشحنات الكهربية السالبة فى الموصلات وفى الدوائر الكهربية من الطرف الموجب الى الطرف السالب عبر الموصل (الدائرة الخارجية)

تعرف كثافة التيار لموصل (J) (Current Density) بخارج قسمة التيار على مساحة مقطع السلك

$$\boxed{J = \frac{I}{A} = nev}$$

اى ان كثافة التيار عبارة عن التيار المار خلال وحدة المساحة العمودية على اتجاة سريان الشحنة او كمية الشحنة التى تخترق وحدة المساحة من مقطع الموصل فى الثانية

التوصيلية الكهربية

اذا تم تطبيق فرق جهد كهربي بين طرفي اى موصل فانه ينشأ في داخل مادة الموصل مجال الكهربي E وبالتالى كثافة للتيار الكهربي J . فإذا كان فرق الجهد الكهربي ثابت فإن التيار الكهربي يكون ثابت أيضاً. وكثافة التيار الكهربي الناتجة تتناسب طردياً مع شدة المجال الكهربي الناشئ أي أن

$$J = \sigma E \qquad (4)$$

حيث أن σ هي ثابت التناسب وتسمى الموصلية الكهربية (Electrical conductivity) للموصل.

ووحداتها هى (Ampere/volt.meter) ، (A/V.m) فى النظام العالمى.

مقلوب التوصيلية الكهربية (σ) يسمى بالمقاومة النوعية .(ρ) Resistivity

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{E}{J} = \frac{E.A}{JA} = \frac{EA}{I} \qquad (5)$$

ووحداتها هى (Volt . meter/Amper) ، (V.m/A) فى النظام العالمى

المقاومة الكهربية (R):

يتحرك الإلكترون داخل الموصل نتيجة تسليط مجال كهربي (E) عليه وأثناء حركته يحدث تصادمات واحتكاكات مع ذرات المادة فيزداد التذبذب وترتفع درجة حرارة السلك وتسمى هده الحالة بالمقاومة الكهربية.

العوامل المؤثرة في المقاومة الكهربية لموصل:

1- طول السل ℓ

2- مساحة مقطع السلك (S)

3- نوع مادة السلك (المقاومة النوعية ρ)

من هده العوامل يمكن استنتاج العلاقة التالية :

$$R \ \alpha \ \frac{\ell}{A} \quad \Rightarrow \quad R = \rho \frac{\ell}{A}$$

ووحدة قياس المقاومة هي الأوم (Ω)

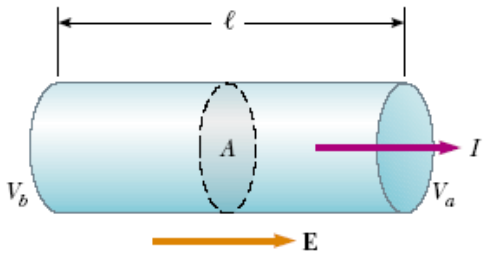
<u>قانون أوم:</u>

مما سبق المواد التي تخضع للمعادلات السابقة تحقق مايعرف بقانون أوم فى الكهربية

المواد التي تحقق قانون أوم يكون فيها " المجال الكهربي والتيار الكهربي يتناسبان تناسباً طردياً" تسمى مواد أومية Ohmic والمواد التي لا تحقق قانون أوم تسمى مواد غير أومية .nonohmic وبالتالي قانون أوم هو قانون تجريبي وينطبق على عدد محدد من المواد.

<u>العلاقة بين فرق الجهد الكهربى V بين طرفى موصل وطولة ℓ والمجال الكهربى</u>

لنفترض موصل طوله L ومساحة مقطعه A كما في الشكل أدناه، فإذا طبق فرق جهد كهربي على طرفي السلك فإنه سينشئ مجال كهربي E في الموصل



وحيث أن العلاقة بين المجال الكهربي وفرق الجهد الكهربي هي

$$V = E.\ell, \qquad J = \sigma.E = \frac{V}{\rho\ell}, \qquad \because J = \frac{I}{A},$$

$$\therefore \frac{V}{\rho\ell} = \frac{I}{A} \quad \Rightarrow \quad V = \left(\frac{\rho\ell}{A}\right) I,$$

$$V = R\,I$$

والمقدار $(\rho\ell/A)$ يعرف بمقاومة المادة ويرمز لها بالرمز R (Resistance)

$$(R = \rho\ell/A) \text{ حيث}$$

وكما أسلفنا فإن المقاومة R لها وحدة قياس فولت على أمبير V/A وتسمى الأوم ohm(Ω)

$$1\Omega = 1\ V/A$$

وهذا يعني أنه عندما يكون فرق الجهد الكهربي بين طرفى موصل يساوي 1 فولت فانة ينتج عنه تيار شدته 1 امبير تكون مقاومة الموصل 1 اوم.

مثال (9- 12)

سلك نحاسي طوله 100 m ومساحة مقطعه $1\ mm^2$ ويحمل تيار شدته 20 A ومقاومته النوعية 1.72×10^{-8} $\Omega.m$ احسب شدة المجال الكهربي وفرق الجهد بين طرفي السلك والمقاومة الكهربية للسلك.

الحل

$$E=\rho.J=\frac{\rho.I}{A}=1.72\times10^{-8}\times20\times10^{6}=0.344\ \ V/m$$

$$V = E\ .\ \ell\ =\ 0.344\ \times\ 100\ =\ 34.4\ V$$

$$R=\frac{V}{I}=\frac{34.4}{20}=1.72\quad \Omega$$

ويمكن تعين (R) بطريقة أخرى:

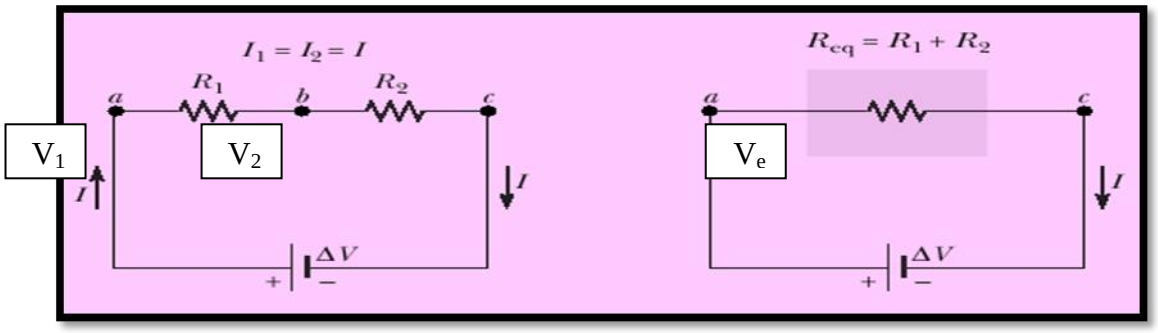
$$R=\frac{\rho\ell}{A}=\frac{1.72\times10^{-8}\times100}{10^{-6}}=1.72\quad \Omega$$

1- توصيل المقاومات على التوالى:

وهو اتصال المقاومات بحيث يكون نهاية المقاومة الأولى متصلا مع بداية المقاومة الثانية وهكذا:

ويتميز بما يلي:

أ) التيار ثابت لا يتجزأ ب) فرق الجهد يتوزع على المقاومات



بحيث يكون: $\Delta V = V_1 + V_2$

وبما أن التيار المار فى كل مقاومة واحد فيكون:

$$\Delta V = I R_{eq} \quad , \quad V_1 = I R_1 \quad , \quad V_2 = I R_2$$

$$\Delta V = I R_1 + I R_2 = I (R_1 + R_2)$$

بالتعويض: $I R_{eq} = I R_1 + I R_2$

اذا فان المحصلة والتي تسمى المقاومة المكافئة تساوي $R_{eq} = R_1 + R_2$

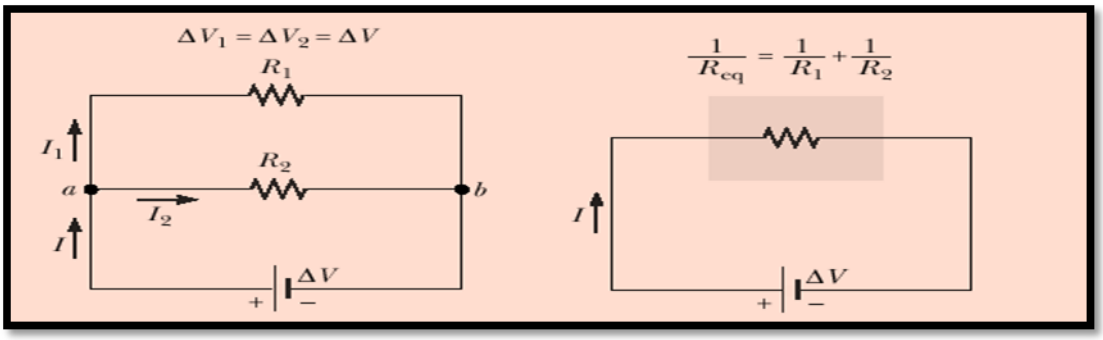
2- توصيل المقاومات على التوازى:

وهو اتصال المقاومات بحيث يكون نهايات المقاومات معا وبدايات المقاومات معا

ويتميز بما يلي:

أ) فرق الجهد ثابت لا يتجزأ ب) شدة التيار تتوزع على المقاومات

بحيث يكون: $I = I_1 + I_2$



ولأن فرق الجهد ثابت فان :

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \Delta V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{\Delta V}{R_{eq}}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

وبشكل عام

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots$$

وتكون مقلوب المحصلة يساوي مجموع مقلوب المقاومات

القدرة الكهربية (P):

- هي معدل التغير الزمني للطاقة الكهربية المستنفذة
- هي حاصل ضرب فرق الجهد الكهربي في شدة التيار

وتكون شكل العلاقة:

$$P = I \cdot V \quad , \quad P = I^2 \cdot R \quad , \quad P = V^2/R$$

وتقاس القدرة الكهربية بوحدات: (وات = جول/ثانية) W

مثال (9- 13)

سخان كهربي صنع من سلك نيكل – كروم استخدم فرق جهد مقداره 120V بين طرفيه وكانت مقاومته 8Ω اوجد التيار الذي يحمله السلك وكذلك قدرة السخان.

الحل

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{120}{8} = 15A$$

$$P = I\Delta V = 15 \times 120 = 1800W = 1.8kW$$

مثال (9- 14)

احسب تكلفة إعداد ديك رومي في فرن إذا عمل 4 ساعات متصلة عند 20A و 240V اذا كان سعر التكلفة هي 50 ريال للكيلووات ساعة

الحل

القدرة المستخدمة $P = I\Delta V = 20 \times 240 = 4800W = 4.8KW$:

الطاقة المستهلكة= الزمن X القدرة $E = Pt = 4.8 \times 4 = 19.2kWh$

التكلفة = 19.2 x 50 = ريال

مثال (9- 15)

مقاومتان كهربائيتان مقدارهما (R_1=1Ω, R_2=2Ω) موصلتان على التوالي وتم ربط طرفي المقاومتين بفرق جهد قدره 10V والمطلوب:

1. ارسم الدائرة الكهربائية

---

2. احسب المقاومة المكافئة R_{eq}

$\mathbf{R_{eq} = R_1 + R_2} = 1 + 3 = 4\Omega$

---

3. احسب التيار الكهربائي المار في الدائرة

$$I = \frac{10}{4} = 2.5A$$

---

4. احسب القدرة الكلية

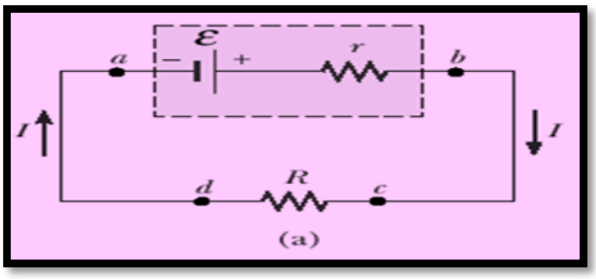
P = I . V = 2.5 x 10 = 25 W

---

5. احسب فرق الجهد بين طرفي المقاومة R_1

القوة الدافعة الكهربية (ε) والمقاومة الداخلية (r):

في البداية نطرح سؤال : ما الفرق بين القوة الدافعة الكهربية وفرق الجهد ؟



1- القوة الدافعة الكهربية (ε):

هي الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات (كولوم) في الدائرة الكهربية كلها خارج المصدر وداخله.

2- فرق الجهد الكهربي (V)

هو الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات بين نقطتين في الدائرة خارج المصدر

أي أن القوة الدافعة الكهربية تنقسم إلى جهدين:

1- جهد خارجي وهو خاص بنقل الشحنات خلال المقاومة الخارجية (R)

2- جهد داخلي وهو خاص بنقل الشحنات خلال المقاومة الداخلية للمصدر (r)

$$\varepsilon = I.R + I.r = I\,(R+r)$$

$$\boxed{I = \frac{\varepsilon}{R+r}}$$

الفصل العاشر: المغناطيسية

Magnetism

في مدينة مغنيسيا في آسيا الصغرى اكتشفت أجسام تجذب إليها قطع الحديد، سميت هذه الخاصية بالخاصية المغناطيسية وسمى هذا المغناطيس بالمغناطيس الدائم. وهذه الظاهرة عبارة عن قوى تجاذب أو تنافر تنشأ بين قطع من الحديد وأيضا اكتشف العلماء أن الأرض تمثل مغناطيسا كبيرا له قطبان بدليل انه عند تعليق مغناطيس حديدي تعليقا حرا فانه يأخذ وضعا خاص بحيث يشير إلى الشمال والجنوب للأرض ولذلك استغل العلماء هذه الفكرة لصناعة البوصلة التي أصبحت وقتها الدليل لمعرفة الاتجاهات الأصلية.

معلومات خاصة بالمغناطيس الدائم:

1- كل مغناطيس مهما كان شكله يحوي قطبين يسمى الأول شماليا (N) والثاني جنوبيا (S).

2-لا يمكن أن يوجد مغناطيس ذو قطب منفرد (الاقطاب المغناطيسية توجد دائما في شكل ازواج) فاذا قطعت مغناطيس فان كل قطعة ستتكون من قطبين شمالي وجنوبي.

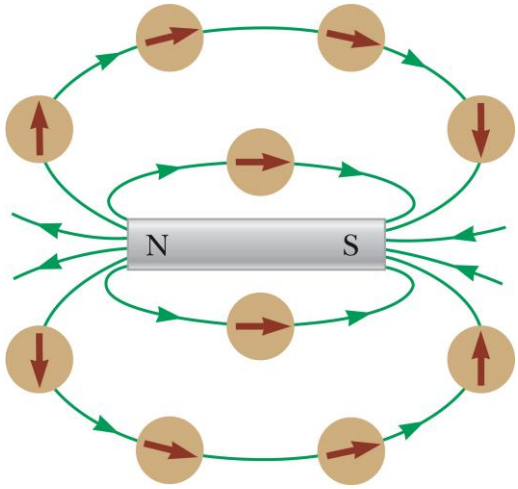
2-تتجاذب الاقطاب المختلفة وتتنافر الاقطاب المتشابهة(مثل الشحنات الكهربية)

3- يحيط بالمغناطيس منطقة تسمى بالمجال المغناطيسي وتحتوي على خطوط المجال المغناطيسي

4- وقد يتواجد المغناطيسي كقطعة مستقيمة أو كحدوة الفرس او حرف U وهناك أشكال أخرى

1-10 المجال المغناطيسي B (Magnetic Field):

هو المنطقة التي تحيط بالمغناطيس ويظهر فيها تأثيره المغناطيسي . وهوكمية متجهة ويحدد اتجاهها عند نقطة ما باستخدام ابرة البوصلةعند هذه النقطة أو برادة الحديد.



ويسمى المجال المغناطيسي أحيانا بالحث المغناطيسي Magnetic Induction (B) ويرتبط بما يسمى بشدة المجال المغناطيسي Magnetic Field Intensity (H) بالعلاقة

$$\boldsymbol{B = \mu_0 H} \qquad \textbf{(10-1)}$$

حيث μ_0 معامل نفاذية الفراغ (Permeability)

ووحدات القياس الدولية للمجال المغناطيسي B هى تسلا $T = \frac{Wb}{m^2} = \frac{N}{C\cdot(m/s)} = \frac{N}{A\cdot m}$

وتوجد وحدة قياس شائعة هي الجاوس (G) حيث $1\ T = 10^4\ G$

2-10 القوة المغناطيسية:

يمكن تعريف المجال المغناطيسي عند أي نقطة من تعريف القوة المغناطيسية $\boldsymbol{F_B}$ التي تؤثر على شحنة اختبار q داخل المجال المغناطيسي وتجعلها تنجرف بسرعة قدرها v

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \quad = qvB\sin\theta$$

اتجاه القوة المغناطيسية يكون عموديا على كل من السرعة والمجال المغناطيسي ويمكن استخدام قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه القوة. فإذا تحرك جسم مشحون موازيا لاتجاه المجال فان $\boldsymbol{F_B} = 0$

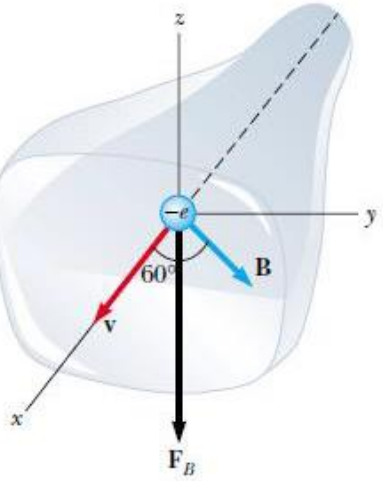
والقوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة موجبة تكون في عكس اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة سالبه تتحرك في نفس الاتجاه.

وفي هذا الجدول الفرق بين القوتين الكهربية والمغناطيسة.

الكمية	القوة الكهربية	القوة المغناطيسية
1- اتجاه القوة	القوة الكهربية موازية للمجال الكهربية Fe // Ee	القوة المغناطيسية عمودية على المجال المغناطيسية $F_B \perp B$
2- الحركة	القوة الكهربية تعمل على الجسم المشحون سواء كان ساكنا او متحركاً.	القوة المغناطيسية تعمل على الجسم المشحون عندما يتحرك فقط.
3- الشغل	تبذل القوة الكهربية شغلا عند ازاحة جسيم مشحون.	لا تبذل القوة المغناطيسية أي شغل عندما يزاح جسيم مشحون.

مثال حركة إلكترون في مجال مغناطيسي

يتحرك إلكترون في أنبوبة جهاز التليفزيون تجاه مقدمة الأنبوبة بسرعة $8x10^6 m/s$ على المحور السيني وحول عنق الأنبوبة يوجد ملف من السلك ينشئ مجالاً مغناطيسيا مقداره 0.025 T في اتجاه يصنع زاوية 60^0 مع المحور السيني ويقع في المستوى xy احسب القوة المغناطيسية والعجلة للإلكترون .



الحل

مقدار القوة المغناطيسية:

$$F_B = |q|vB\sin\theta = 1.6\times10^{-19}\times8\times10^{6}\times0.025\times\sin 60 \ = 2.8\times10^{-14}N$$

اتجاهها بالاتجاه السالب للمحور z لماذا؟

عجلة الالكترون:

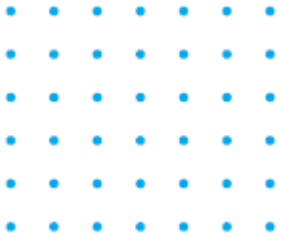
$$a = \frac{F_B}{m_e} = \frac{2.8\times10^{-14}}{9.11\times10^{-31}} = 3.1\times10^{16} m/s^2$$

3-10 القوة المغناطيسية التي تؤثر على موصل يحمل تيار اً

يتكون التيار من مجموعة الجسيمات المشحونة التي تتحرك في السلك والقوة الناتجة عن مجال السلك هي المجموع الاتجاهي للقوى المفردة الناتجة عن كل الشحنات المكونة للتيار

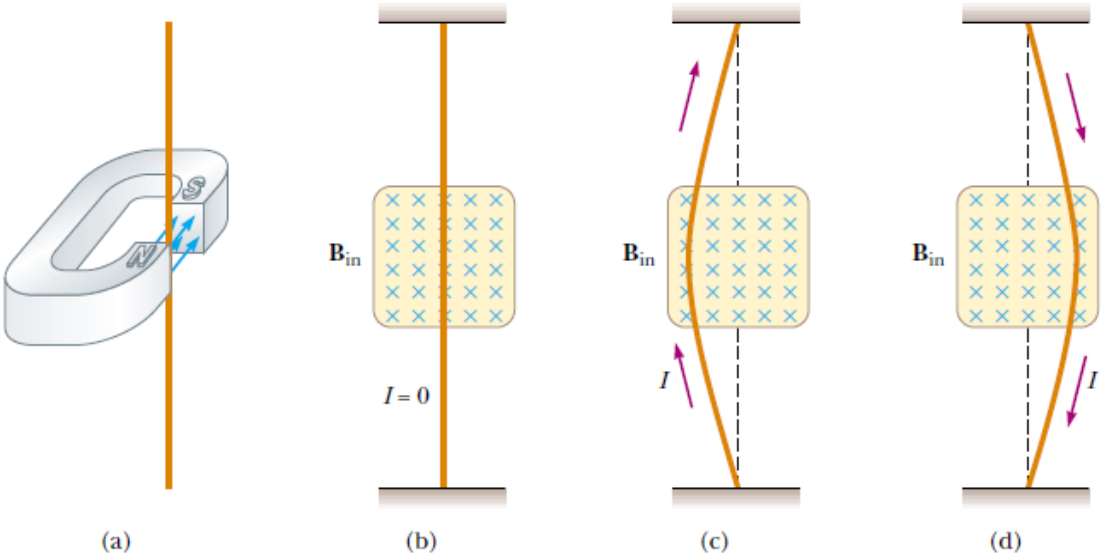
اتجاه المجال المغناطيسي:

المجال المغناطيسي داخل في الورقة B_{in}



المجال المغناطيسي خارج من الورقة B_{out}

اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك يسري فيه تيار وخاضع المجال مغناطيسي للداخل:

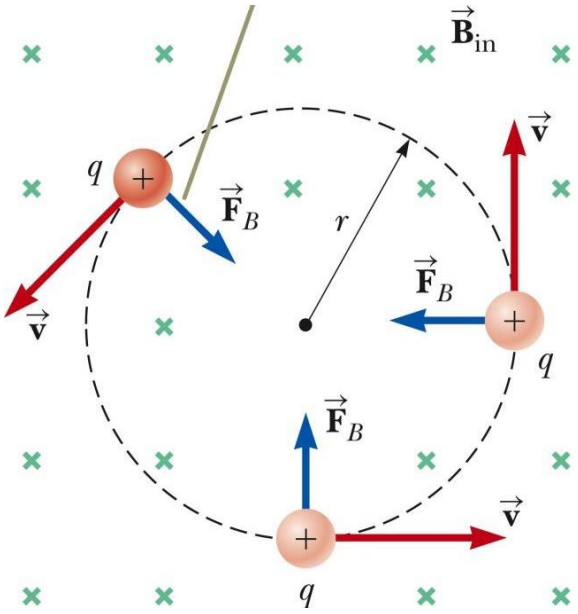


4-10 حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم

يتحرك الجسيم في دائرة تقع في مستوى عمودي على المجال المغناطيسي لماذا؟

يتغير اتجاه سرعة الجسيم والقوة المغناطيسية باستمرار والقوة المغناطيسية تغير فقط اتجاه سرعة الجسيم وليس مقدارها.

