الكهرباء الساكنة

مقدمة :

ماالمقصود بقولنا إن جسما ما مشحون ؟ هل له شكل أو حجم مختلف عن غيره ؟ ولو نظرنا له فهل يمكننا أن نتبين أنه مشحون من منظره فقط ؟ في الحقيقة إن كون الجسم مشحونا لاتتعلق بخواصه الفيزيائية والطريقة الوحيدة لمعرفة فيما إذا كان مشحونا هي أن نضعه قرب جسم آخر مشحون مسبقا فإذا دفعه أو جذبه عندها فقط نعرف أنه مشحون. فالشحنة خاصية للجسم تمكنه من دفع أو جذب أجسام مشحونة أخرى، مثل خاصية الكتلة التي تمكن جسم ما له كتلة من جذب الكتل الأخرى. من هذا المنطلق نستطيع إعطاء ***تعريف تأثيري للشحنة*** بأنها ***الخاصية التي يملكها جسم للتأثير على غيره من الأجسام التي تحمل نفس الخاصية***. فالشحنات تؤثر على بعضها بقوة كهربائية والكتل تؤثر على بعضها بقوة الجاذبية. بينما لايؤثر جسم مشحون (كالبروتون) بقوة كهربائية على جسم غير مشحون (كالنيوترون) بينما يؤثر عليه بقوة الجاذبية لأن لكل منهما كتلة، لكن لايؤثرعلى جسم عديم الكتلة والشحنة (كالضوء) بأي قوة.

ومن أصغر الشحنات المعروفة للإنسان الإلكترون والبروتون حيث اصطلح إعطاء الإلكترون شحنة سالبة مقدارها 1.6×10^{-19} كولوم، بينما أعطي البروتون نفس الشحنة ولكن بإشارة موجبة. و**الكولوم** هي وحدة الشحنة الكهربائية المستخدمة في نظام الوحدات الدولي نسبة للفيزيائي الفرنسي تشارلز كولوم الذي اكتشف القوة الكهربائية بين جسمين مشحونين. وكثيرا ماتعطى شحنات الأجسام بأجزاء الكولوم كالميللي كولوم $(10^{-3}\ C)$، والمايكرو كولوم $(10^{-6}\ C)$، والنانو كولوم $(10^{-9}\ C)$ وهكذا.

مثال :

كم إلكترون يوجد في كولوم واحد ؟

الحل:

لحساب عدد الإلكترونات في كولوم واحد نكتب شحنة الإلكترون:

$$1e = 1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C} \;\Rightarrow\; 1\mathrm{C} = \frac{1e}{1.6\times10^{-19}} = 6.25\times10^{18}\,e$$

أي أن شحن جسم بكولوم واحد يتطلب تجريده من أكثر من ستة مليون مليون مليون إلكترون !

قانون كولوم :

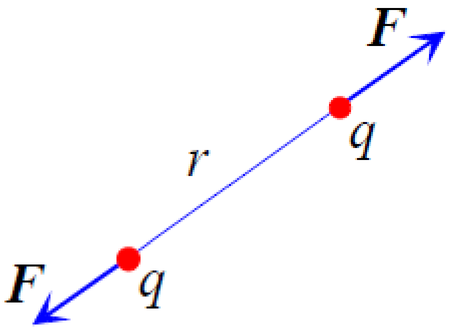
تبين من تجارب عديدة أن أي شحنتين صغيرتين قيمة الأولى q_1 والثانية q_2 بينهما مسافة r تتدافعان أو تتجاذبان بقوتين متساويتين ومتعاكستين تعطى قيمة أي منهما بالعلاقة:

$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

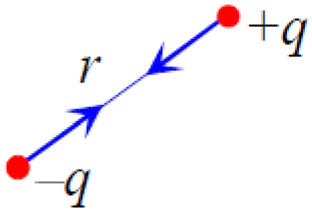
حيث يدل k على ثابت القوة الكهربائية الذي يساوي $9\times10^9\ \mathrm{N.m^2/C^2}$.
يطلق على هذه العلاقة اسم *قانون كولوم*.

أما اتجاه القوة المتبادلة بين الشحنتين فقد وجد أنهما تتنافران إذا كانت شحنتاهما من نفس الإشارة، وتتجاذبان إذا كانتا من إشارتين مختلفتين، كما

ويجدر التنويه إلى ان هذه العلاقة صحيحة لشحنتين نقطتيتين فقط اي انهما صغيرتين لدرجة يستحيل معرفة أبعاد أي واحدة منهما من موقع الأخرى، لذا يقال عنهما **شحنات نقطية** *(point charges)*.