اذا كانت q موجبة يكون الدوران عكس دوران عقارب الساعة واذا كانت q سالبة يكون الدوران مع دوران عقارب الساعة



بمساواة قوة الطرد المركزية مع القوة المغناطيسية $F_B = qvB = \frac{mv^2}{r}$

نحصل على نصف قطر المسار $r = \frac{mv}{qB}$

نصف قطر المسار يتناسب طرديا مع كمية الحركة الخطية وعكسيا مع مقدار الشحنة والمجال المغناطيسي

السرعة الزاوية المطلقة للجسيم: $\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$

الزمن الدوري لحركة الجسيم T :

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$$

مثال (10- 2)

يتحرك برتون في مدار دائري نصف قطره 14cm في مجال مغناطيسي منتظم 0.35 T أوجد السرعة المطلقة الخطية للبروتون

الحل

$$r = \frac{mv}{qB} \qquad \Rightarrow \upsilon = \frac{qBr}{m_p}$$

$$\Rightarrow \upsilon = \frac{1.6\times10^{-19}\times0.35\times14\times10^{-2}}{1.67\times10^{-27}} \qquad = 4.7\times10^{6} m/s$$

استمر العلماء لسنوات طويلة يدرسون المجال المغناطيسي كمجال منفصل تماما عن المجال الكهربي حتى استطاع العالم اورستد (1820م) أن يؤكد العلاقة الوثيقة بين المجالين الكهربي والمغناطيسي عندما اكتشف انحراف إبرة مغناطيسية عندما تقترب من سلك يمر به تيار كهربائي.

5-10 قانون بيوت وسافارت (The Biot-Savart law)

بيوت وسافارت هما عالمان استطاعا استنتاج قانون يمكن بواسطته حساب المجال المغناطيسي لأى دائرة كهربية.

نتاج دراسة عملية للمجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار كهربي مار في سلك ويؤثر على إبرة مغناطيسية موضوعة بالجوار. قام العالمين بيوت وسافارت بعدة تجارب لايجاد العلاقة بين التيار المار في سلك والمجال المغناطيسي الناتج عنه عند اي نقطة في الفراغ. وقد توصلوا إلى الحقائق العملية التالية:

عند مرور تيار كهربي (I) في سلك فان الحث المغناطيسي (dB) لعنصر منه طوله (ds) كما بالرسم هو

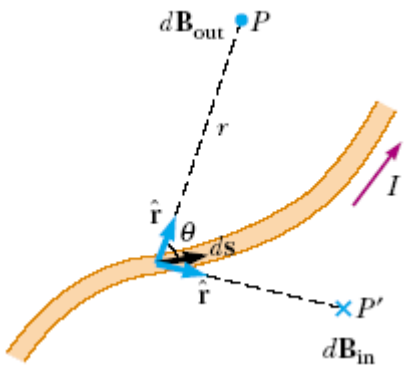
$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{I.ds.\sin\theta}{r^2}$$

حيث (K_m) ثابت التناسب ويساوي

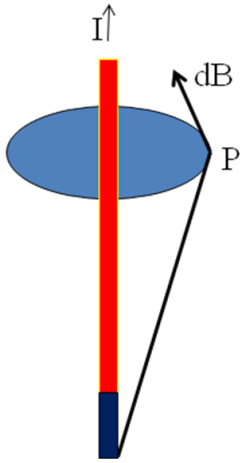
$$\frac{\mu_o}{4\pi} = K_m = 10^{-7}\ Wb/A.m$$

وكمتجه

$$d\vec{B} = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{I\,d\vec{s}\times\hat{r}}{r^2}$$



r



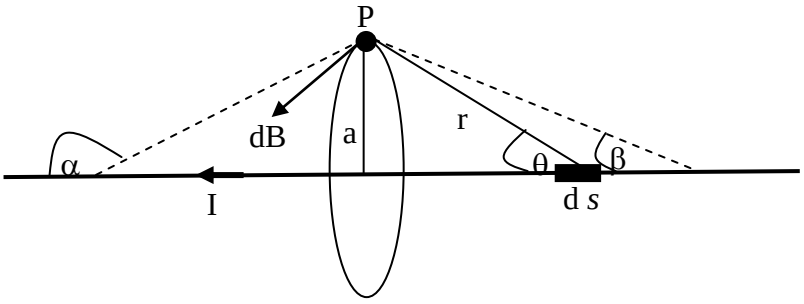
وعند اجراء عملية التكامل للحصول على قيمة المجال المغناطيسي الناتج من السلك كله يكون

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\mathbf{s} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

وهو قانون بيوت سافارت للمجال المغناطيسي الكلي الناتج عن سلك طوله l

6-10 تطبيقات على قانون بيوت سافارت

1- المجال المغناطيسي لموصل مستقيم



لحساب المجال المغناطيسي B الناتج عن مرور تيار كهربي I في سلك رفيع مستقيم عند نقطة تقع خارجة مثل النقطة P نتبع الأتى :

1-نأخذ جزء من السلك طول كل جزء ds وبعد اجراء عملية التكامل على طول السلك فان المجال المغناطيسي عند مسافة a من سلك مستقيم طويل يحمل تيار I هو

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{a} \qquad (10-2)$$

مثال (10- 3)

يمر تيار كهربي شدته 5A في موصل طويل. أحسب المجال المغناطيسي عند نقطة تبعد 10 cm من منتصف السلك.

الحل

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{a}$$

$$= \frac{4 \text{ x } 10^{-7}}{2 \ x \ 3.14} \ x \ \frac{5}{10 \ x \ 10^{-2}}$$

$$= = 10^{-5} \text{ Wb/m}^2$$

https://sites.google.com/site/hasanmaridi

(2) المجال المغنطيسي لموصل دائري يعطى بالعلاقة:

$$B=\frac{\mu_0}{2}\frac{IN}{a} \qquad (10-4)$$

ويكون B واقع على محور x ، N عدد لفات الملف ، a تمثل نصف قطر الملف

والعزم المغناطيسي لملف يعطى بالعلاقة التالية $P_m = N\ I\ A$ حيثِ A تمثل مساحة الملف

مثال (10- 4)

ملف دائري عدد لفاته 200 لفة ومتوسط نصف قطره 20 cm ، احسب شدة المجال المغناطيسي في مركز الملف إذا كان التيار المار به 3.5 A ثم احسب المجال المغناطيسي والعزم المغناطيسي.

الحل

$$H = \frac{N\ I}{2\ a} = \frac{200\ x\ 3.5}{2\ x\ 20\ x\ 10^{-2}} = 1.75\ x\ 10^{3}\ \ A/m$$

$$B = \mu_o\ H = 4\ \pi\ x\ 10^{-7}\ x\ 1.75\ x\ 10^{3} = 2.2\ x\ 10^{-3}\ Wb/m^2$$

$$P_m = N\ \pi\ a^2\ I = 200\ x\ 3.14\ x\ \left(20\ x\ 10^{-2}\right)^2\ x\ 3.5$$

$$= 88\ A.m^2$$

(3) المجال المغنطيسي لملف حلزوني:

1- اذا كانت النقطة P تقع بعيدا عن طرفي الملف فان

$$B=\mu_0\frac{NI}{\ell} \qquad (10-6)$$

2-إذا كانت النقطة P تقع عند احد طرفية وكان الحلزون طويلا

$$B=\frac{\mu_0}{2}\frac{NI}{\ell} \qquad (10-7)$$

مثال (10- 5)

ملف حلزوني طويل عدد لفاته 200 لفة في السنتيمتر يحمل تياراً مقداره 1.5 A . احسب شدة المجال المغناطيسي فى منتصفه وعند أطرافه.

<u>الحل</u>

شدة المجال فى منتصف الملف تعطى بالمعادلة

$$B = \mu_0 \frac{NI}{\ell} = 4\pi \times 10^{-7} \times 200 \times 10^2 \times 1.5 =$$

أما فى طرفه فإن شدة المجال تعطى بالمعادلة

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{NI}{\ell} = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2} \times 200 \times 10^2 \times 1.5 =$$

7-10 الفيض المغناطيسي Φ Magnetic Flux

عندما يكون المجال المغناطيسي B منتظم وعمودي على سطح منتظم مساحته A فان:

$$\Phi = B\,A \qquad (10\text{-}8)$$

φ تعرف بالفيض المغناطيسي (Magnetic Flux) والذى يعرف بعدد خطوط الفيض التى تنفذ عموديا خلال سطح ما مساحتة A ويقاس الفيض المغناطيسي بوحدة الويبر Wb

وإذا كان العمودي على السطح يصنع زاوية مقدارها θ مع اتجاه خطوط القوى فإن المعادلة 2 تصبح على الشكل التالي

$$\Phi = B\,A\cos\theta \qquad (10\text{-}9)$$

فإذا كان السطح غير منتظم الشكل فيمكن تقسيمه إلى أسطح صغيرة مساحة كل سطح dA والمعادلة 2 تصبح

$$\Phi = B\cos\theta\ \ dA \qquad (10\text{-}10)$$

الفيض المغناطيسي الكلي خلال أي سطح مغلق يكون دائما صفرا. لانه لا توجد أقطاب منفردة

$$\oint B.dA = 0$$

الفصل الحادي عشر: الضوء
light

1-11 طبيعة الضوء nature of light

الضوء هو ذلك الشعاع الذي يؤثر في العين فيسبب الرؤية أو الإبصار. والضوء أحد صور الطاقة كالطاقة الحرارية، الطاقة الميكانيكية، الطاقة الكهربية. ومن الممكن أن تتحول الطاقة الضوئية إلى أي نوع من الأنواع المعروفة للطاقة محافظاً علي مبدأ بقاء الطاقة. ومن خصائص الضوء الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود والاستقطاب والتشتت.

وقد حاول الإنسان أن يفسر كنه وماهية الضوء ففسر الإغريق الضوء على أنه عبارة عن جسيمات صغيرة تامة المرونة تخرج من العين وتسقط علي الجسم وتسبب الإحساس بالرؤية، وواضح أن هذا التفسير خطأ ولو كان صحيحاً لاستطاع الإنسان أن يري في الظلام.

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) وفشلت النظرية الجسيمية لنيوتن في تفسير ظاهرة التداخل والحيود والاستقطاب.

وفي عام 1670م 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) ، ونجحت النظرية الموجية لهيجنز في تفسير ظواهر الضوء المعروفة عندئذ الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود والاستقطاب. ولكنها فشلت في تفسير الظاهرة الكهروضوئية.

ولقد ظل الأمر كذلك حتى عام 1803م 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.

في بداية القرن العشرين 1905 نجح اينشتين في تفسير الظاهرة الكهروضوئية بالعودة إلي النظرية الجسيمية وفرضه أن الضوء عبارة عن جسيمات تحمل طاقة معينة (أو كمات من الطاقة). وسمي كل جسيم "أو كمه" بالفوتون فأصبح هناك تناقض وغموض في طبيعة وكنه الضوء، هل هو موجة أم جسيم.

وظل هذا الغموض حتى عام 1924 عندما تقدم العالم الفرنسي لويس دي برولي "Louis de Broglie" بفكرته الثورية عن الخاصية الثنائية للمادة. وفيها أوضح أن للضوء صفة مزدوجة فهو يسلك سلوك موجة تحت بعض الظروف (مما يتفق ونظرية هيجنز)، ويسلك سلوك جسيم أو فوتون تحت ظروف أخرى (مما يتفق مع نظرية نيوتن).

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).

2-11 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.

3-11 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.

4-11 انعكاس الضوء Reflection of light

يمكن تفسير رؤية الاجسام بأنه تسقط الأشعة الضوئية من المصدر الضوئي على الأجسام ثم ترتد عنها إلى العين وبالتالي تتمكن العين من رؤية تلك الأجسام.

ظاهرة ارتداد الأشعة عن الأجسام تسمى بظاهرة انعكاس الضوء.

الشكل (11-1) يوضح ظاهرة الانعكاس على سطح مرآة مستوية حيث أن:

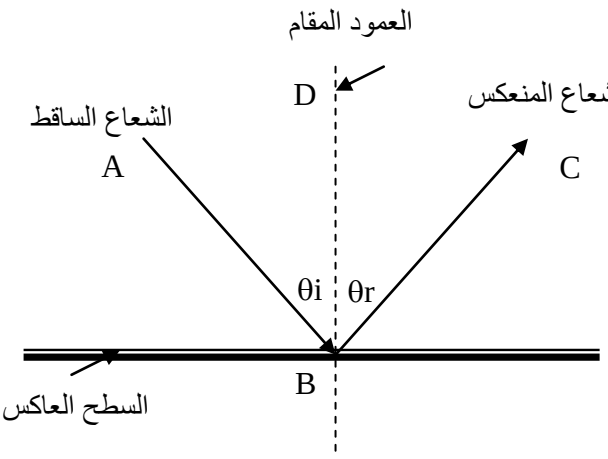
AB يمثل الشعاع الساقط

BC يمثل الشعاع المنعكس

DB يمثل العمود المقام على السطح العاكس

θ_i زاوية السقوط

θ_r زاوية الانعكاس



شكل (11-1)

زاوية السقوط (θ_i)

هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام على السطح العاكس.

زاوية الانعكاس (θ_r)

هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس.

قانون الانعكاس Law of reflection

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 الانعكاس.

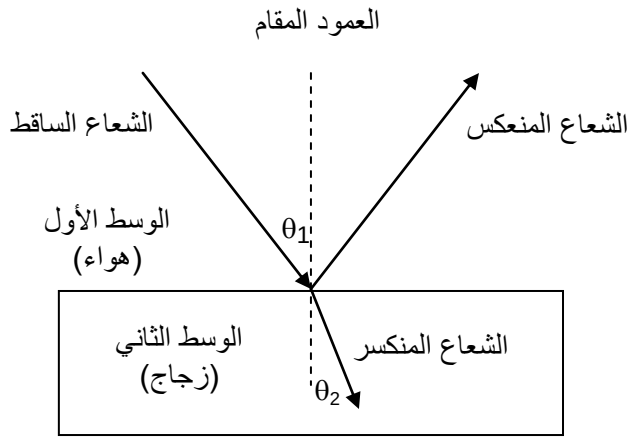
وينص على أنه إذا سقط شعاع ضوئي على سطح عاكس فان:

1- زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.

2-الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس تقع جميعها في مستوى واحد.

5-11 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 (11-2).



شكل (11-2)

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).

6-11 معامل الانكسار Refractive index

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

$$n = \frac{c}{v} \qquad (11\text{-}1)$$

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 (5-1) يبين معامل الانكسار في المواد المختلفة للضوء الأصفر الذي ينبعث من مصباح بخار الصوديوم وطوله الموجي $\lambda = 5890\ A^o$

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

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

جدول (11-1) 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 (11-1)

احسب سرعة الضوء في ثاني كبريتيد الكربون إذا علم أن معامل انكساره 1.63 بفرض أن سرعة الضوء في الفراغ تساوي $3\times10^8 m/s$.

الحل:

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

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

$$v = \frac{3\times10^8}{1.63} = 1.84\times10^8 m/s$$

قانون الانكسار (قانون ســـــــنل)

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

1- 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

$$\boxed{n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2} \qquad (11\text{-}2)$$

وهو ما يعرف بقانون سنل .

حالة خاصة:

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

$$\boxed{\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=n} \qquad (11\text{-}3)$$

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

مثال (11-3)

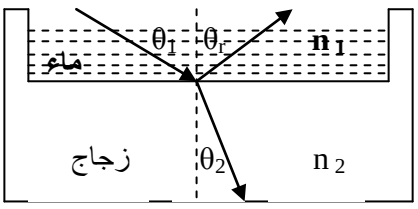
سقط شعاع ضوئي من الماء ($n_1=1.33$) بزاوية ($\theta_1=60^0$) على سطح لوح من الزجاج ($n_2=1.52$)

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.

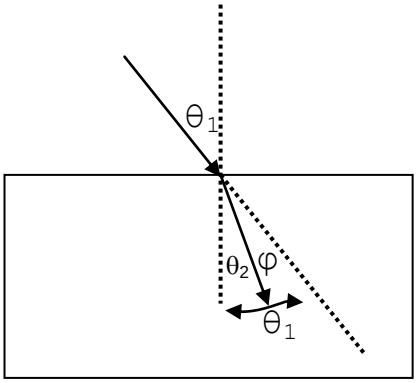
مثال (11-2)

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:

$\theta_1 = 45^0, n = 1.52$

$\theta_2 = ?$

أ- $n = \dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$

$\sin\theta_2 = \dfrac{\sin 45}{1.52} = 0.4652$

$\theta_2 = \sin^{-1}(0.4652) = 27.72^0$

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).

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

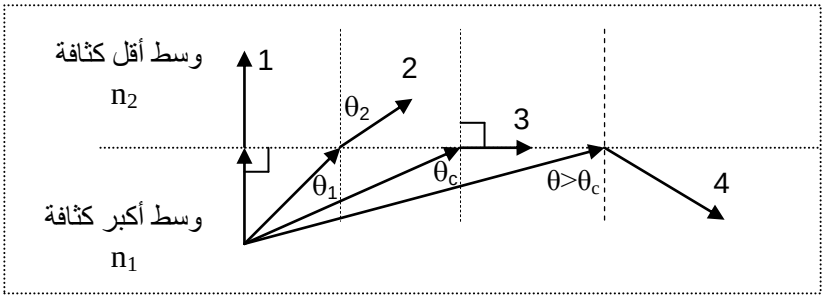
$\varphi = \theta_1 - \theta_2 = 45 - 27.72 = 17.28^0$

الزاوية φ تلفظ (فاي Phi)

11-7 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 (11-3)، وأكبر زاوية انكسار ممكنة في الوسط الأقل كثافة هي 90 درجة.

زاوية السقوط (في الوسط الأكبر كثافة) المناظرة لأكبر زاوية انكسار ممكنة (90 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 11-3)

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

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$
$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin 90$$
$$n_1 \sin\theta_c = n_2$$
$$\boxed{\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}} \qquad (11\text{-}4)$$

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

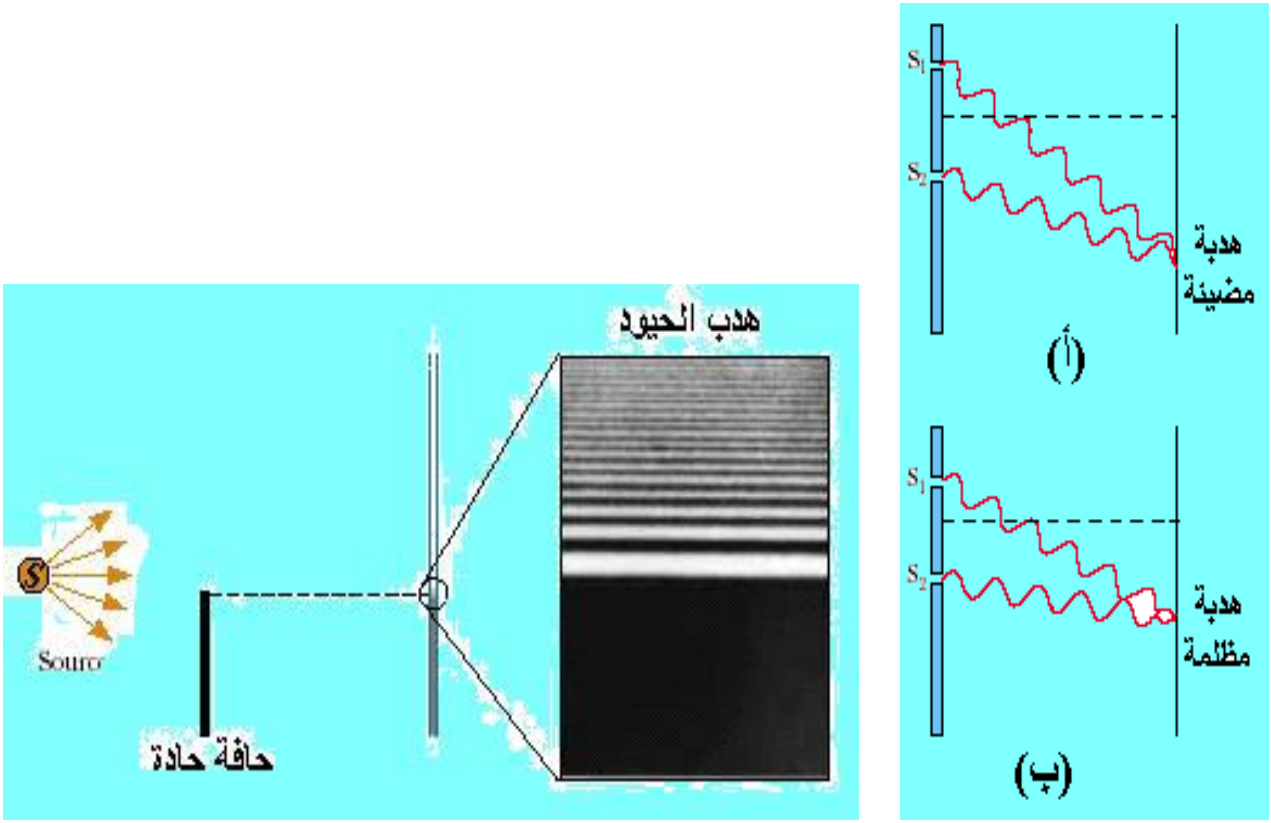
$$Sin\theta_c = 1 \div 1.33 = 0.75188$$
$$\therefore \theta_c = sin^{-1}(0.75188) = 48.7^0$$

11-8 التداخل و الحيود

تحدث ظاهرة التداخل في الضوء نتيجة للتراكب بين شعاعين ضوئيين لهما نفس الطول الموجي (وبالتالي نفس التردد) ومتساويين في الشدة ومتوافقين "coherent" (ومعني التوافق أن فرق الطور بينهما ثابت لا يتغير مع الزمن)

ونتيجة للتراكب بينهما تتقابل قمة مع قمة، وقاع مع قاع فيقوي كل منهما الآخر، وتكون تلك النقطة هدبه مضيئة كما بالشكل (أ).

أما إذا كان فرق الطور بينهما $(2n+1)\pi$ أي أن فرق المسير بينهما عدداً فردياً من أنصاف الأطوال الموجية $(2n+1)\lambda/2$، فإنه نتيجة للتراكب بينهما تتقابل قمة مع قاع، وقاع مع قمة فيضعف كل منهما الآخر، وتكون تلك النقطة هدبه مظلمة كما بالشكل (ب).



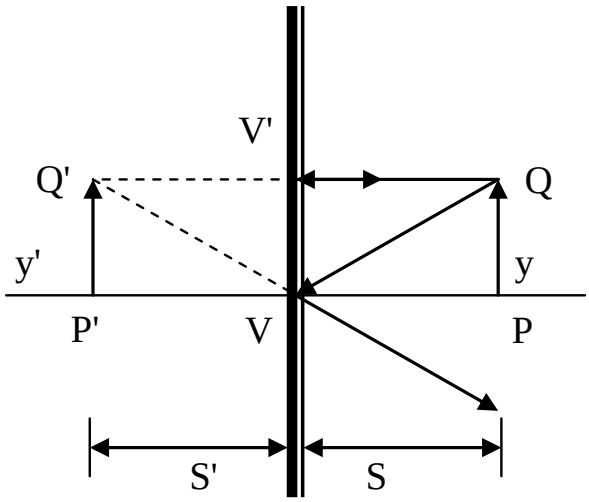
شكل (11-3)
التداخل والحيود

أما خاصية الحيود هي أن يحيد الضوء عن خاصية سيره في خطوط مستقيمة عند مروره خلال حافة حادة.
فعند مرور الضوء خلال حافة حادة كما بالشكل، نجد أن الضوء ينتشر في منطقة الظل الهندسي أي أن الضوء انحني ولم يلتزم بالانتشار في خطوط مستقيمة عند مروره بهذه الحافة الحادة

9-11 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 (11-4) 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 (11-4)

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 :

$$m=\frac{y'}{y} \qquad (11\text{-}5)$$

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

10-11 الصور المتكونة بالانعكاس على المرايا الكرية

Images Formed by Reflection at a spherical mirrors

المرايا الكرية

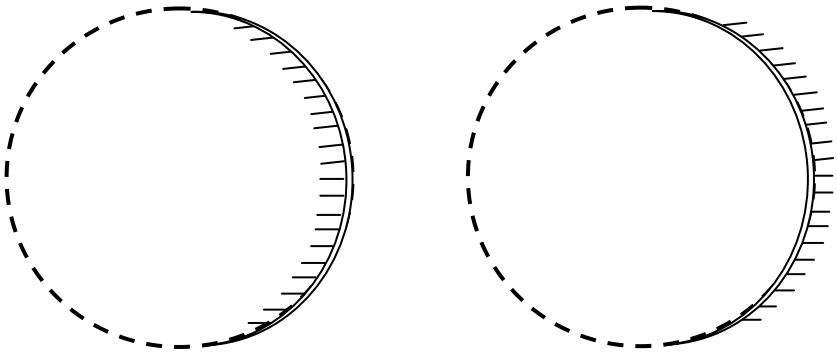
هي مرايا سطحها يتكون من جزء صغير من كرة ، وتتكون الصور في هذه المرايا حسب قانون الانعكاس ، ولكن طبيعة الصورة في هذه الحالة تكون مختلفة ، وتقسم المرايا الكرية إلى نوعين (انظر الشكل 11-5).

concave mirrorالمرايا لمقعرة

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

convex mirrorsالمرايا المحدبة

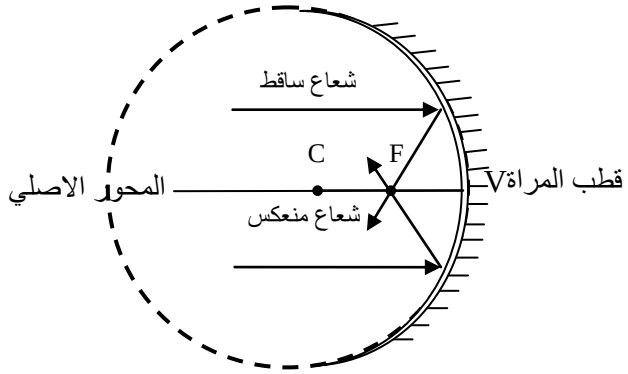
وتسمى أيضا بالمرآة المفرقة (Diverging mirror) وذلك لأنها تفرق الأشعة الساقطة عليها ويكون سطحها العاكس هو السطح المحدب.



مراة مقعرة (لامة) مراة محدبة (مفرقة)

شكل (11-5)

وقبل أن نناقش كيف تتكون الصور بواسطة المرايا الكرية سنعرف بعض المصطلحات بالاستعانة بالشكل (11-6).



شكل (11-6)

1- مركز التكور (c) center of curvature

هو مركز الكرة التي تكون المرآة جزء منها.

2- قطب المرآة (v) vertex

هو مركز المرآة نفسها.

3- نصف قطر التكور (R) Radius of curvature

وهو المسافة بين مركز التكورC وقطب المرآة V .

4- المحور الأصلي Principle axis

هو المحور الذي يصل بين مركز التكور وقطب المرآة.

5- 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

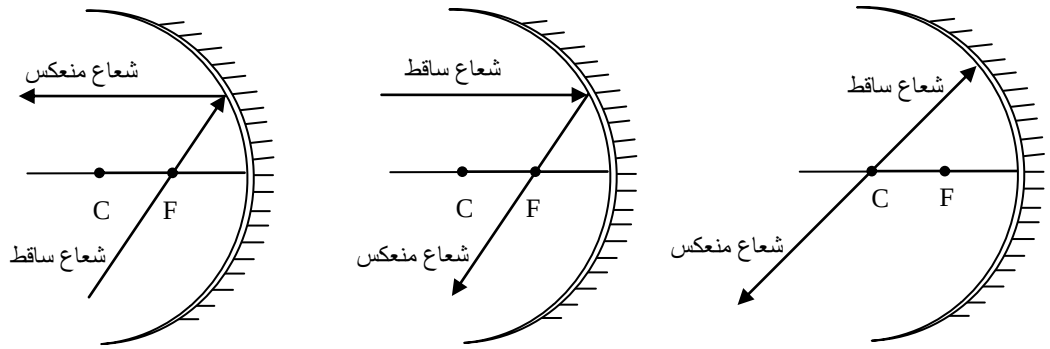
هو المسافة بين البؤرة F وقطب المرآة V .

يمكن تحديد موقع وطبيعة الصور المتكونة بواسطة المرايا الكرية برسم اثنين من ثلاث أشعة يمكن رسمها بسهولة وهي موضحة على الترتيب بالشكل (11-7) كما يلي:

1- شعاع مار بمركز التكور فينعكس على نفسه (شكل 11-7 .

2- شعاع موازي للمحور الأصلي فينعكس في البؤرة.

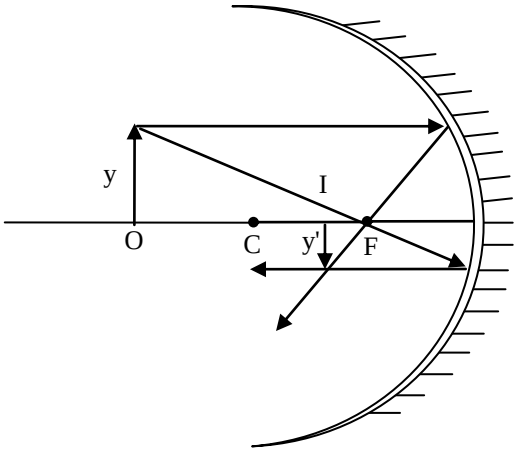
3- شعاع مار بالبؤرة فينعكس موازيا للمحور الأصلي.



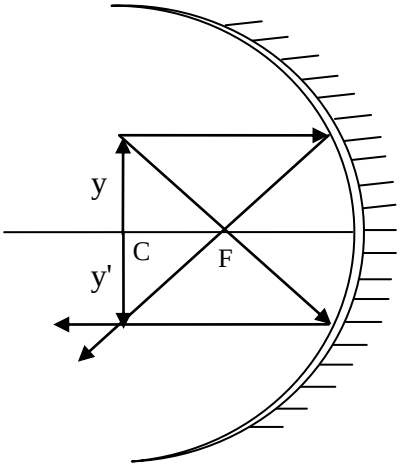
(3) (2) (1)

شكل (11-7)

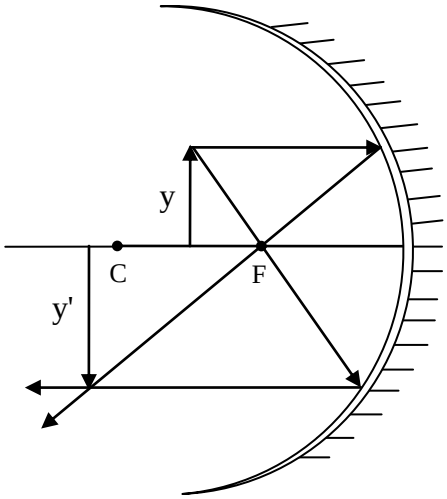
فإذا تكونت صورة لجسم أمكن استقبالها على حائل فان الصورة تكون حقيقية (الصورة الحقيقية هي التي تظهر أمام المرآة) أما إذا لم يمكن استقبالها على حائل تكون صورة تقديرية (وهي التي تظهر خلف المرآة)، والأشكال (من 11-8-1 إلى 11-8-5) التالية توضح موقع وطبيعة الصورة المتكونة بواسطة المرآة المقعرة.



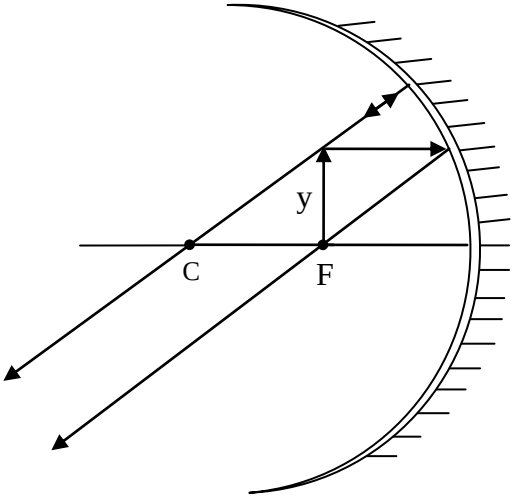
شكل (11-8-1)
عندما يكون الجسم على بعد أكبر من مركز التكور، تتكون له
صورة حقيقية مقلوبة أصغر من طول الجسم



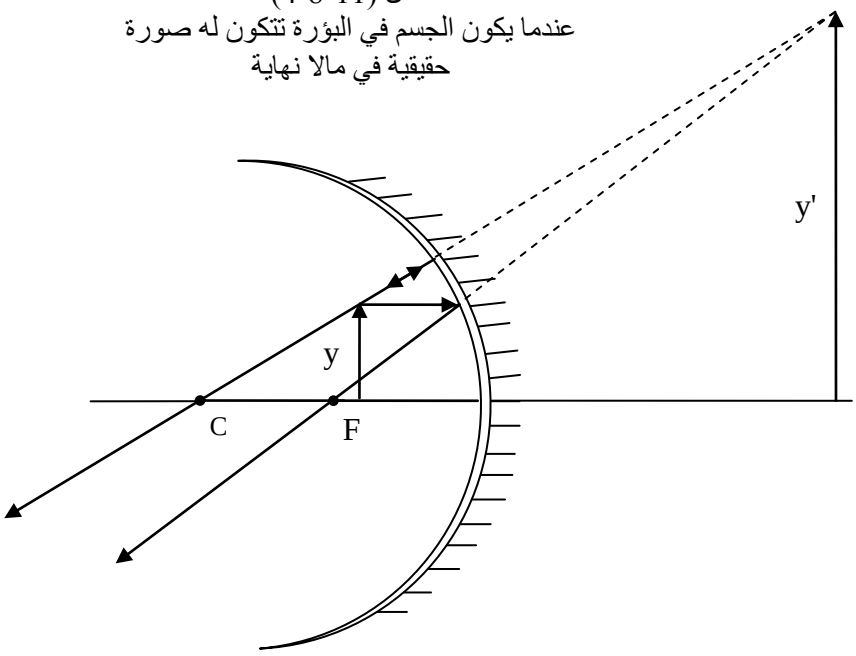
شكل (11-8-2)
عندما يكون الجسم عند مركز التكور تتكون له صورة حقيقية عند نفس
المسافة و تكون الصورة مقلوبة و طولها يساوي طول الجسم



شكل (11-8-3)
عندما يكون الجسم بين مركز التكور والبؤرة تتكون
صورة حقيقية مقلوبة اكبر من طول الجسم



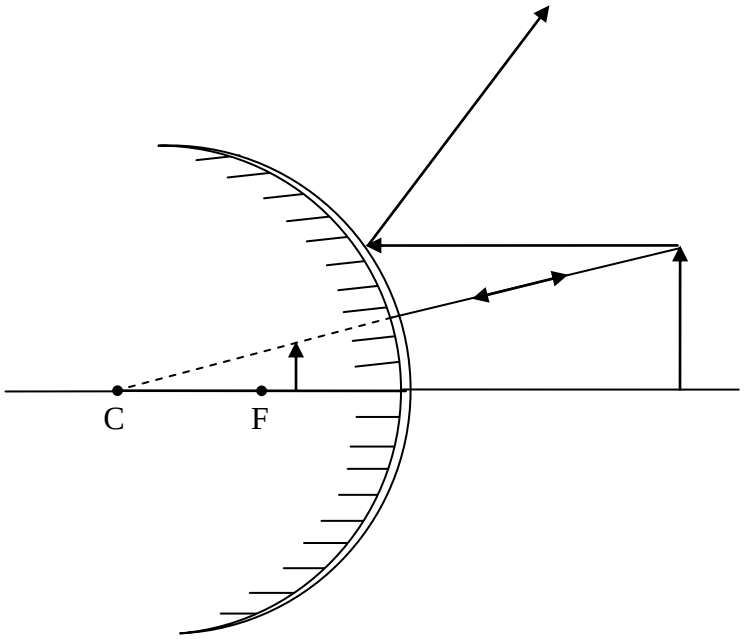
شكل (11-8-4)
عندما يكون الجسم في البؤرة تتكون له صورة
حقيقية في مالا نهاية



شكل (11-8-5)عندما يكون الجسم على بعد أقل من
البعد البؤري تتكون له صورة تخيلية معتدلة مكبرة

s.google.com/site/hasanmaridi

وعندما تكون المرآة محدبة ، أي أن بؤرتها تقديرية ، فإن جميع الصور المتكونة للجسم تكون صورا تقديرية معتدلة ، والشكل (11-9) يوضح أحد هذه الحالات:



شكل (11-9)
جميع الصور المتكونة للجسم تكون صوراً تقديرية معتدلة

11-11 الصور المتكونة بالانكسار Images Formed by Refraction

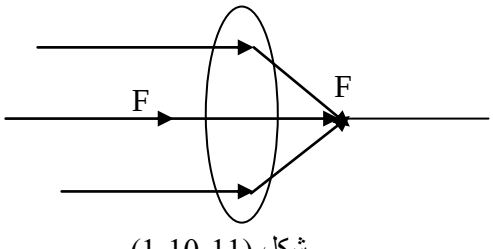
نناقش هنا انكسار الضوء خلال العدسات الرقيقة، والعدسة الرقيقة مصنوعة من مادة شفافة بحيث يكون سطحها جزء من كرة، وسمكها صغيرا مقارنة بخواصها البصرية مثل البعد البؤري وموضع الجسم وموضع الصورة. والشكل التالي يوضح نوعين من هذه العدسات هما:

1- العدسة المحدبة convex lens

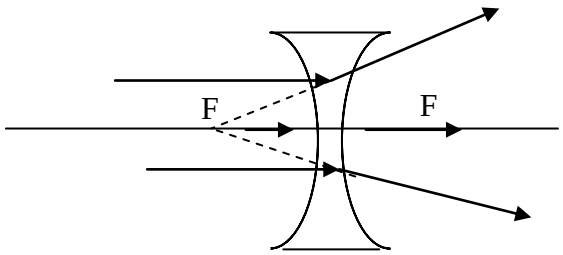
تسمى أيضا العدسة اللامة conversing lens وذلك لأنها تجمع الأشعة المنكسرة. (شكل 11-10-1)

2- العدسة المقعرة concave lens

تسمى أيضا العدسة المفرقة diverging lens وذلك لأنها تفرق الأشعة المنكسرة. (شكل 11-10-2)



شكل (11-10-1)
عدسة محدبة أو لامة



شكل (11-10-2)
عدسة مقعرة أو مفرقة

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

1- المحور الأصلي Principle

وهو المحور الذي يصل بين مركزي تكور سطحي العدسة ومركز العدسة

2- المركز البصري optical center

وهو المركز الهندسي للعدسة.

3- 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).

4- البعد البؤري focal length (f)

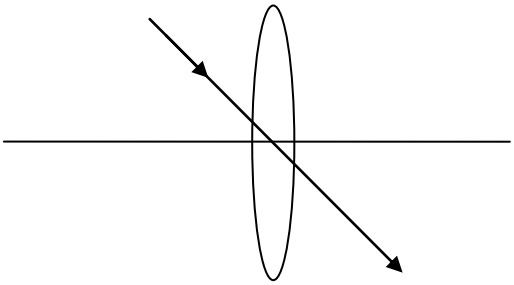
هو المسافة بين بؤرة العدسة والمركز البصري لها.

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

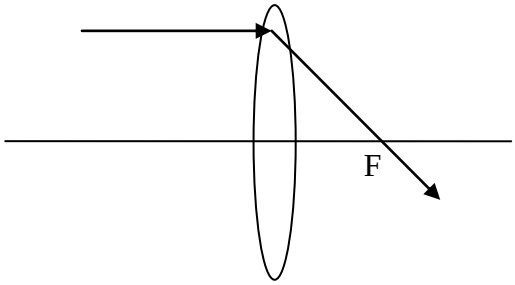
1- شعاع يمر بمركز العدسة فلا يعاني أي انكسار (شكل 11-11-1).

2- شعاع موازي للمحور الأصلي فينكسر مارا بالبؤرة (شكل 11-11-2).

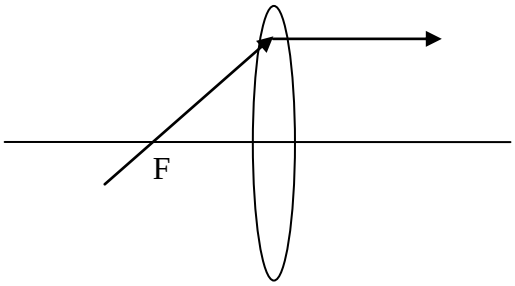
3- شعاع مار بالبؤرة فينكسر موازيا للمحور الأصلي (شكل 11-11-3).



شكل (11-11-1) الشعاع الذي يسقط مارا بمركز العدسة لا يعاني أي انكسار

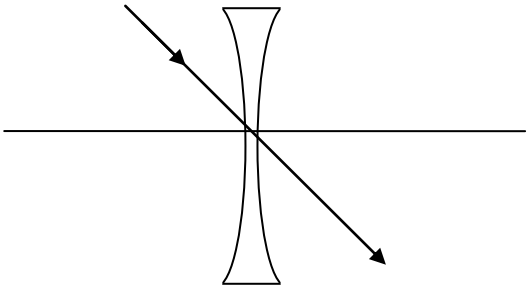


شكل (11-11-2) الشعاع الذي يسقط موازيا للمحور الأصلي للعدسة ينكسر مارا بالبؤرة

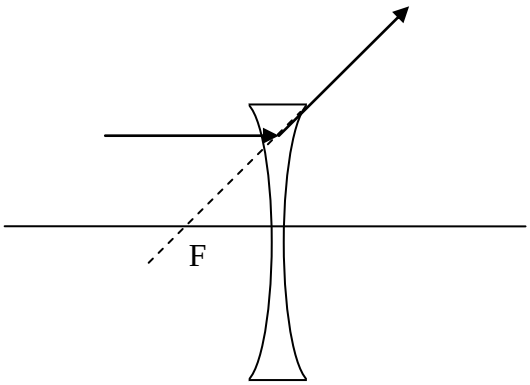


شكل (11-11-3) الشعاع الذي يسقط مارا بالبؤرة ينكسر موازيا للمحور الأصلي

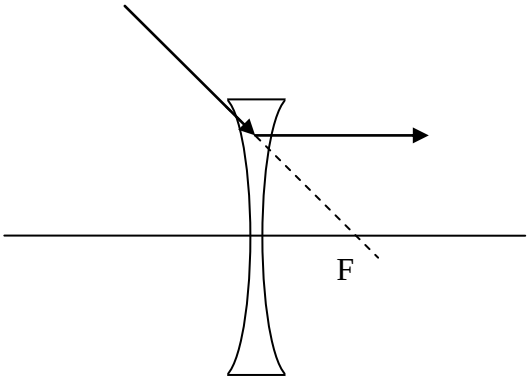
الأشكال التالية توضح كيفية انكسار الأشعة للعدسة المقعرة.



شكل (11-12-1) الشعاع الذي يسقط مارا بمركز العدسة لا يعاني أي انكسار



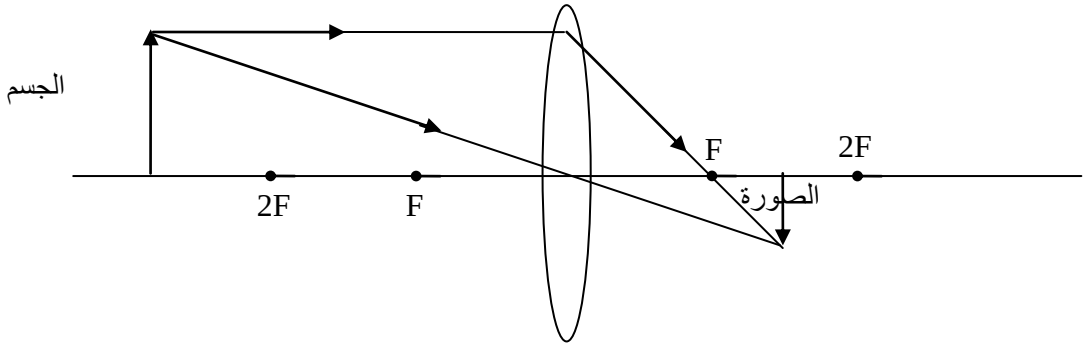
شكل (11-12-2) الشعاع الذي يسقط موازيا للمحور الأصلي للعدسة ينكسر بحيث يمر امتداده بالبؤرة



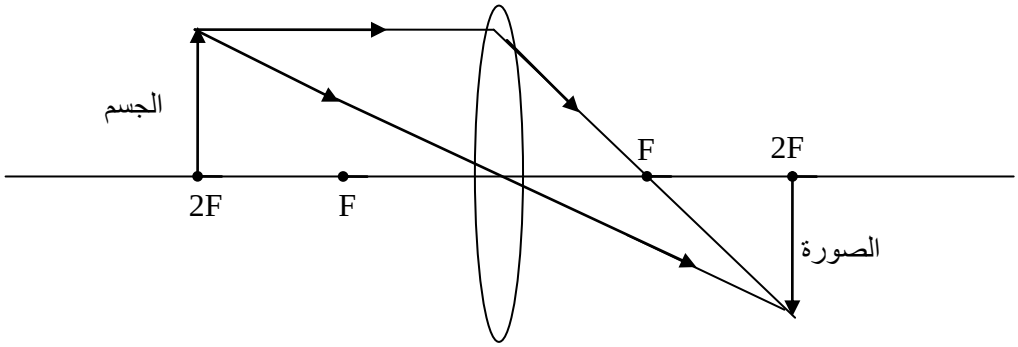
شكل (11-12-3) الشعاع الذي يسقط بحيث يمر امتداده بالبؤرة ينكسر موازيا للمحور الأصلي

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

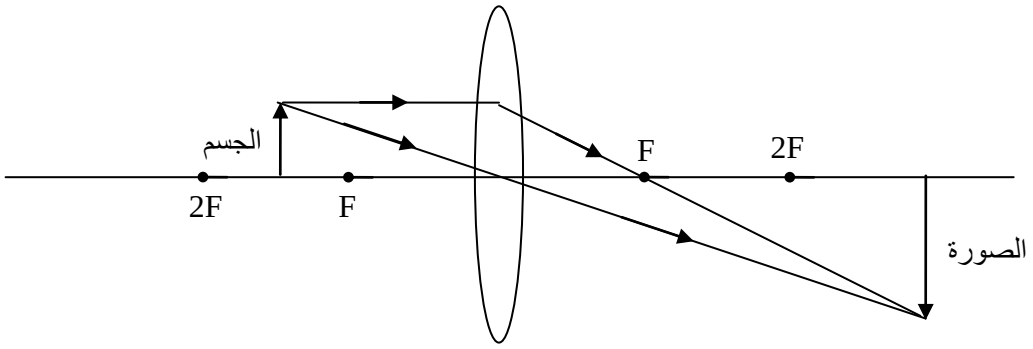
يمكن الإجابة على هذا السؤال من خلال الرسم كما هو موضح بالأشكال التالية (11-12 إلى 11-17) :



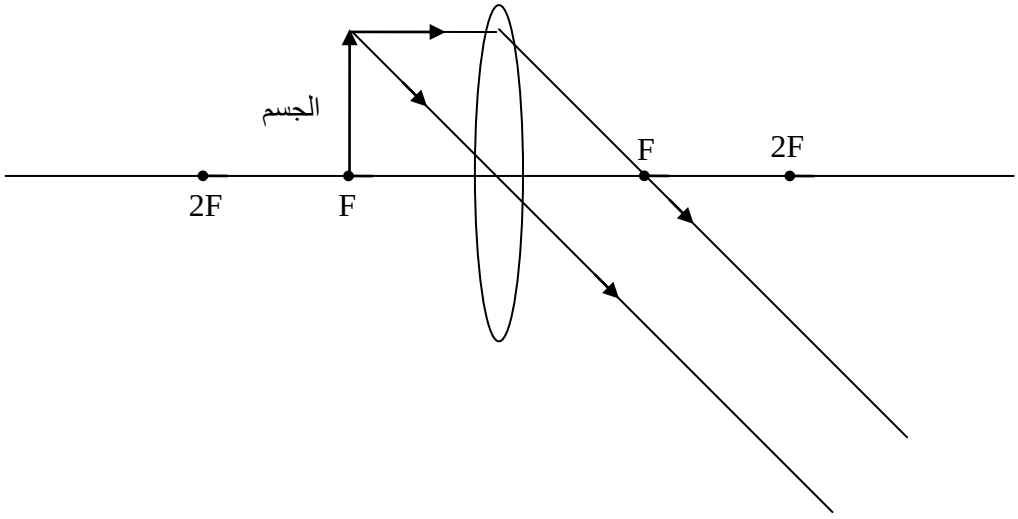
شكل (11-12) تتكون صورة حقيقية مقلوبة مصغرة عندما يكون الجسم على مسافة أبعد من ضعف البعد البؤري.



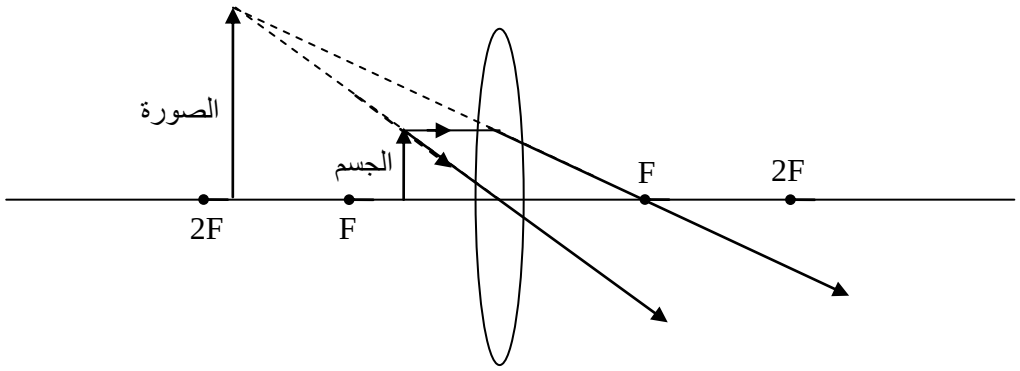
شكل (11-13) تتكون صورة حقيقية مقلوبة مساوية لحجم الجسم عندما يكون الجسم عند ضعف البعد البؤري.



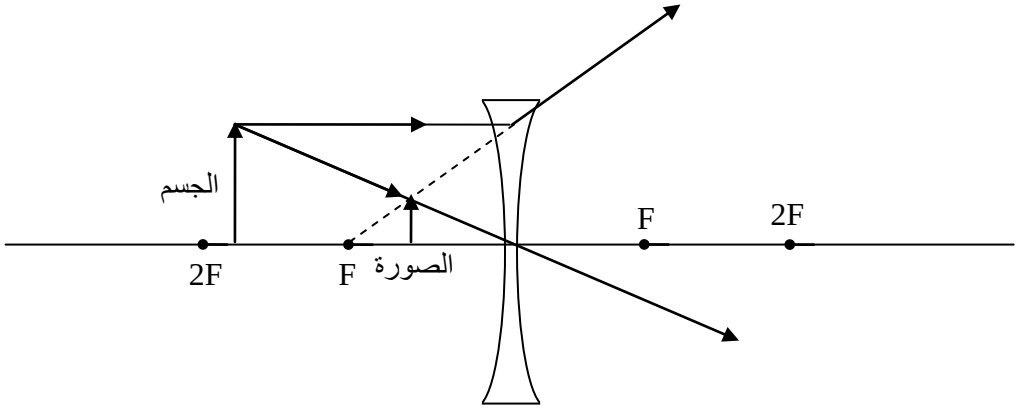
شكل (11-14) تتكون صورة حقيقية مقلوبة مكبرة عندما يكون موضع الجسم بين البعد البؤري وضعف البعد البؤري البؤري.



شكل (11-15) تتكون صورة حقيقية في مالانهاية للجسم عندما يكون موضع الجسم عند البعد البؤري.



شكل (11-16) تتكون صورة تقديرية معتدلة مكبرة عندما يكون الجسم بين البعد البؤري ومركز العدسة.

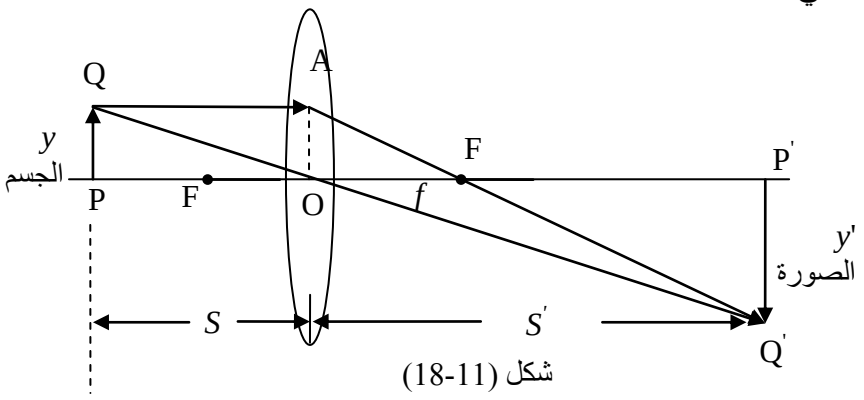


شكل (11-17) جميع الصور المتكونة في هذه الحالة تكون صورا تقديرية معتدلة مصغرة بغض النظر عن موضع الجسم.

12-11 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 (11-18)

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 'OP'Q ،OPQ نجد أن:

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

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

بمقارنة (1) ، (2) نجد أن

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

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

$$\boxed{\frac{1}{S}+\frac{1}{S'}=\frac{1}{f}} \quad (9\text{-}6)$$

وبالرغم من أن المعادلة (6-11) قد اشتقت للعدسة اللامة فإنه يمكن أن نشتقها للعدسة المفرقة ، وكذلك للمرآة المحدبة والمقعرة ، والمعادلة (6-11) تعرف بالقانون العام للمرايا والعدسات.

ولكن عند استخدام هذا القانون يجب مراعاة التالي:

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

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

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

4- 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 :

$$\boxed{m=\frac{y'}{y}=\frac{S'}{S}} \quad (11\text{-}7)$$

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

مثال (11-4)

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

الحل:

Y=5cm S=4cm F=+5cm S′=? 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

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

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

$$y'=5\times5=25cm$$

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

قارن هذه النتيجة مع الشكل (11-8-5) 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 (11-5)

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

الحل:

y=5cm S=40cm F=15cm S′=? 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:

1- الصورة ستكون مصغرة.

2- الصورة حقيقية لان بعدها موجب.

3- الصورة مقلوبة.

قارن هذه النتيجة مع الشكل (11-8-1).

التكبير في المرآة: $m=\frac{y'}{y}=\frac{3}{5}=0.6<1$

وحيث أن $m<1$ فان الصورة تكون مصغرة.

مثال (11-6)

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 (11-7)

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 $y' > y$.

الاجهزة البصرية

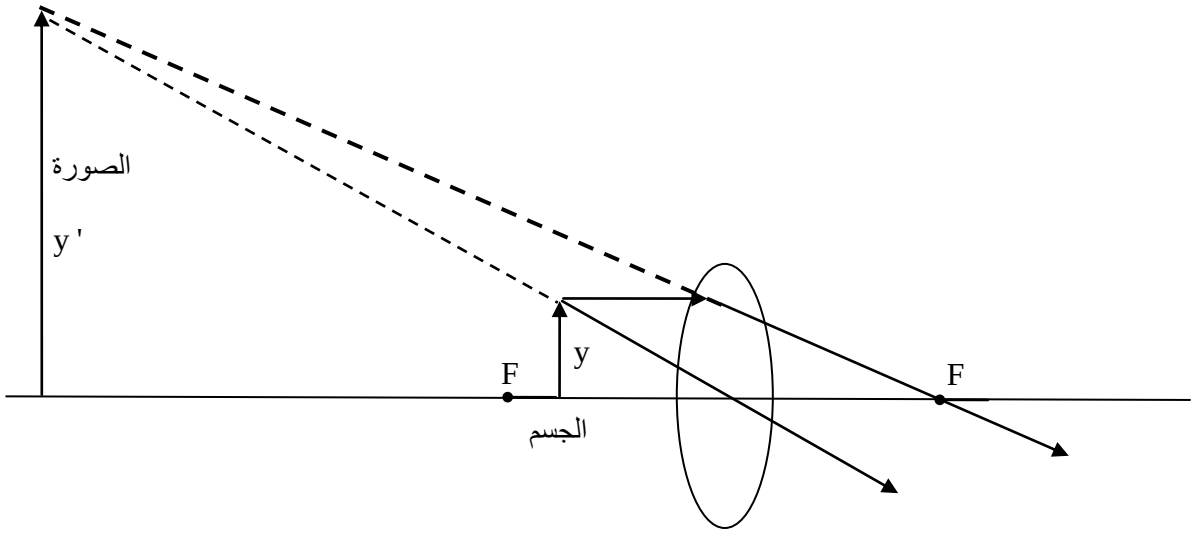
Optical instruments

13-11 المجهر البسيط Simple microscope

المجهر البسيط شكل (11-19) 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:

$$\boxed{m=\frac{S'}{S}=\frac{25cm}{S}} \qquad (11\text{-}8)$$

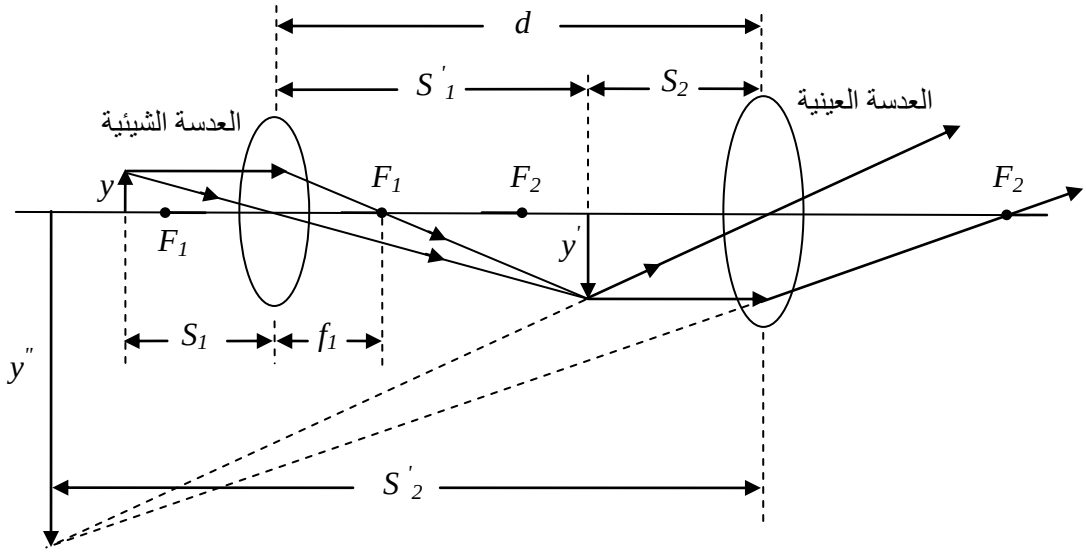
حيث S مقاسة بوحدة السنتيمتر.



شكل (5-19) المجهر البسيط

14-11 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 (11-20) يوضح عمل المجهرالمركب .



شكل (11-20) المجهر

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

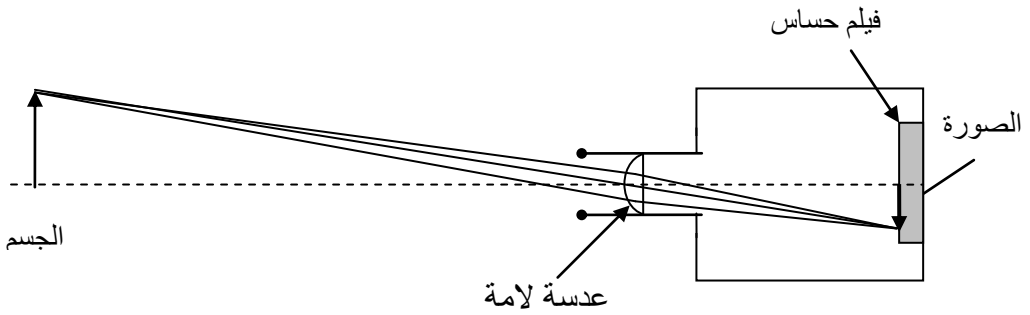
$$m = \frac{y''}{y} = \frac{y''}{y'} = \frac{y''}{y'} \bullet \frac{y'}{y} = m_2 m_1$$

$$\therefore m = m_1 m_2 \qquad (9\text{-}11)$$

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

15-11 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 (11-21).

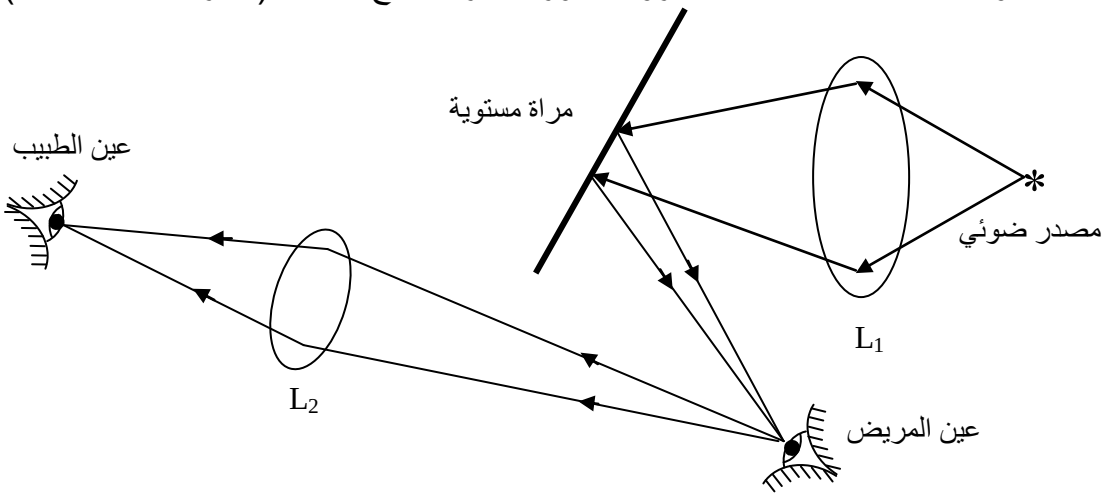


شكل 11-21) آلة التصوير

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

16-11 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 11-22) .



شكل (11-22) المعيان

مسائل على الفصل الحادي عشر

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

2- 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.

3- 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.

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

أ- جد اتجاه الشعاع المنعكس (θ_r = ?)

ب- جد اتجاه الشعاع المنكسر (θ_2= ?).

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

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

أ- البعد البؤري للعدسة. ب- طول الصورة.

7- 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.

الفصل الثاني عشر: الفيزياء النووية والنشاط الاشعاعي
Nuclear Physics and Radioactivity

1-12 الذرة والنواة The Atom and Nucleus

الذرة هي الوحدة الأساسية التي تكون المادة. وقد ظلت محاولة معرفة تركيبها التحدي الأكبر الذي واجه العديد من العلماء في العصور القديمة حتى أوائل القرن العشرين حين وضعت النظرية الذرية الحديثة كما رأينا.

تتكون الذرة (حسب التصور الحديث) من منطقتين أساسيتين هما: المركز المتناهي الصغر الذي تتركز فيه الشحنات الموجبة، وهذه المنطقة لا يتجاوز نصف قطرها 10^{-15} متر، وهي ما يطلق عليها **النواة**، ويحيط بهذه النواة فراغ هائل تسير فيه الإلكترونات ذات الشحنة السالبة ليكون نصف القطر الذري مساويا 10^{-10}متر.

إذا **الذرة The Atom:** تتكون من جسيم صغير يسمى النواة ويحيط بالنواة جسيمات صغيرة تسمى الإلكترونات تدور حولها في مدارات معينة.

أما **النواة The Nucleus** : فيها تتمركز كتلة الذرة ويبلغ نصف قطرها حوالي 10^{-15} متر (فرمي)، في حين يصل نصف قطر الذرة حوالي 10^{-10} متر (انجستروم). والنواة بدورها تتركب من نوعين من الجسيمات المتناهية الصغر تعرف بالبروتونات والنيوترونات، ويعود تعادل الذرة إلى تساوي عدد البروتونات مع عدد الإلكترونات واختلافهما في الشحنة.

وحدة الكتلة الذرية (Atomic Mass Unit (a.m.u.:

تستخدم لقياس كتل الأنوية وتساوي كتلة ذرة الهيدروجين، وهي تساوي 12/1 من كتلة ذرة الكربون.

بما أن الوزن الذري للهيدروجين يساوي واحد وبما أن الوزن الذري للعنصر يحتوي على عدد أفوجادرو من الذرات إذا:

1 gram contains 6.203×10^{23} atom

إذا وزن ذرة الهيدروجين = $1/6.203 \times 10^{23}$

$= 1.661 \times 10^{-27}$ kg = a.m.u.

البروتونات The Proton: البروتون عبارة عن جسيم صغير تبلغ كتلته 1.67×10^{-27} كجم (1.007277 amu) وهو أكبر من الإلكترون بحوالي 1839 مرة وحمل شحنة كهربائية مساوية لشحنة الإلكترون ولكنها موجبة.

النيوترونات The Neutron : النيوترون عبارة عن جسيم صغير متعادل الشحنة مساوي تقريبا للبروتون في الكتلة (1.008665 amu) وغالبا يعتبر النيوترون عبارة عن اتحاد بروتون وإلكترون.

النيوكليونـات The Nucleons: هـو اسـم يطلـق علـى الجسـيمات النوويـة، أي البروتونـات والنيوترونـات ومجموع عددها هو عدد الكتلة إذن فهو مسمى مشترك لكل من البروتون والنيوترون

العدد الذري (Z) The Atomic Number : هو عدد البروتونات ويساوي عدد الإلكترونات للذرة المتعادلة ويرمز له بالرمز Z ويعين العدد الذري الخصائص الكيميائية للذرة وبالتالي يحدد العنصر.

عدد الكتلة (A) The Mass Number: هو مجموع أعداد البروتونات والنيوترونات المكونة لنواة أي عنصر وهو عدد صحيح ويرمز له بالرمز A.

النظائر Isotopes: هي أشكال مختلفة من ذرات العنصر نفسه يكون لها نفس العدد من البروتونات (العدد الذري) ولكنها تختلف في عدد (عدد النيوترونات). ومن أمثلتها:

نظائر الهيدروجين وهي : $^{1}_{1}H$, $^{2}_{1}H$, $^{3}_{1}H$,

نظائر الصوديوم وهي : $^{22}_{11}Na$, $^{23}_{11}Na$, $^{24}_{11}Na$

نظائر الكلور وهي : $^{34}_{17}Cl$, , $^{35}_{17}Cl$, $^{36}_{17}Cl$, $^{37}_{17}Cl$ $^{38}_{17}Cl$

نظائر اليورانيوم وهي : $^{233}_{92}U$, $^{234}_{92}U$, $^{235}_{92}U$, $^{238}_{92}U$,

الترميز النووي : يقصد به طريقة كتابة العناصر بطريقة توضح العدد الذري وعدد الكتلة والطريقة كما هو موضح أعلاه تتم بكتابة عدد الكتلة إلى أعلى يسار رمز العنصر ويكتب العدد الذري أسفل يسار رمز العنصر كما يلي:

$$^{A}_{Z}X$$

ويمكن أن يشمل الترميز النووي عدد النيوترونات وهذه تكتب أسفل يمين رمز العنصر مثل

تمرين : اكتب الترميز النووي المناسب لما يأتي:

1- نواة تحتوي على 12 بروتون و 13 نيوترون.

2- نواة تحتوي على 44 بروتون و 62 نيوترون.

3- ذرة ألومنيوم تحتوي على 27 نيوكليون.

نصف قطر النوى Nuclear Radius

من التجارب العملية وجد أن حجم النواة V يتناسب طرديا مع العدد الكلي للنيوكلونات الموجودة في النواة أي أن

$V \alpha A$

وبما أن $V = 4/3\pi R^3$ لأن $u \alpha R$

$$A \alpha R^3$$

$$R^3 \alpha A$$

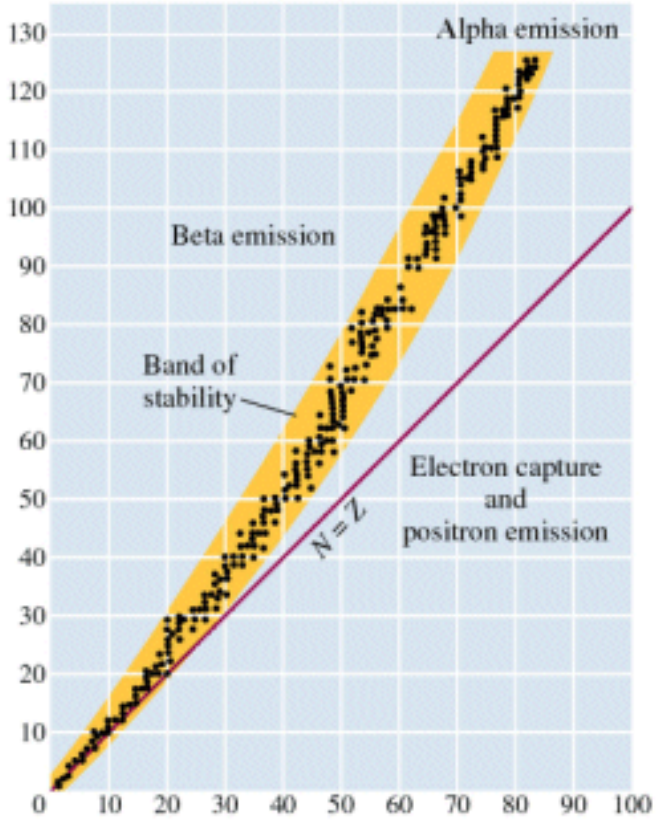
$$R = Const. \times A^{1/3}$$

وقد وجد أن هذا الثابت يساوي $1.4 \text{ fermi} = 1.4 \times 10^{-13} \text{ cm}$

إذا $R = 1.4 \times 10^{-13} A^{1/3} \text{ cm}$

2-12 استقرار النواة

يوجد في أنوية العناصر الخفيفة الثابتة عدد متساوي تقريبا من البروتونات والنيوترونات، إلا أنه بازدياد كتلة العنصر تزداد نسبة النيوترونات إلى البروتونات، وتظهر هذه الحقائق في الشكل (12-1) الذي يوضح العلاقة بين عدد النيوترونات وعدد البروتونات لعدد من النظائر.



شكل (12-1): حزام الثبات الذي يوضح العلاقة بين عدد النيوترونات والبروتونات.

نلاحظ أن الانحراف عن نسبة 1:1 يصبح واضحا عند عدد ذري من 20- 25 فأكثر، وفي هذا الشكل فإن النقط الواقعة على المنطقة المتعرجة أو حزام الثبات، تمثل نظائر ثابتة، أما النقط التي تقع خارج هذه المنطقة فتمثل عناصر مشعة. ونلاحظ أنه بعد البزموث تكون جميع الأنوية غير مستقرة تجاه انحلال النشاط الإشعاعي بانبعاث جسيمات ألفا في حين أن يكون بعضها غير مستقر أيضا تجاه انحلال بيتا.

الخواص الدورية للأنوية (الأعداد السحرية):

كما هو معروف فإن الخواص الكيميائية للعناصر تتكرر دوريا بعد الأعداد الذرية 2، 10، 18، 36، 54، 86. وعلى هذا الأساس تم وضع الجدول الدوري للعناصر. وبشكل مشابه فقد لوحظ أن خواص الأنوية تتكرر

بصورة دورية وتنتهي كل دورة عند الأعداد 2، 8، 20، 50، 82، 126 من النيوترونات أو البروتونات وهي الأعداد التي يطلق عليها الأعداد السحرية Magic Numbers .

وقد فسرت هذه المشاهدة على أساس أنه كما تعمل الإلكترونات في الذرات على الازدواج لتكوين روابط مستقرة كذلك فإن النيوكليونات ذات نفس النوع (بروتون – بروتون أو نيوترون – نيوترون) تعمل على الازدواج لتزيد من ثبات النواة، ووجد أن أكثر العناصر وجودا في الطبيعة سواء في القشرة الأرضية أو حتى الوجود الكوني هي العناصر الآتية:

$^{16}_{8}O_{8}$, $^{28}_{14}Si_{14}$, $^{118}_{50}Sn_{68}$, $^{88}_{38}Sr_{50}$, $^{89}_{39}Y_{50}$, $^{90}_{40}Zr_{50}$, $^{138}_{56}Ba_{82}$, $^{139}_{57}La_{82}$, $^{140}_{57}Ce_{82}$, $^{208}_{82}Pb_{126}$

وهذه العناصر كما هو واضح تحتوي على أعداد سحرية.

جدول (12-1): الطاقة اللازمة لنزع نيوترون واحد من نظائر الرصاص المختلفة.

النظير	N	الطاقة (مليون إلكترون فولت)
$^{205}_{82}Pb$	123	6.64
$^{206}_{82}Pb$	124	8.16
$^{207}_{82}Pb$	125	6.73
$^{208}_{82}Pb$	126	7.38
$^{209}_{82}Pb$	127	3.87
$^{210}_{82}Pb$	128	5.23
$^{211}_{82}Pb$	129	3.77

وحدة الطاقة الذرية Electron Volt (ev): وهي تستخدم لقياس الطاقة.

$1\ ev = 1.6x10^{-19}$ Joule

Million ev (Mev) $= 10^{6}$ ev $= 1.6x10^{-13}$ Joule

وحيث أن الطاقة = الوزن x سرعة الضوء أي : $E = m \times C^{2}$

1 a.m.u. = 931 Mev

3-12 طاقة الربط للنواة

تتعرض البروتونات الموجبة الشحنة داخل النواة إلى قوى تنافر تتناسب عكسيا مع مربع المسافة بين هذه البروتونات. وبما أن المسافة بين البروتونات صغيرة جدا فإنه من المتوقع أن تتحرر من النواة وبالتالي تتفكك

النواة ولكن هذا لا يحدث. وعدم حدوثه يعني أن هناك قوة أخرى جاذبة أقوى من قوة التنافر المذكورة وتعرف بالقوة النووية التي تؤثر على مكونات النواة (النيوكليونات).

ولقد تبين من دراسة تركيب النواة والتفاعلات النووية وقياس الأوزان الذرية باستخدام مطياف الكتلة أن الأوزان الذرية للعناصر أقل من مجموع أوزان مكونات النواة.

ΔM = Mass Deffect = النقص في الوزن

$$\Delta M = Z \text{ Proton Mass} + (A-Z) \text{ Neutron Mass} + Z \text{ Electron Mass} - MA$$

حيث أن MA هو الوزن الحقيقي للذرة.

$$Z \text{ Proton Mass} + Z \text{ Electron Mass} = Z \text{ Hydrogen Mass}$$

وزن البروتون + وزن الإلكترون = وزن ذرة الهيدروجين

إذا:

$$\Delta M = Z \text{ Hydrogen Mass} + (A-Z) \text{ Neutron Mass} - MA$$

وحسب قانون بقاء المادة الذي ينص على : **المادة لا تفنى ولا تستحدث من عدم** ، فإن هذا النقص في الوزن يتحول إلى طاقة وهذه الطاقة تستخدم في ربط الجسيمات الموجودة في النواة بعضها ببعض، وتعرف **بطاقة الربط**، ولتفكيك النواة إلى مكوناتها نحتاج إلى نفس هذا القدر من الطاقة وهذه تشبه حرارة التكوين في الكيمياء الحرارية.

العلاقة بين الكتلة والطاقة

في عام 1904م توصل أينشتاين Einstein إلى علاقة تربط الطاقة والكتلة واستنتج فيها أن كتلة الجسيم في الواقع هي مقياس لما يحتويه من طاقة. فإذا فقد الجسم بعضا من طاقته نقصت كتلته تبعا للمعادلة:

$$\mathbf{E = m\,C^2}$$

هذه العلاقة تنطبق على جميع أنواع الطاقة وليس على طاقة الحركة فقط، مما يعني أننا نستطيع أن نستخدمها لحساب الطاقة المتولدة في التفاعلات النووية، حيث لوحظ أن أي تفاعل تحلل نووي يكون مصحوبا بنقص في كتلة الأنوية الأم مقارنة بكتل الأنوية الوليدة، وهذا ما يجعل العلاقة السابقة كالآتي:

$$\mathbf{\Delta E = \Delta m_0\,C^2}$$

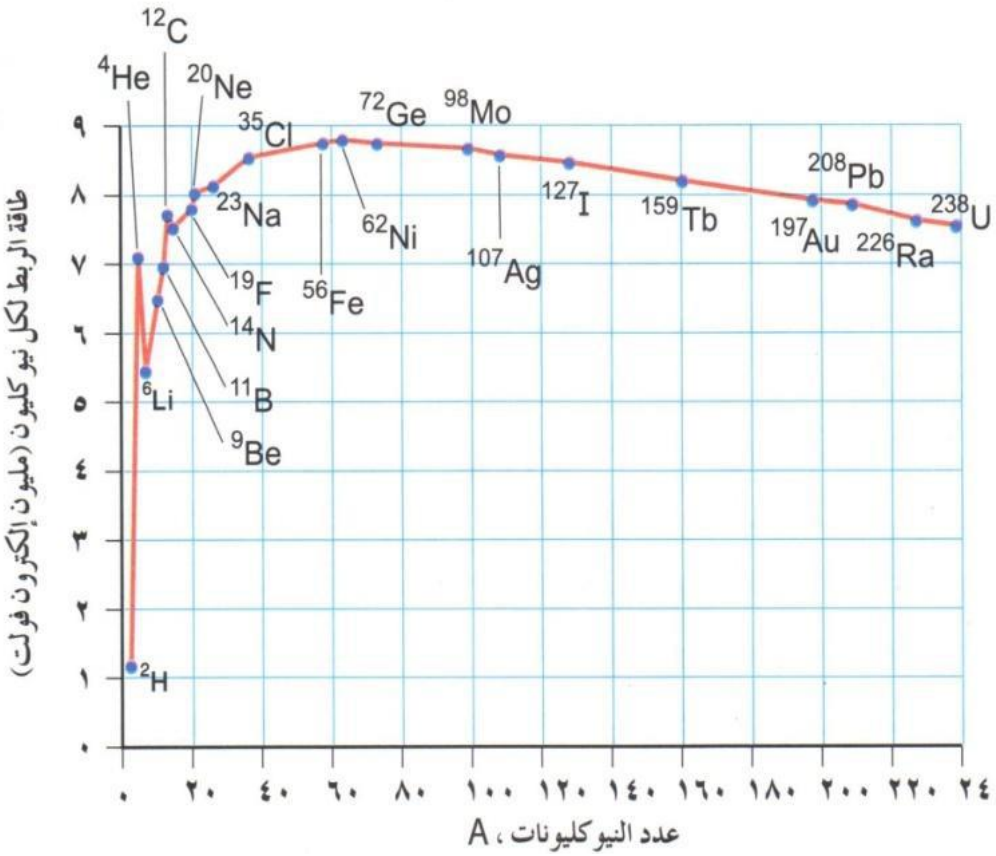
حيث أن Δm_0 هي التغير في الكتلة الساكنة، C هي سرعة الضوء و ΔE هي كمية الطاقة المنطلقة بعد حدوث التحلل . ولما كانت سرعة الضوء كبيرة وتساوي $3x10^8$ m/s فإن مقدارا ضئيلا من المادة يتحول إلى قدر هائل من الطاقة.

حيث أوضح أينشتاين في النظرية النسبية أن كتلة الجسم تتغير بتغير سرعته وعندما تصل سرعة الجسم إلى سرعة الضوء فإن الكتلة يجب أن تؤول إلى الصفر. ويمكن حساب الطاقة المصاحبة لوحدة الكتلة في الذرة والتي تساوي $1.66x10^{-27}$ كجم بأنها تساوي = 931 مليون إلكترون فولت (Mev) .

وتقاس أوزان الذرات أو النوى منسوبة إلى وزن نظير الكربون 12 ، حيث تعتبر كتلة هذا النظير مساوية 12.000 وحدة كتلة ذرية، وهي تكافئ $1.66x10^{-24}$ جم.

ولقد تم حساب متوسط طاقة الربط لكل نيوكلون للعناصر المختلفة واستخدامها كمقياس لمدى الاستقرار النووي.

متوسط طاقة الربط لكل نيوكلون = طاقة الربط الكلية / العدد الوزني = ΔE / A



شكل (12-2): منحنى طاقة الربط لكل نيوكليون للأنوية المستقرة كدالة لعدد الكتلة A.

ويوضح الشكل (12-2) العلاقة بين طاقة الربط لكل نيوكلون والعدد الوزني للعناصر المختلفة. حيث يوضح المنحنى أن طاقة الربط للنواة الخفيفة ^{2}H صغيرة جدا وهذا يدل على عدم استقرار هذه الأنوية. وتزداد قيمة ΔE/A إلى أن تصل قيمة عالية حوالي 8.8 مليون إلكترون فولت عند النويدات ذات وزن ذري 50 وبعدها تقل قيمة طاقة الربط كلما زاد الوزن الذري لتصل إلى 7.6 لليورانيوم (نواة غير مستقرة).

ومن المنحنى نجد أيضا أن طاقة الربط للأنوية التالية: ^{4}He, ^{12}C, ^{16}O أعلى من العناصر التي تجاورها وذلك لأنها أنوية مستقرة. وعلى ذلك فإن طاقة الربط لكل نيوكلون تعطي معلومات عن درجة ثبات النواة.

ويستنتج من ذلك أنه لو دمجت نواتا ذرتين خفيفتين فإن النواة الناتجة تكون أكثر استقرارا إلا أنه يفقد مقدار من الكتلة (نتيجة لعملية الدمج هذه) رغم أن

لنواة الجديدة تشمل مجموع محتويات النواتين، ويتحول المقدار المفقود من الكتلة إلى طاقة منتشرة وهذا ما يحدث في عملية الاندماج النووي Nuclear Fusion مثل:

$$^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}H \longrightarrow 2\ ^{4}_{2}He + Energy$$

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \longrightarrow \ ^{4}_{2}He + P + 18.35\ Mev$$

كذلك يصحب انشطار نواة ذات كتلة كبيرة إلى نواتين أو أكثر وتسمى هذه العملية بالانشطار النووي Nuclear Fission .

مسائل:

1- احسب طاقة الربط للهيليوم $^{4}_{2}He$ علما بأن:

وزن ذرة الهيليوم = 4.002604 amu

وزن البروتون = 1.007276 amu

وزن النيوترون= 1.008665 amu

وزن الإلكترون=0.00054858 amu

2- احسب طاقة الربط للألومنيوم $^{27}_{13}Al$ علما بأن وزن نظير الألومنيوم = 26.981539 mu

4-12 النشاط الاشعاعي Radioactivity

بعد أن قدم راذرفورد تجربته الشهيرة لدراسة تأثير دقائق ألفا على صفائح المعادن، كان من أهم الاستنتاجات التي وضعها هي: أن الجسيمات موجبة الشحنة تتجمع في جزء صغير من الذرة وهو النواة، وفيها أيضا تتجمع كتلة الذرة أي أن تجربته وضعت التصور الأول للنموذج النووي لتركيب الذرة، حيث كانت هذه التجربة خطوة مهمة في تطوير هذا العلم.

جدول (1-12): مقارنة بين كمية الطاقة المتحررة من التفاعلات النووية والتفاعلات الكيميائية.

التفاعل	المعادلة	نوعها	كمية الطاقة المتحررة (eV/molecule)
احتراق الكربون	$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$	كيميائي	4.1
انفجار $TNT^{(1)}$ مادة	$C_7H_5(NO_2)_3 \rightarrow$ explosion products	كيميائي	9.2
Co انحلال بيتا لـ	$^{60}Co \rightarrow Ni + \beta + energy$	نووي	$2.5x10^6$
الانشطار النووي	$^{235}U + ^{1}n \rightarrow$ fission products+ energy	نووي	$200x10^6$

اكتشف العالم الفرنسي هنري بيكريل H. Becquerel عام 1895م أن أملاح اليورانيوم تبعث إشعاعات تؤثر على الألواح الفوتوغرافية المغلفة، وقد ظن في البداية أنها هي نفسها الإشعاعات التي اكتشفها العالم الألماني روتنجن Rotingen والتي سميت الاشعة السينية x-rays ولكنه لاحظ أن الإشعاعات التي تنطلق

من أملاح اليورانيوم ذات قدرة عالية على الاختراق (تفوق قدرة الأشعة السينية) وأن هذه الظاهرة تحدث تلقائيا دون وجود مثير أو مستحث (مؤثر) خارجي مثل: (ضوء الشمس مثلا)، كما أكد أن اشعاعات مشابهة تصدر من جميع املاح اليورانيوم بغض النظر عن التركيب الكيميائي للملح وأن مركبات الثوريوم تعطي ظاهرة مشابهة.

وفي عام 1889م بدأ الزوجان بيير وماري كوري Pierre and Marie Curie أبحاثهما في هذا المجال، والتي مبنية على أساس ملاحظة أن بعض الخامات الطبيعية لليورانيوم (مثل البتشبلند) لها خواص إشعاعية أقوى من اليورانيوم النقي نفسه. وقد استنتجا من هذه الحقيقة أن هذه الخامات ربما تحتوي على عناصر أخرى غير اليورانيوم لها خاصية الإشعاع.

وقد شهد العام 1932م حدثا مهما تمثل في اكتشاف شادويك J. Chadwick لوجود النيوترون الذي انطلق من نواة البريليوم بعد قذفها بجسيمات ألفا ذات الطاقة العالية جدا، في تفاعل من النوع:

$$^{9}_{4}Be(\alpha,n)^{12}C$$

وكان لاكتشاف النيترون دور هام في تطوير امكانيات اجراء تفاعلات نووية عديدة، لأنه جسيم غير مشحون وهو قادر على اختراق النواة دون الحاجة لإكسابه طاقة عالية، وقد ساهمت هذه التفاعلات النووية في فهم الكثير عن طبيعة التركيب النووي.

والإشعاع النووي هو عبارة عن إشعاع جسيمي أو موجي ينتج أثناء الانحلال التلقائي للنواة غير المستقرة.

وهناك **ثلاثة أنواع للانحلال الإشعاعي** (الإشعاع النووي) هي:

أ. <u>أشعة ألفا Alpha ray α</u> ومن خصائص أشعة ألفا ما يلي:

* **أشعة ألفا** عبارة عن نواة ذرة الهيليوم كتلتها تساوي 4 وحدة كتلة ذرية (a.m.u.) وهي تحتوي على 2 بروتون و 2 نيوترون وتحمل شحنة تساوي +2 .
* تسير ببطء (سرعتها تساوي عشر(10/1) سرعة الضوء).
* لها قدرة كبيرة على تأيين ذرات الوسط الذي تسير فيه (حيث يمكنها تكوين عشرات الألوف من الأيونات في السنتيمتر الواحد).
* مدى أشعة ألفا في الهواء قصير يصل إلى بضع سنتيمترات (من 3-5 سم).
* يمكن إيقاف أشعة ألفا بواسطة ورقة أو رقائق الومينيوم سمكها 1000/1 من البوصة.
* أثناء مرور دقائق ألفا بالمادة فإنها تحدث تصادمات غير مرنة مع إلكترونات جزيئات المادة مسببة الإثارة والتأين لذرات تلك المادة.
* تأخذ دقائق ألفا مسارا مستقيما وتفقد جزء قليل من طاقتها بفعل تلك التصادمات.
* جميع دقائق ألفا لها نفس المدى من الطاقة وتتراوح طاقتها بين 4-9 مليون إلكترون فولت وذلك لأن دقائق ألفا الصادرة من العنصر الواحد لها نفس الطاقة.

ب. <u>أشعة بيتا Beta ray β</u> ومن خصائصها ما يلي:

*أشعة بيتا عبارة عن الكترون ذو شحنة سالبة ينبعث من النواة غير المستقرة نتيجة لتحول النيوترونات إلى بروتونات.

* تسير بسرعة تساوي تقريبا سرعة الضوء.

* تنبعث دقائق بيتا بطاقات مختلفة تأخذ قيما تتراوح بين الصفر إلى أعلى قيمة لها وتعتبر سرعتها صفة خاصة للعنصر المشع.

* تفقد دقائق بيتا معظم طاقتها عند مرورها من خلال المادة نتيجة التصادمات غير المرنة من إلكترونات تلك المادة، ونتيجة لذلك يكون مسار دقائق بيتا أكبر بكثير من مدى (مسار) اختراق دقائق ألفا لهذه المادة.

* يختلف مدى أشعة بيتا في الهواء حسب طاقتها، حيث يبدأ من بضعة سنتيمترات إلى متر تقريبا.

* يمكن إيقاف أشعة بيتا تماما بواسطة ورق سميك أو لوح من الزجاج أو من المعدن.

* يعتمد امتصاص أشعة بيتا على طاقتها.

* لها قدرة على تأيين الهواء ولكنها أقل بكثير من قدرة أشعة (جسيمات) ألفا على تأيين الهواء وذلك لصغر وزنها الذي يتراوح (1/1838 a.m.u.) من ذرة الهيدروجين وشحنتها تساوي الوحدة.

ج. أشعة جاما γ Gamma ray ومن خصائصها ما يلي:

*هي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ذات أصل نووي تشبه أشعة الضوء المرئي وموجات الراديو والأشعة السينية.

* طولها الموجي قصير جدا يتراوح (من 0.0003 إلى 0.03 نانوميتر) وهو يعادل وحدة الطاقة (من 40 Kev كيلو الكترون فولت إلى 4.0Mev مليون الكترون فولت).

* تنبعث أشعة جاما من المادة المشعة بشكل إشعاع أحادي الطاقة أو عدد قليل من طاقات منفردة مثل نظير ^{60}Co حيث يعطي نوعين من أشعة (طاقة) جاما γ وهي ذات الطاقة 1.332 و 1.173 مليون الكترون فولت.

* تفقد أشعة جاما معظم طاقتها خلال تداخل واحد مع المادة على عكس أشعة ألفا وبيتا اللتان تفقدان طاقتهما بصورة تدريجية.

* يمتص جزء من أشعة جاما الساقطة على المادة المحيطة امتصاصا كاملا، أما الجزء العابر غير الممتص فيحتفظ بطاقته الابتدائية كاملة، فإذا كان I يمثل عدد فوتونات γ النافذة خلال المادة الممتصة ذات السمك x وكان I_0 يمثل عدد الفوتونات الساقطة و μ معامل الامتصاص الكلي فإن المعادلة التي يمكن من خلالها معرفة عدد الفوتونات غير الممتصة من قبل المادة والتي تساوي (قانون بيير للامتصاص):

$$I = I_0 e^{\mu x}$$

وبما أن عدد الفوتونات يمثل النشاط الإشعاعي A فإن:

$$A = A_0 e^{-\mu x}$$

جدول (2) مقارنه بين اشعة اكس واشعة جاما :

اشعة اكس	اشعة جاما
1- تنبعث عندما تعاني الالكترونات المداريه تغيرا في موقعها بين المدارات	1- منشئها من نواة الذرة حيث تنتج من التغيرات التي تحصل في النواة
2- طيفها قد يكون مستمرا او احديا	2- طيفها مستمر
3- طيفها صفه مميزه للذرات	3- طيفها صفه مميزه للنواة
4- لا يمكن تمييز النظائر المختلفة بواسط طيفها	4- يمكن ان يستخدم طيفها للتمييز بين النظائر المختلفة

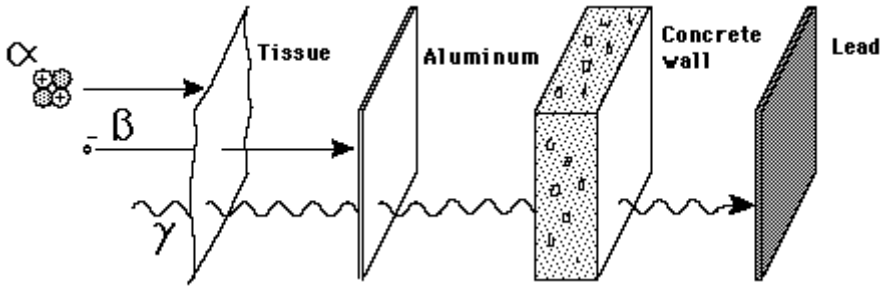
وليس لأشعة جاما مدى اختراق معروف في المادة المحيطة، وتستعمل قيمة السمك النصفي (Half Thickness Value) للتعبير عن ربط عدد الفوتونات مع سمك المادة الممتصة.

ويعرف السمك النصفي: بأنه سمك المادة الممتصة اللازم لاختزال شدة جاما (عدد الفوتونات النافذة) إلى النصف، ويمكن حسابه من المعادلة السابقة، إذا كانت قيمة معامل الامتصاص الكلي كما يلي:

$$\ln I/I_0 = -\mu x$$

$$\ln (I_0/2)/I_0 = -\mu x_{1/2} = \ln (1/2)$$

$$X_{1/2} = \ln 2/\mu = 0.693/\mu$$



4-12 العناصر المشعة

يعرف العنصر المشع بأنه عنصر يحتوي على نواة غير مستقرة تضمحل بانبعاث جسيمات نووية (ألفا – بيتا – جاما) لتصل إلى حالة الاستقرار. ويوجد نوعان من العناصر المشعة، طبيعية وصناعية:

أ-عناصر مشعة طبيعية: وهي التي توجد في الطبيعة وتنقسم العناصر المشعة الطبيعية إلى قسمين تبعا لمصدرهما إلى:

1-عناصر مشعة طبيعية كونية:

تتكون هذه العناصر نتيجة لتفاعل الأشعة الكونية (الأشعة الناتجة من الكواكب والشمس) بالمواد الموجودة في الفضاء، وينتج عن ذلك مواد مشعة مثل: ^{35}S, ^{32}P, ^{22}Na, ^{7}Be, ^{14}C, ^{3}H ومعظمها من العناصر الخفيفة، وتنتشر هذه العناصر على سطح الأرض.

2-عناصر مشعة طبيعية أرضية:

توجد هذه العناصر في القشرة الأرضية وتشمل كل المواد التي تحمل عدد ذري أكبر من 83، وتنتمي هذه المواد إلى السلاسل طويلة العمر ومن أهم هذه السلاسل سلسلة اليورانيوم 238 وسلسلة الثوريوم 232.

أ- سلسلة اليورانيوم 238 : وتبدأ هذه السلسلة بعنصر اليورانيوم 238 وتنتهي بعنصر الرصاص 206 الثابت ويتخللها غاز الرادون $^{222}_{86}Rn$.

ب- سلسلة الثوريوم 232: وتبدأ هذه السلسلة بالثوريوم 232 وتنتهي بالرصاص 208 ، ويتخللها غاز الرادون 220 ويسمى في هذه السلسلة بغاز الثوريون للتفرقة بينه وبين غاز الرادون في سلسلة اليورانيوم.

ب-عناصر مشعة صناعية: وهي التي تصنع بواسطة قذف العناصر الثابتة بواسطة ألفا أو البروتون أو النيوترون. ولقد تم في السنوات القليلة الماضية صنع مئات العناصر المشعة وذلك بواسطة قذف عناصر غير مشعة بواسطة قذائف مختلفة مثل: النيوترون أو البروتون لتتحول إلى عنصر مشع يستخدم في أغراض مختلفة مثل الطب والصناعة والزراعة وفي الحروب. **ومن أمثلة ذلك عناصر تستخدم في الطب مثل:**

^{67}Ga, ^{201}Th, ^{123}I, ^{111}In, ^{81}Ru, ^{15}N, ^{18}F, ^{134}Cs, ^{95}Te

الجاليوم-67 ، الثاليوم-201 ، اليود-123 ، الإنديوم-111 ، الروبيديوم-81 ، النيتروجين-15 ، الفلور-18 ، السيزيوم-134 .

ومن أمثلة العناصر التي تستخدم في الصناعة:

لمعرفة المستوى ^{134}Cs , ^{60}Co وفي التصوير ^{124}Sb ، وفي أبحاث الأدوية ^{14}C , ^{3}H وفي اختبار اللحامات(الاختبارات اللا إتلافية) ^{192}Ir .

النشاط الإشعاعي Radioactivity

والنشاط الإشعاعي عبارة عن تفكك (اضمحلال) نواة النظير تلقائيا إلى نواة أصغر بإصدار جسيمات نووية مثل جسيمات ألفا أو بيتا أجاما، وتعرف هذه النظائر بالنظائر المشعة تميزا لها عن تلك النظائر المستقرة والتي لا تتعرض للتفكك Decay ولا تعتمد عملية التفكك على أي من الظروف الطبيعية مثل: الحرارة والرطوبة والضغط، كما أنها لا تعتمد أيضا على الظروف الكيميائية مثل: نوع المركب الكيميائي أو حالة النظير صلبة أو سائلة أو غازية.

1-التفكك بواسطة ألفا α-Decay

إن النوى الثقيلة (أثقل من الرصاص) تكون قيمة الترابط للنيوكلون فيها ضعيفة، لذلك فإنها تعتبر غير مستقرة فتلجأ إلى أن تتفكك إلى أنوية أخف وأكثر استقرارا.

فمثلا: تتفكك نواة اليورانيوم $^{238}_{92}U$ إلى نواة الثوريوم $^{234}_{90}Th$ الأخف وينطلق نتيجة لذلك جسيم ألفا

$$^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}H$$

2-التفكك بواسطة بيتا β-Decay

ينقسم تفكك بيتا إلى ثلاثة أنواع.

أ. التفكك الإلكتروني (النيجاترون) β^- Decay :

إذا قل عدد البروتونات عن عدد النيوترونات فإن هذا يعني أن النواة تحاول أن تصل إلى حالة الاستقرار وذلك عن طريق تحول اليوترون إلى بروتون كالتالي:

$$^{1}_{0}n \longrightarrow \quad ^{1}_{1}P \; + \; ^{0}_{-1}e$$

ونتيجة لذلك ينطلق إلكترون سالب الشحنة خارج النواة بسرعة تساوي سرعة الضوء وطلق عليه جسيم β أو النيجاترون

ب. التفكك البوزيتروني Positron Decay :

إذا قل عدد النيترونات عن عدد البروتونات فإن النواة تحاول أن تستقر عن طريق تحول أحد البروتونات إلى نيوترون وينطلق نتيجة لهذا التحول جسيم موجب الشحنة يعرف بإسم البوزيترون.

$$^{1}_{1}P \longrightarrow \quad ^{1}_{0}n \; + \; ^{0}_{+1}\beta^{+}$$

وعدد خروج البوزيترون من النواة يفقد طاقته وذلك بإصطدامه بالذرات الأخرى وحينئذ تيحد مع أحد الإلكترونات خارج النواة ويتحول الثنان إلى أشعة جاما (2 فوتون متساويين في الطاقة وطاقة كل منهما تساوي 0.511Mev). ويمكن حسابها كالتالي:

$$E = mC^2$$

وزن الإلكترون = 9.1095×10^{-31} Kg

سرعة الضوء = 2.998×10^{8} m/sec

إذا تكون الطاقة المنطلقة = 1.6375×10^{-13} J $= 9.1095 \times 10^{-31} \times (2.998 \times 10^{8})^2 \times 2$

$= 1.022 \times 10^{6}$ ev $= 1.022$ Mev $= (1.6375 \times 10^{-13})/(1.6022 \times 10^{-19})$

وهذه طاقة 2 فوتون، وكل فوتون يحمل طاقة قدرها 0.511 Mev وهي أشعة خارقة يمكن قياسها بسهولة لذلك يمكن استخدام النظائر التي تشع بوزيترون في الكيمياء لإقتفاء الأثر.

ج. الأسرالإلكتروني Electron Capture(EC) :

عندما يكون النظير غني بالبروتونات ولكن الطاقة الناتجة عن تحويل بروتون إلى نيوترون أقل من 1.022 Mev فلا يمكن حدوث تفكك بوزيتروني ولكن تأسر النواة أحد الإلكترونات الذرية في المدار الأول ثم يتحد مع أحد البروتونات داخل النواة فيتحول هذا البروتون إلى نيوترون دون انطلاق أي جسيمات بيتا خارج النواة

$$^{1}_{1}P \; + \; ^{0}_{-1}e \longrightarrow \quad ^{1}_{0}n$$

وأقرب إلكترون للنواة هو الإلكترون الذي في المدار K ولهذا يطلق عليه الأسر (K-K Capture) ، وينزل الإلكترون في المدار الأعلى ليملأ فراغ هذا الإلكترون. وهكذا حتى تصل إلى المدار الأخير. وتخرج أشعة

نتيجة لترتيب الإلكترونات في المدارات هي أشعة إكس (x-ray) . ويمكن الاستدلال على الأسر الإلكتروني في النظائر بواسطة أشعة إكس الناتجة.

3. التفكك بواسطة أشعة جاما:

رأينا فيما سبق أن انبعاث جسيمات ألفا أو بيتا يعطي نواة الابنة في حالة غير مستقرة وعلى هذا فإن النواة تفقد طاقة مساوية لفرق الطاقة بين الحالة المستقرة والحلة غير المستقرة. وهذه الطاقة تفقد على هيئة أشعة ذات طول موجي قصير تسمى أشعة جاما.

6.2. قانون التفكك

عند ملاحظة التفكك الإشعاعي للعناصر المشعة وجد أن معدل التفكك في وحدة الزمن يتناسب مع العدد الكلي للذرات المشعة الموجودة. وعلى ذلك فإن ΔN عدد الذرات التي تتفكك في زمن قدره Δt يتناسب مع عدد الذرات المشعة N الموجودة عنج الزمن t أي أن:

$$-\Delta N/\Delta t \; \alpha \; N$$

$$-\Delta N/\Delta t = Const. \times N$$

$$-\Delta N/\Delta t = \lambda N$$

حيث أن λ ثابت التناسب ويسمى ثابت التفكك وهو خاص بكل عنصر وتختلف قيمته من عنصر لآخر. وبإعادة ترتيب المعادلة نجد أن:

$$\Delta N/N = -\lambda \Delta t$$

وبالتكامل ينتج:

$$\ln N + Const. = -\lambda t$$

بالتعويض في المعادلة بـ $t=0$ و $N=N_0$ ينتج:

$$\ln N_0 + Const. = 0$$

$$Const. = -\ln N_0$$

بالتعويض في المعادلة:

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda t$$

$$\ln (N/N_0) = -\lambda t$$

$$N/N_0 = e^{-\lambda t}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

ومن الناحية العملية لا يمكن قياس عدد الذرات الموجودة عند الزمن الابتدائي $t_0 = 0$ وعدد الذرات الموجودة بعد زمن معين t، ولكن عمليا يمكن قياس النشاط الإشعاعي للعنصر A وهو يتناسب مع عدد الذرات (الأنوية) الموجودة N . وتصبح المعادلة السابقة على الصورة:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

حيث أن A هي النشاط الإشعاعي للعنصر وهو عبارة عن عدد التفكك في الثانية. وهناك طرق عديدة لرسم العلاقة بين الانحلال الإشعاعي والزمن منها:

1-رسم العلاقة بين نسبة النشاط الإشعاعي مع الزمن كما هو موضح بالشكل (12-3):

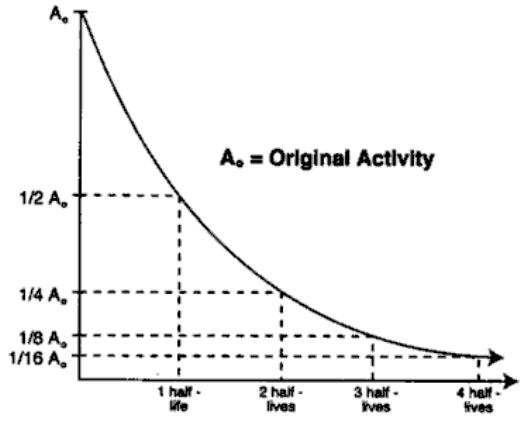


Figure 2-X. Radioactive Decay Plotted in Linear Form

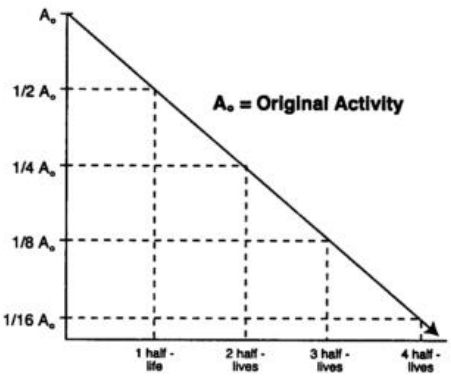


Figure 2-XI. Radioactive Decay Plotted in Semilogarithmic Form

شكل (12-3): العلاقة بين نسبة النشاط الإشعاعي والزمن.

2.رسم العلاقة بين لوغاريتم النشاط الإشعاعي A (للأساس 10 أو اللوغاريتم الطبيعي log or ln) والزمن.

$$\ln A = \ln A_0 - \lambda t$$

$$2.303 \log A = 2.303 \log A_0 - \lambda t$$

$$\log A = \log A_0 - \lambda / 2.303\ t$$

نلاحظ أن المعادلتين معادلة خط مستقيم وهي تمثل كالتالي:

$$Y = mx - C$$

حيث وجد أن وحدات $\lambda = 1/t = \sec^{-1}$ or $\min^{-1}$ or h^{-1}

وهي علاقة خط مستقيم في المنحيين ويكون الميل في الشكل الأول يساوي λ– وفي الشكل الثاني يساوي – λ/2.303 والجزء المقطوع في الشكل الأول يساوي $\ln A_0$ وفي الشكل الثاني $\log A_0$.

وبقياس النشاط الإشعاعي لأي عنصر في أي أزمنة ورسم العلاقة بين لوغاريثم النشاط الإشعاعي والزمن يمكن حساب ثابت التفكك لهذا العنصر الذي هو مميز ومنه يمكن التعرف على العنصر.

7.2. عمر النصف $T_{1/2}$

يعرف عمر النصف بأنه الزمن اللازم لتفكك نصف الذرات المشعة الموجودة أي عندما يكون الزمن $t = T_{1/2}$ فإن :

$$A = 1/2A_0$$

$$A = A_0 e^{\lambda t}$$

$$A_0/2 = A_0\, e^{-\Lambda t_{1/2}}$$

$$½ = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$2 = e^{\Lambda t_{1/2}}$$

$$\ln 2 = \lambda t_{1/2}$$

$$T_{1/2} = \ln 2/\lambda = 0.693/\lambda$$

فترة عمر النصف هي عبارة عن قيمة ثابتة لكل عنصر وتستعمل للتعرف على النظائر المشعة.

مسائل وتمارين:

1- النشاط الإشعاعي لنظير مشع يساوي 5000 تفكك في الثانية عند قياسه في بداية الزمن، وبعد 90 ثانية كان النشاط الإشعاعي 1500 تفكك في الثانية. احسب ثابت الانحلال؟

2- وجد أن معدل التفكك (النشاط الإشعاعي) لعينة يساوي 16000 تفكك في الدقيقة عند الساعة التاسعة في يوم معين. ما هو النشاط الإشعاعي لهذه العينة في الساعة 21 من اليوم التالي، علما بأن عمر النصف لهذه العينة هو 15 ساعة؟

3- أوجد النشاط الإشعاعي بعد مرور عشر أضعاف عمر النصف؟

4- ما هو سمك الرصاص اللازم لتقليل شدة الإشعاع من 160 بيكريل إلى 10 بيكريل إذا علمت أن السمك النصفي للرصاص يساوي 125 سم؟

5-12 وحدات النشاط الإشعاعي

تعرف وحدة الكوري Curi Unit (Ci) بأنها عدد التفكك في الثانية لجرام واحد من اليورانيوم 226 ، واستنادا إلى عمر النصف المساوي 1580 سنة يكون معدل انحلال جرام واحد من الراديوم 226 .

$$A = A_0\, e^{-\lambda t} = A_0\, e^{-0.693/T_{1/2}\, t}$$

ملاحظة: الوزن الذري يحتوي على عدد أفوجادروا من الذرات.

حيث A_0 هي عدد الذرات الموجودة في جرام واحد من الراديوم = $6.02x10^{23}$ / 226.1

$$T = 1 \text{ sec.}$$

$$T_{1/2} = 1580x365x24x60x60$$

إذا النشاط الإشعاعي لواحد جرام راديوم كوري

$$A= (6.02x10^{23} x0.693x1)/(226.1x1580x365x24x60x60) = 3.7x10^{10} \text{ dps}$$

dps = تفكك لكل ثانية disintegration per second

وقد وجد أن هذه الوحدة كبيرة فقد تم استخدام وحدة الإشعاع في نظام SI البيكريل وهو عبارة عن تفكك واحد في الثانية ويساوي $1/3.7x10^{10}$ من الكوري.

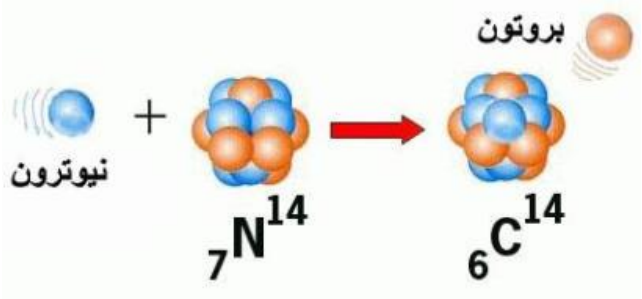
$1\ Bq = 1\ dps = 1/3.7x10^{10}$ Ci $1\ Bq = 2.7x10^{-11}$ Ci

الفصل الثالث: التفاعلات النووية

6-12 التفاعلات النووية

يتم التفاعل النووي بين نواة العنصر، وتسمى الهدف وجسيم له طاقة حركة يسمى القذيفة هذا الجسيم إما أن يكون ذات شحنة كبيرة مثل البروتون p ، الديوترون d ، جسيم ألفا α . أو أن يكون متعادل مثل النيوترون n وتتحد القذيفة بالهدف ليكونا النواة المركبة التي تتفكك لتعطي نواتج التفاعل التي تعتمد على طاقة القذيفة.

التفاعل النووي	التفاعل الكيمياوي
1- ذرات عنصر واحد معين تتحول الى ذرات عنصر آخر	1- ماده واحده تتحول الى ماده أخرى ولكن لا تتغير هوية الذرات
2- البروتونات والنيوترونات ودقائق اخرى تشارك في التفاعل ، في حين ان الالكترونات المدارية نادرا ما تشترك في التفاعل	2- الالكترونات المدارية هي التي تشترك في التفاعل حيث تتكسر اواصر وتتكون اواصر غيرها وان الدقائق النووية لا تشترك في التفاعل
3- التفاعل يصاحبه تغير كبير في الطاقة وتغيرات ممكن حسابها في الكتلة	3- التفاعل يصاحبه تغير طفيف في الطاقة بدون تغير في الكتلة
4- سرعة التفاعل تتأثر بعدد النوى ولاتتاثربدرجة الحرارة او العوامل المساعدة او نوع المركب المتواجد فيه العنصر المشع	4- سرعة التفاعل تتأثر بدرجة الحرار والتركيز والعوامل المساعدة ونوع المركب المتواجد فيه العنصر



شكل (12-4): التفاعل النووي.

2.3. أنواع التفاعلات النووية

تختلف التفاعلات النووية باختلاف القذيفة فإما تكون القذيفة نيوترون أو بروتون أو ديوترون أو جسيم ألفا.

- **تفاعل نيوترون- جاما (n,γ) Reaction**

يتم هذا التفاعل عندما تكون سرعة النيوترونات منخفضة مثل التفاعل التالي:

$$^{27}Al_{13} + {}^{1}_{0}n \rightarrow [^{28}_{13}Al + \gamma]$$

- **تفاعل نيوترون- بروتون Reaction (n,p)**

في هذا التفاعل يتحد البروتون بإلكترون من الوسط المحيط بالنواة ويتحول البروتون إلى ذرة هيدروجين مثل التفاعل التالي:

$$^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow [^{15}_{7}N] \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}H$$

- **تفاعل نيوترون – ألفا Reaction (n,α)**

في هذا التفاعل يجب أن تكون سرعة النيوترون عالية. مثل:

$$^{27}_{13}Al + {}^{1}_{0}n \longrightarrow [^{27}_{13}Al]^{+} \longrightarrow {}^{24}_{11}Na + {}^{4}_{2}He$$

- **تفاعل نيوترون- نيوترون Reaction (n,n)**

يتم هذا التفاعل عندما تكون طاقة النيوترون ما بين 100 كيلو إلكترون فولت إلى بضعة ميجا إلكترون فولت (100 Kev – few Mev) وفي هذا التفاعل تكون طاقة النيوترون الخارج أقل من طاقة النيوترون الداخل (القذيفة) وتترك النواة في حالة إثارة تصل بعدها إلى حالة الاستقرار بانبعاث أشعة جاما، والنواة الناتجة هي عبارة عن النواة المتفاعلة.

- **تفاعل النيوترون الذي يؤدي إلى الانشطار النووي Fission Reaction**

هو تفاعل بين نيوترونات سريعة أو بطيئة مع الأنوية الثقيلة $Z > 92$ وينتج عم هذا التفاعل عدد من النيوترونات ونواتين متوسطتين وطاقة هائلة 200 Mev لكل انشطار وسوف يتم التعرف عليه فيما بعد.

- **تفاعل بروتون – ألفا Reaction (p-α)**

ينتج عن هذا التفاعل نواة مختلفة ونواة الهيليوم مثل:

$$^{27}_{13}Al + {}^{1}_{1}H \longrightarrow [^{28}_{14}Si]^{*} \longrightarrow {}^{24}_{12}Mg + {}^{4}_{2}He$$

- **تفاعل بروتون – نيوترون Reaction (P,n)**

$$^{18}_{8}O + {}^{1}_{1}H \longrightarrow [^{19}_{9}F] \longrightarrow {}^{18}_{9}F + {}^{1}_{0}n$$

- **تفاعل بروتون – جاما Reaction (P,γ)**

في هذا التفاعل تخرج أشعة جاما بطاقة عالية كأحد نواتج التفاعل مثل:

$$^{27}_{13}Al + {}^{1}_{1}H \longrightarrow [^{10}_{5}B]^{*} \longrightarrow {}^{28}_{14}Si + \gamma$$

- **تفاعل بروتون – ديوترون Reaction (P, d)**

في هذا التفاعل يكون الناتج عبارة عن نظير للنواة المتفاعلة مثل:

$$^{9}_{4}Be + {}^{11}H \longrightarrow [^{10}_{5}Be] \longrightarrow {}^{8}_{4}Be + {}^{2}_{1}H$$

والديوترون هو عبارة عن الهيدروجين الثقيل الذي يحتوي على بروتون ونيوترون.

- **تفاعل ديوترون – ألفا (d,α) Reaction**

$$^{27}_{13}Al + ^{2}_{1}H \longrightarrow [^{29}_{14}Si]^{*} \longrightarrow ^{25}_{12}Mg + ^{4}_{2}He$$

- **تفاعل ديوترون – بروتون (d,P) Reaction**

$$^{23}_{11}Na + ^{2}_{1}H \longrightarrow [^{25}_{12}Mg]^{*} \longrightarrow ^{24}_{11}Na + ^{1}_{1}H$$

- **تفاعل ديوترون – نيوترون (d,n) Reaction**

$$^{12}_{6}C + ^{2}_{1}H \longrightarrow [^{14}_{7}N]^{*} \longrightarrow ^{13}_{7}N + ^{1}_{0}n$$

- **تفاعل ألفا – نيوترون (α,n) Reaction**

$$^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}He \longrightarrow [^{31}_{15}P]^{*} \longrightarrow ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n$$

- **تفاعل ألفا – بروتون (α, P) Reaction**

$$^{17}_{13}Al + ^{4}_{2}He \longrightarrow [^{31}_{15}P]^{*} \longrightarrow ^{30}_{14}Si + ^{1}_{1}H$$

- **تفاعلات بأشعة جاما γ- Reaction**

من تفاعلات أشعة جاما النووية تفاعل جاما – نيوترون (γ,n) Reaction ومن أمثلة هذا التفاعل:

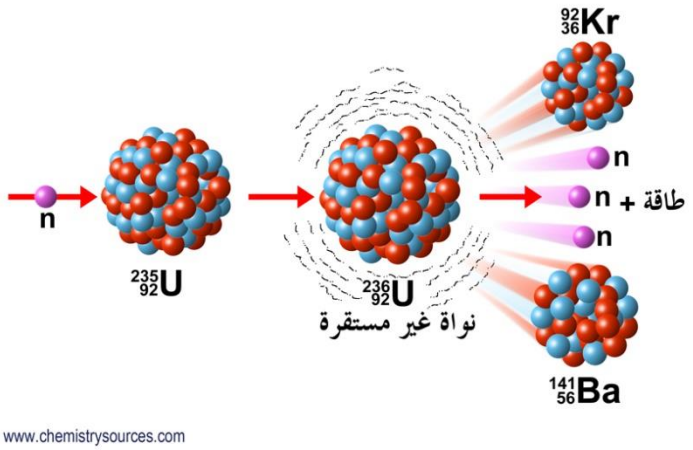
$$^{9}_{4}Be + \gamma \longrightarrow [^{9}_{4}Be]^{*} \longrightarrow ^{8}_{4}Be + 1_{0}n$$

7-12 الانشطار النووي

هو عملية تفتت أو انشطار نواة ثقيلة مثل نواة اليورانيوم إلى نواتين متقاربتين في الكتلة.

وكان اكتشاف الانشطار النووي نتيجة لمحاولة عمل عنصر له عدد ذري أكبر من 92 وذلك بواسطة تفاعل النيترون – جاما لنواة اليورانيوم ، ويصحبها تفكك النواة بواسطة β^{-} . وفي عام 1934 م اقترح فيرمي Fermi قذف نواة اليورانيوم بواسطة نيوترون لإنتاج عنصر عدده الذري أكبر من 92. وخلال هذه المحاولة تم الحصول على كل من $^{140}_{57}La$ و $^{139}_{56}Ba$ في نواتج التفاعل. وقد تم تفسير ذلك بأن ذرة اليورانيوم انشطرت إلى جزئين وهما ذرتين لعناصر متوسطة الوزن.

ولقد تم انشطار نواة كل من ^{238}U, ^{231}Pa, ^{232}Th بنيوترونات سريعة ويخرج مع الانشطار كمية هائلة من الطاقة حوالي 200 مليون إلكترون فولت لكل انشطار وذلك لأن نواتج الانشطار عبارة عن أنوية متوسطة الوزن لها قوة ترابط عالية أكثر من النواة الأم الثقيلة.



شكل (12-5): الانشطار النووي.

$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow [^{236}_{92}U]^{*} \longrightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3\,{}^{1}_{0}n + Q$$

حيث أن Q هي الطاقة المنطلقة في التفاعل ومصدرها النقص في الكتلة بين الجسيمات المتفاعلة والجسيمات الناتجة من التفاعل. ولقد وجد أن النقص في الكتلة يساوي 2154 وحدة كتلة ذرية. ويقابل هذا النقص في الكتلة تحول إلى طاقة تساوي 0.2154 x 931 = 200 Mev وهذه القيمة تفوق كمية الطاقة المنطلقة من الاحتراق بملايين المرات.

12-8 الاندماج النووي

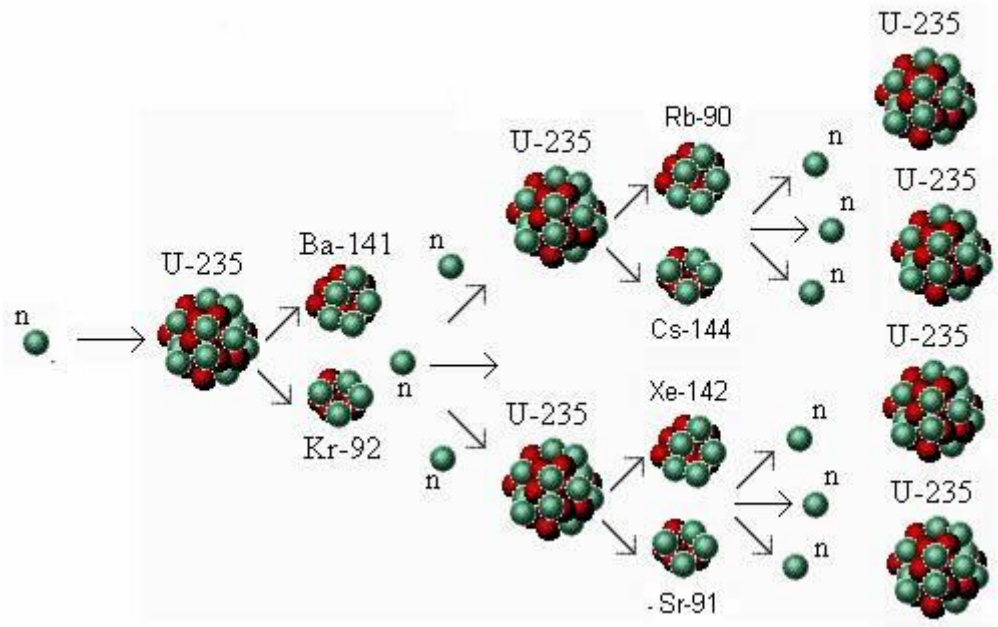
الاندماج النووي عبارة عن اتحاد أو اندماج نواتين خفيفتين $A \leq 8$ لتكوين نواة ذات وزن ذري أكبر من النواة المندمجة مع خروج طاقة هائلة. وعملية الاندماج هي عكس عملية الانشطار ولكن هناك عامل مشترك وهو إنتاج الطاقة، ففي الاندماج نجد أن طاقة الربط بالنسبة للنواة الكبيرة (أي النواة بعد الاندماج) أكبر بكثير من طاقة الربط للأنوية الخفيفة المندمجة (كما هو مبين في منحنى الطاقة) وهذا الفرق في الطاقة يخرج في صورة طاقة الاندماج كما أن النواة الناتجة في عملية الدمج أقل من مجموع كتل الأنوية الخفيفة المندمجة (المتفاعلة) وهذا النقص في الوزن يتحول إلى طاقة.

إن الطاقة الصادرة من الشمس والنجوم المختلفة هي عبارة عن طاقة ناتجة من الاندماج النووي الذي يحدث داخل هذه الكواكب لذلك نجد أن درجة الحرارة داخل الشمس تصل إلى 10^8 أو مليون درجة كلفن. هذه الحرارة تساعد على تأين العناصر فتتحرك النواة في هذه البلازما (البلازما عبارة عن نواة عادية + إلكترونات) فتتحرك النواة في هذه البلازما بسرعة عالية وعند التصادم يكون لها ميل شديد للاتحاد مع بعضها. وحينئذ تخرج كمية هائلة من الطاقة (تفاعل طارد للحرارة). ويسمى هذا التفاعل الذي يحدث في درجة حرارة عالية بالتفاعل النووي الحراري Thermo Nuclear Reaction.

ويعتبر النيترون أفضل أنواع القذائف نظرا لأن النيترون متعادل كهربيا . لا يتأثر بقوة تجاذب أو تنافر مع النواة أو مع الإلكترونات ويصل مباشرة إلى مركز النواة بذلك يمكن قذفه بجميع السرعات و كتلتة مناسبة. ولا توجد مصادر طبيعية للنيوترونات ولكن يمكن الحصول عليها عن طريق التفاعلات النووية والانشطار النووي.

9-12 المفاعلات النووية Nuclear Reactors

المفاعل النووي عبارة عن منشأة يتم فيها انشطار نووي متسلسل كما في الشكل (12-5) تحت السيطرة وكما ذكر سابقا ينتج عنه كمية من الطاقة بالإضافة إلى النيوترونات.

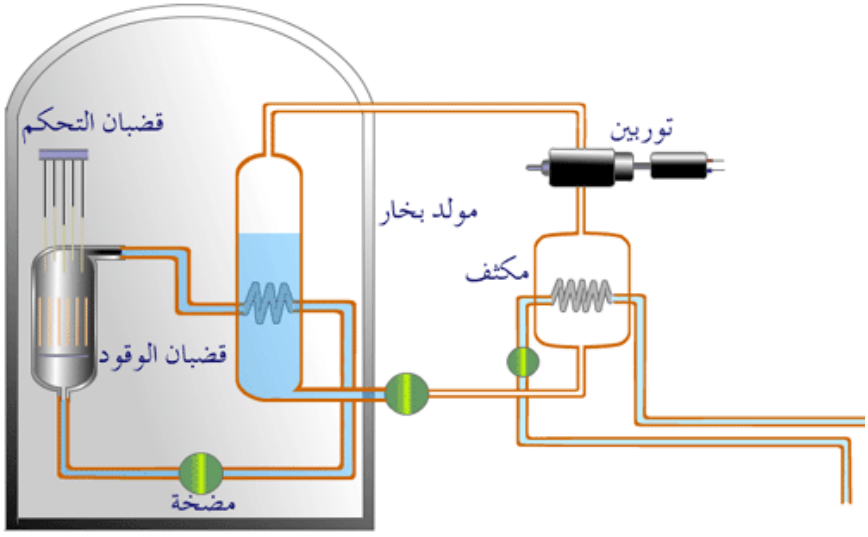


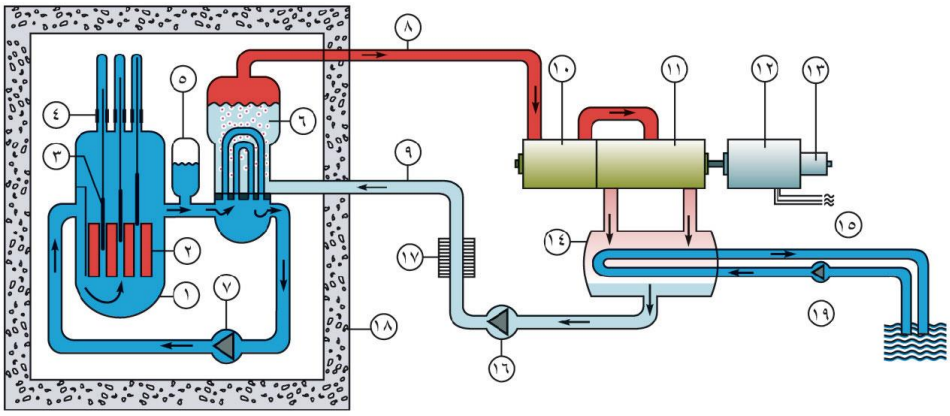
شكل (12-5): تفاعل انشطاري متسلسل.

يتم إنشاء المفاعلات النووية لإنتاج الطاقة مثل الطاقة الحرارية أو الطلقة الميكانيكية أو الطاقة الكهربائية وإنتاج المواد المشعة والمواد التي تستخدم في الأسلحة النووية، كما أنه يستخدم في خدمة البحوث النووية في الفيزياء والكيمياء.

تركيب المفاعل النووي

يتوقف تركيب المفاعل النووي على الغرض الذي يستخدم فيه ولكنه بصفة عامة يتكون كما هو موضح في الشكل (12-6):





١- وعاء المفاعل
٢- عناصر الوقود
٣- عناصر التحكم
٤- وحدة دفع عناصر التحكم
٥- مثبت الضغط
٦- مولدالبخار
٧- مضخة التبريد
٨- بخار
٩- ماء للتغذية
١٠- جزء الضغط المرتفع للعنفة
١١- جزء الضغط المنخفض للعنفة
١٢- المولد
١٣- المحرض
١٤- المكثف
١٥- ماء النهر
١٦- مضخات التغذية
١٧- وحدة التسخين المسبق
١٨- درع من الخرسانة
١٩- مضخات التبريد الثانوية

شكل(12-6): تركيب المفاعل النووي.

1- قلب المفاعل: وهو عبارة عن وعاء يتحمل الضغط العالي 15 atmosphere ودرجة حرارة عالية ، ويجب أن تكون مادته من النوع الثابت الذي لا يتحول بالإشعاع إلى مادة نشطة إشعاعيا، ويحاط الوعاء بدرع من الإسمنت المسلح الثقيل كحاجز واقي من الإشعاع لحماية العاملين، ويتم تركيب أعمدة الوقود وكذلك أعمدة التحكم على قاعدة مثبتة في أسفل وعاء المفاعل.

2- ويتكون الوقود إما من:

- يورانيوم طبيعي ^{238}U الذي يحتوي على 0.72% من اليورانيوم-235 ^{235}U .
- يورانيوم مخصب الذي يحتوي على نسبة أكبر من 0.72% من اليورانيوم-235.
- يورانيوم-233 ^{233}U .
- بلوتونيوم-239 ^{239}Pu .

3- المهدئ Moderator

وهو عبارة عن جرافيت (كربون) أو ماء أو ماء ثقيل أو بريليوم أو أكسيد البريليوم. ويحيط المهدئ بالوقود وذلك لتهدئة النيوترونات السريعة وتقليل طاقتها من Mev إلى 1/40 Mev والتي تعتبر طاقة النيوترونات الحرارية القادرة على التفاعل الانشطاري مع نواة اليورانيوم.

4- أعمدة التحكم:

هذه الأعمدة مصنوعة من الكادميوم الذي له قابلية عالية لامتصاص النيوترونات الحرارية. وهذه الأعمدة تتحكم في قوة التفاعل وفي وقف التفاعل. حينما ترتفع إلى أعلى يبدأ التفاعل بالعمل وعندما تنزل إلى الأسفل أي تمتص جميع النيوترونات يتوقف التفاعل وبالتالي يتوقف المفاعل في هذه الحالة.

5- المبرد:

الطاقة الناتجة من الانشطار تتحول إلى طاقة حرارية داخل قلب المفاعل وتسحب هذه الطاقة بواسطة المبرد وهو إما أن يكون غاز مثل الهواء أو ثاني أكسيد الكربون أو الهيليوم أو قد يكون سائل مثل الماء أو الصوديوم السائل، ويتوقف نوع المبرد على درجة الحرارة داخل قلب المفاعل.

12-10المعجلات النووية

ذكرنا سابقا أن التفاعلات النووية بالبروتونات والديوترونات وجسيمات ألفا تعتمد على طاقة القذيفة ولا يمكن حدوث تفاعل نووي بهذه الجسيمات السابقة دون طاقة حركية كافية للتغلب على قوة التنافر بين هذه الجسيمات الموجبة الشحنة ونواة الهدف التي تحمل شحنة موجبة أيضا وهذا التنافر يسمى بحاجز كولومب النووي.

وتستخدم المعجلات النووية (المسرعات النووية) لتسريع الجسيمات النووية المشحونة لإكسابها طاقة كافية لإجراء التفاعلات النووية، ويتم إنتاج الجسيمات المشحونة (أيونات) بواسطة قذف ذرة الغاز (H^2, $^2H_2$, ^4He) بواسطة إلكترونات سريعة فينتج أيونات للغاز موجبة الشحنة (H^+,$^2H^+$, He^+) التي هي (البروتون، الديوترون وجسيم ألفا).

وهناك أنواع مختلفة من المعجلات ولكنها تشترك جميعا في استخدام المجال الكهربي في تعجيل الجسيمات ولكنها تختلف في الطريقة التي يطبق فيها هذا المجال الكهربي.

وعند وضع الأيونات في مجال كهربي ذو فرق في الجهد V ، تكتسب الأيونات طاقة حركية تساوي K-E = Ve حيث V فرق الجهد الكهربي وe شحنة الأيون المطلوب تعجيله.

12-11النظائر Isotopes

النظائر هي ذرات تحتوي أنويتها على نفس العدد من البروتونات ولكنها تختلف في عدد النيوترونات التي تحتويها. ويعني ذلك أن العدد الذري للعنصر الواحد لا يتغير في حين يتغير عدده الكتلي.

ولنظائر العنصر الواحد نفس الخواص الكيميائية حيث أن الخواص الكيميائية للعنصر يحددها عدده الذري، وعليه فإن النظائر المختلفة للعنصر لها جميعا نفس الخواص والتفاعلات الكيميائية بالرغم من اختلاف أوزانها الذرية.

وتُعد النظائر المشعة من أبرز اكتشافات العلم الحديث وأعظمها، ومن أهم ما حققه الفكر الإنساني في الغوص إلى عالم الصغائر، للإجابة عن كنه المادة وسر تكوينها وأعطت النظائر المشعة بعض الإجابات الوافية والشافية عن تكوين الذرة والغوص في عمق النواة

وتنقسم النظائر المشعة إلى قسمين: **نظائر مشعة طبيعية:** وهي توجد في الطبيعة. **ونظائر مشعة صناعية:** هي من صنع الإنسان.

ويوجد 21 عنصر ليس لديها نظائر

عدد النظائر المستقرة 300 نظير

وتم تحضير ما يزيد على 1500 نظير مشع

إنتاج النظائر المشعة

يتم إنتاج النظائر المشعة المختلفة عند تعريض النظائر المستقرة لسيل من الجسيمات النووية كالنيوترونات أو البروتونات أو الديوترونات وكذلك عند تعريضها لجسيمات ألفا. ويستخدم لهذا الغرض المفاعلات النووية ومولدات النيوترونات كمصدر للنيوترونات، كذلك تستخدم المعجلات النووية كمصدر للجسيمات المشحونة كالبروتونات والديوترونات وجسيمات ألفا.

استخدامات النظائر المشعة

أهم تطبيقات النظائر المشعة هو اقتفاء الأثر وتعقب حركة بعض الذرات ومسارها في الغازات والسوائل وفي الكائنات الحية الحيوانية والنباتية، وتشتمل هذه الحالات مجالات عديدة ومختلفة تمس مباشرة حياة الإنسان وتحسين عيشه في بيئة سليمة من التلوث، وتوفير الماء والغذاء وفي المعالجة الصحية الناجعة، وفيما يلي بعض استخداماتها :

في مجال البيئة: استعملت النظائر المشعة للكشف عن ملوثات البيئة وتحليلها ومراقبتها المستمرة حتى لا تتأثر مياه الشرب بكمية غير مسموح بها من النترات المتسربة من الأسمدة أو من مبيدات الحشرات أو من الفضلات السائلة، إضافة إلى استعمال الأشعة في تطهير مياه المجاري وفي معالجة فضلات الصناعة.

في مجال الطب: استعملت النظائر المشعة في مختلف اختصاصات الطب مثل التشخيص، والتصوير، والمعالجة، والتكهن بتطور المرض، وفي تعقيم الأدوات والضمادات، وفي تطوير اللقاح لحماية الحيوانات من الأمراض، بالإضافة إلى المعالجة الدقيقة لمرض السرطان بأشعة اليود وأشعة الكوبالت حسب مكان الورم.

في مجال الغذاء والزراعة: استعملت النظائر المشعة لتحسين الإنتاج الزراعي من خلال تحديد كمية الأسمدة اللازمة، ولإنتاج أصناف تعطي محصولين أو ثلاثة في العام، وفي مكافحة الحشرات الضارة والناقلة للعدوى،

وكذلك استعملت في مراقبة الهرمونات التي تتحكم في تكاثر الحيوانات بتقصير المدة بين الولادات، والزيادة في عددها وتحسين نوعيتها، إضافة إلى استعمالها في تعقيم الأغذية (حبوب، فواكه، لحوم، سمك) وحفظها من التفكك والتعفن والتلف لمدة طويلة. أما في مكافحة الحشرات الضارة بالإنتاج الزراعي، والتي تنقل العدوى مثل ذبابة تسي - تسي، والبعوض، فقد أمكن للنظائر المشعة أن تعطي نتائج هامة في هذه المكافحة أحسن من المبيدات الكيميائية، التي أصبحت لا تؤثر على بعض الحشرات المكتسبة للمقاومة، إضافة إلى أنها تترك أثاراً سامة وخطيرة على جسم الإنسان، وتحدث تلوثاً للبيئة إلى درجة منع استعمال بعض هذه المواد الكيميائية.

في مجال المياه: استعملت النظائر المشعة في قياس السيلان السطحي لمياه الأمطار والثلوج، وفي معرفة جريان الأودية والأنهار، وفي قياس تسرب الماء من السدود والبحيرات، وكذلك في دراسة المياه الجوفية بتحديد مصدرها وعمرها وسرعة جريانها واتجاهها، وفي معرفة الاتصال بين الأحواض المائية وقابلية ترشحها. سوف نعود في مقالات قادمة إلى كل حالة من الحالات السابقة بالتفصيل والتحليل.

-في الصناعة-:

1- التصوير الإشعاعي:

من الخواص المميزة للإشعاع النووي قدرته الفائقة على اختراق الأجسام المختلفة، ويتوقف مدى اختراقه لجسم معين على معامل امتصاص هذه المادة لهذا الإشعاع، لذا فإن لكل مادة بصمة معينة لاختراقها بالأشعة، فمثلاً إذا كان لدينا جسم معين غير شفاف تستطيع الأشعة النووية بكل سهولة تصوير ما بداخل هذا الجسم إذا احتوى على مواد أخرى أو فراغات داخله، ومن طرق التصوير الإشعاعي التصوير بأشعة جاما حيث تستطيع الكشف عن عيوب عملية اللحام في خطوط الأنابيب وعيوب تصنيع المسبوكات وخاصة المستخدمة في صناعة الصواريخ وفى الطائرات والغواصات وسفن الفضاء، وتعتمد هذه الطريقة على تسليط أشعة جاما على العينة المفحوصة وتستقبل الأشعة بعد اختراقها للعينة على فيلم، وحيث أن امتصاص أشعة جاما يزداد بزيادة كثافة العينة المفحوصة فإننا نستطيع وبسهولة الكشف عن أي فراغات أو رواسب في العينة المفحوصة حيث تظهر هذه العيوب والفراغات على الفيلم كمواضع داكنة داخل العينة ويشبه الفيلم هنا الصور المأخوذة بأشعة اكس، وهناك طريقة أخرى تعتمد على امتصاص النيوترونات الصادرة عن الكاليفورنيوم – 252، وعلى العكس فإن النيوترونات يزداد امتصاصها بانخفاض كثافة المواد المخترقة لها مثل المركبات العضوية والعناصر الخفيفة و البلاستيك والماء لذا فإن طريقة التصوير بالنيوترونات تهدف إلى كشف المواد الخفيفة داخل العناصر الثقيلة وفى فحص الدوائر الإلكترونية المطبوعة.

2-المعالجة الإشعاعية للمطاط :

تسمى المعالجة الإشعاعية للمطاط الطبيعي بالفلكنة الإشعاعية للمطاط والتي تكسب المنتج مرونة وشفافية عالية بالإضافة إلى خلوه من مادة النيتروزوامين المسرطنة وأكاسيد الكبريت و الزنك و انخفاض نسبة السمية فيه، وتعتبر هذه الخواص هامة جداً للاستخدامات الطبية، وعملية الفلكنة الإشعاعية بديل عن عملية الفلكنة التقليدية

بالكبريت والتي ينتج عنها بقايا لمادة داى ثاى أكرياميت شديدة السمية والتي لها تأثيرات مسرطنة.

3- تزييف المجوهرات- :

من اللمسات السحرية للإشعاع النووي قدرته الفائقة على تزييف المجوهرات والأحجار الكريمة الصناعية بحيث لا يمكن معها التفريق بينها وبين الأحجار الكريمة الطبيعية، وفى هذه التقنية يتم تعريض هذه الأحجار إلى جرعات محددة من الإشعاع النووي الصادر عن النظائر المشعة أو المفاعلات النووية حيث تظهر بألوان طبيعية براقة لا تتأثر بالعوامل الطبيعية على مدى طويل من السنين، وما يحدث في هذه العملية هو اختصار لزمن تعرض هذه الأحجار للإشعاع الطبيعي، فمثلاً يمكن تحويل الياقوت الأصفر إلى أزرق أكثر جمالاً بقذفه بالنيوترونات أو بأشعة جاما الصادرة عن الكوبلت – 60.

12-12تفاعل الإشعاع مع المادة

يعتمد فهمنا لطبيعة الأشعة النووية على معرفة كيفية تفاعل هذه الأشعة مع المادة. وتعتبر هذه المعرفة ضرورية في إنشاء واستخدام الكواشف الإشعاعية وأجهزة القياس وفي التطبيقات المتنوعة للأشعة في العلوم والطب والصناعة والزراعة. وتنقسم الأشعة إلى أربعة أنواع هي:

1- جسيمات مشحونة ثقيلة مثل: جسيمات ألفا والديوترونات $^{2}_{1}H$ والبروتونات ونوى الذرات الخفيفة.

2- جسيمات مشحونة خفيفة وهي الإلكترونات e^{-} والبوزيترونات e^{+} .

3- أجسام غير مشحونة مثل النيوترونات.

4- أشعة كهرومغناطيسية مثل أشعة جاما وأشعة إكس.

وجميع هذه الأشعة لها القدرة على إحداث تأين لذرات المادة التي تمر خلالها ولذلك تسمى بالأشعة المؤينة.

كما نعلم أن الأشعة تدمر الأنسجة الحية فمن الممكن أن تمزق الأشعة الخلية الحية فتموت ويصعب إصلاحها بواسطة الجسم، كما أنه من المحتمل أن تدمر الخلايا الوراثية التي لا يمكن تعويضها بواسطة الجسم وهذا يؤدي إلى أمراض السرطان أو خلل في العوامل الوراثية بالنسبة للأجيال.

وتتوقف تأثيرات الأشعة على الكمية التي يتعرض لها الجسم وتؤثر فيه، وتسمى كمية الأشعة الممتصة بواسطة كيلوجرام من الجسم بالجرعة المكافئة وتقاس بالسيفرت.

والسيفرت (Sv) Sievert عبارة عن كمية الطاقة (واحد جول) المنتقلة إلى كيلوجرام واحد من الجسم.

13-12أجهزة قياس الأشعة Radiation Instruments

هناك مجموعة من الأجهزة التي تستخدم للكشف عن الأشعة ومن أهم هذه الأجهزة ما يلي:

1-فيلم بادج Badge Film

وهو عبارة عن فيلم حساس صغير مساحته حوالي 2x3cm (يشبه فيلم الأسنان) مغطى بطبقة من البلاستيك المعتم لحمايته من الضوء موضوع داخل حقيبة من البلاستيك بها نافذة لدخول أشعة بيتا، أما أشعة جاما فإنها تخترق الحقيبة البلاستيكية وتصل إلى الفيلم، ويوجد داخل الحقيبة حاجز من الرصاص لامتصاص أشعة بيتا من قبل جزء من الفيلم ونفاذ أشعة جاما فقط. وعن طريق تحميض الفيلم يمكن معرفة نوع الأشعة وكميتها التي تتوقف على درجة عتامة الفيلم ويستخدم، ويستخدم هذا الفيلم للكشف عن الأشعة التي يتعرض لها العاملين سواء في مصانع أو في مراكز البحوث أو المستشفيات.

2-جهاز المسح الإشعاعي Survey Meter

يتكون جهاز المسح الإشعاعي عموما من كاشف إشعاعي ودائرة إلكترونية لتكبير التيار وقياس شدته أو عد النبضات الكهربائية الناتجة عن التيار الكهربائي في وحدة الزمن، وتزود هذه الأجهزة بجهاز صوتي يصدر صوتا كلما تم تسجيل نبضة فيه وبالتالي يمكن التنبه إلى وجود زيادة في مستوى الأشعة في البيئة، ويوجد منه أنواع مختلفة لقياس أنواع الأشعة المختلفة.

3-مقياس الجرعة الجيبي Pocket Dosimeter

وهو عبارة عن جهاز صغير يشبه قلم الحبر من حيث الشكل والحجم، ويتكون الجهاز من غرفة تأين أسطوانية تحتوي على قطبين أحدهما ثابت والآخر متحرك وهو الذي يعطي القراءة عند التعرض للأشعة ويستخدم الجهاز لقياس كمية الأشعة التي يتعرض لها الإنسان الذي يعمل بالمواد المشعة.

4-محلل وحيد القناة SINGLE Channel Analyzer

وهو يتكون من:

أ-كاشف إشعاعي: يتوقف نوعه على نوع الأشعة المراد قياسها كما في الأنواع السابقة الذكر.

ب-مكبر: يستخدم لتكبير الإشارة الكهربائية الناتجة من الومضة الضوئية المنبعثة من الكاشف الإشعاعي نتيجة لسقوط الأشعة على الكاشف.

ج-محلل طيفي: تختلف شدة الإشارات الكهربائية حسب طاقة الأشعة الساقطة ويقوم المحلل الطيفي بتحليل هذه الإشارات ليعطي طيف مختلف الطاقة.

د-العداد: يقوم العداد بعد كل الإشارات الكهربائية التي لها نفس الطاقة وبتغيير مفتاح الطاقة يمكن أخذ قراءة عد الإشارات الكهربائية للطاقات المختلفة التي تعبر عن عدد الإشعاعات الساقطة على الكاشف بطاقات مختلفة.

5-محلل عديد القنوات Multi Channel Analyzer

يتكون المحلل عديد القنوات من نفس الوحدات الموجودة في المحلل وحيد القناة إلا أنه يمكن عد الإشارات الضوئية المختلفة الطاقة في وقت واحد بعد تحليلها إلى طاقات مختلفة معطيا طيف متكامل لجميع الأنوية الموجودة في العينة المراد قياسها كما يعطي النشاط الإشعاعي لكل طاقة في آن واحد.

المراجع

1- Physics for Scientists and Engineers (with PhysicsNOW and InfoTrac), Raymond A. Serway - Emeritus, James Madison University , Thomson Brooks/Cole © 2004, 6th Edition, 1296 pages.

2- مبادئ الفيزياء العامة، د. عقيل مهدي كاظم، الطبعة الأولى، 2009

3- محاضرات فيزياء عامة، الدكتور عبدالحي صلاح، جامعة الملك سعود

http://faculty.ksu.edu.sa/AbdelhaySalah/Arabic/Documents/Forms/AllItems.aspx

4- محاضرات فيزياء عامة 102 للدكتور محمد مرسي،

http://faculty.ksu.edu.sa/elmorsy/Pages/102physics.aspx

5- محاضرات فيزياء عامة 1 للدكتور حسن مريدي

https://sites.google.com/site/hasanmaridi/general-physics-102

6- محاضرات فيزياء عامة 2 للدكتور حسن مريدي

https://sites.google.com/site/hasanmaridi/general-physics-102

7- محاضرات الدكتور سيد صبحي مقررفيزياء عامة 102

https://sites.google.com/site/phy102kfu

8- محاضرات في الفيزياء العامة، الميكانيكا وتطبيقاته، االدكتور حازم سكيك

9- الفيزياء العامة للجامعات (بوش)

10- الكيمياء النووية والاشعاعية للدكتور حسن مريدي، الطبعة الأولى 2017

https://sites.google.com/site/hasanmaridi/nuclear-chemistry

11- الفيزياء العامة للجامعات2 (كهربية – ضوء – فيزياء حديثة)، تأليف: د. خضر محمد عبدالرحمن - د. أسامة أحمد إبراهيم العانى ، الناشر: دار الخريجى للنشر والتوزيع

12- أساسيات الكهربية لطلاب الفرقة الأولى، إعداد د/ أحمد محمود يوسف - د/ محمود سامى عزيز - د/ وائل فاروق الطيبانى