القوة بين شحنتين متماثلتين



القوة بين شحنتين متعاكستين

القوة بين شحنتين نقطيتين

ونلاحظ التناظر الواضح بين قانون القوة الكهربائية وقوة الجاذبية بين كتلتين صغيرتين (نقطيتين):

$$F = \frac{G m_1 m_2}{r^2} \qquad (2-3)$$

مما يدل على تشابه القوى الطبيعية، لكن ثابت قوة الجاذبية G أصغر بكثير من ثابت القوة الكهربائية k مما يعني أن الأخيرة أقوى بكثير من الجاذبية، ولهذا فهي الغالبة بين الأجسام المشحونة الذرية كالإلكترونات والبروتونات وغيرها، حيث نهمل قوة الجاذبية بالمقارنة معها.

مثال :

كم تتفوق القوة الكهربائية على قوة الجاذبية؟ قارن بين القوة الكهربائية وقوة الجاذبية بين إلكترون وبروتون في ذرة الهيدروجين علما بأن لهما نفس الشحنة e وأن المسافة بينهما حوالي 0.5×10^{-10} m ومستخدما المعطيات التالية:

$m_e = 9.11\times10^{-31}$ kg و $m_p = 1.67\times10^{-27}$ kg و $e=1.9\times10^{-19}$ C

الحل:

نستخدم العلاقتين السابقتين لحساب القوة الكهربائية وقوة الجاذبية فنجد على الترتيب:

$$F_C = \frac{kq_1q_2}{r^2} = \frac{(9\times10^9\mathrm{N.m^2/C^2})(1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C})^2}{(0.5\times10^{-10}\mathrm{m})^2}$$

$$= 92.2\times10^{\;9}\mathrm{N}$$

و

$$F_G = \frac{Gm_1m_2}{r^2} = \frac{(6.67\times10^{-11}\mathrm{N.m^2/kg^2})(9.1\times10^{-31}\mathrm{kg})(1.67\times10^{-27}\mathrm{kg})}{(0.5\times10^{\;10}\mathrm{m})^2}$$

$$= 40.5\times10^{-49}\mathrm{N}$$

لذلك يكون:

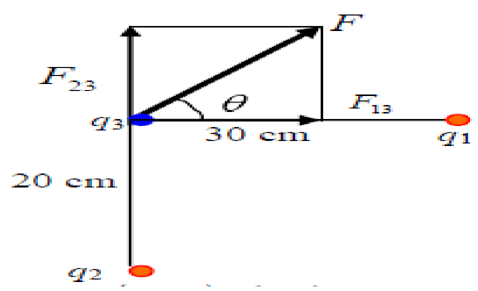
$$\frac{F_G}{F_C} = \frac{40.5\times10^{-49}\mathrm{N}}{92.2\times10^{\;9}\mathrm{N}}$$

$$= 0.4\times10^{\;40}$$

فقوة الجاذبية بين بروتونين أصغر بـــ 10^{40} مرة تقريبا من القوة الكهربائية بينهما!

مثال:

ماالقوة الكهربائية المؤثرة على الشحنة q_3 في الشكل التالي نتيجة وجود الشحنتين q_1 و q_2 علما بأن $q_1 = 6\ \mu C$ و $q_2 = -8\ \mu C$ و $q_3 = -10\ \mu C$ ؟



الحل:

نحسب أولا القوة التي تؤثر بها q_1 على q_3 فنجد:

$$F_{13} = \frac{(9\times10^{9}\,\mathrm{N.m^2/C^2})(6\times10^{-6}\,\mathrm{C})(+10\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(0.3\mathrm{m}^2)} = 6\,\mathrm{N}$$

$$F_{23} = \frac{(9\times10^{9}\,\mathrm{N.m^2/C^2})(8\times10^{\;6}\,\mathrm{C})(+10\times10^{\;6}\,\mathrm{C})}{(0.2\mathrm{m}^2)} = 18\,\mathrm{N}$$

ثم نحسب قيمة المحصلة من قانون فيثاغورث:

$$F = \sqrt{F_{13}^2 + F_{23}^2} = \sqrt{36+324} = 19\,\mathrm{N}$$

أما اتجاهها فنجده من العلاقة:

$$\tan\theta = \frac{F_{23}}{F_{13}} = 3 \;\Rightarrow\; \theta = 72^\circ$$

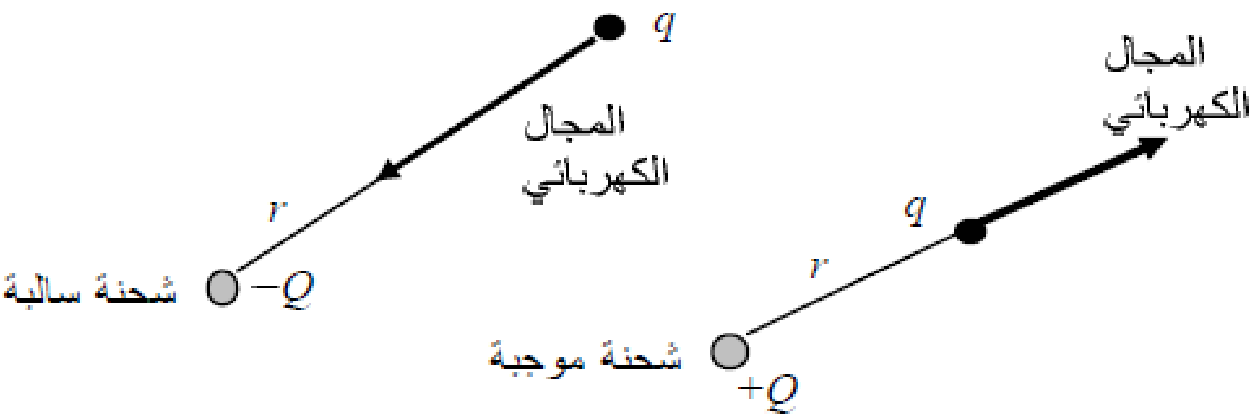
المجال الكهربائي :

تماما كما تؤثر الأرض على المنطقة المحيطة بها بمجال الجاذبية الأرضية حيث يخضع أي جسم قريب من الأرض لقوة الجاذبية، فإن أي شحنة تؤثر على المنطقة المحيطة به أيضا بمجال كهربائي ينتج عنه قوة كهربائية يخضع لها أي جسم مشحون موجود هناك. ونعرف المجال الكهربائي الناتج عن شحنة ما عند نقطة بالفضاء المحيط بها بأنه القوة الكهربائية المؤثرة على واحدة الشحنات الكهربائية الموجبة الموجودة هناك.

فإذا كانت لدينا شحنة Q تؤثر بقوة $\mathbf{F}$ على شحنة q نفترض أنها صغيرة لدرجة لاتؤثر على غيرها من الشحنات (ولهذا يطلق عليها اسم شحنة تجريبية كما في الشكل (3−9 أ)، فإن المجال الكهربائي لـــ Q عند موقع q يعطى بالعلاقة:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q} \qquad (3-3)$$

ويتجه المجال الكهربائي للشحنة Q بعيدا عنها إذا كانت موجبة ونحـــوها إذا كانت سالبـــة، كما في الشكل (3−7).



(ب) (أ)

المجال الكهربائي لشحنة نقطية :

إذا كان لدينا شحنة نقطية Q فإننا نستطيع إيجاد قيمة المجال الكهربائي الناتج عنها عند نقطة تبعد عنها مسافة r بسهولة. فنفترض أنه يوجد على بعد r شحنة تجريبية q ونحسب القوة الكهربائية المؤثرة عليها نتيجة وجود Q ، كما في الشكل التالي ونكتب:

$$F = \frac{kQq}{r^2}$$

وبحسب العلاقة السابقة نجد أن:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{kQ}{r^2}$$

ومن الواضح أن وحدة المجال الكهربائي هي قوة لواحدة الشحنات، أي N/C.

ويمكن كتابة العلاقة بالشكل:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E}$$

حيث نلاحظ منها ان للقوة والمجال نفس الاتجاه إذا كانت q موجبة بينما لهما اتجاهين متعاكسين إذا كانت q سالبة.

مثال :-

ماقيمة واتجاه المجال الكهربائي الناتج عن شحنة نقطية سالبة مقدارها $Q=1\times10^{4}$ C عند نقطة تبعد عنها 50 cm؟ وما القوة الكهربائية المؤثرة على شحنة صغيرة قيمتها $+4\ \mu C$ ؟

الحل:

نستفيد من العلاقة السابقة لنجد قيمة المجال الكهربائي:

$$E=\frac{kQ}{r^2}=\frac{(9\times10^9\ \mathrm{N.m^2/C^2})(1\times10^{-4}\ \mathrm{C})}{(0.5\,\mathrm{m})^2}=3.6\times10^6\ \mathrm{N/C}$$

وبما أن Q موجبة فأن المجال يتجه بعيداً عنها .

أما القوة الكهربائية المؤثرة على شحنة $q=+4\ \mu C$ في ذلك الموضع فنجدها بكتابة:

$$E=\frac{F}{q}\Rightarrow F=qE=(4\times10^{-6}\mathrm{C})(3.6\times10^{6}\ \mathrm{N/C})=14.4\mathrm{N}$$

وتتجه هذه القوة بنفس اتجاه المجال الكهربائي، أي نحو Q لأن q موجبة، وهذا طبيعي لأن أي شحنتين متعاكستين تتجاذبان.

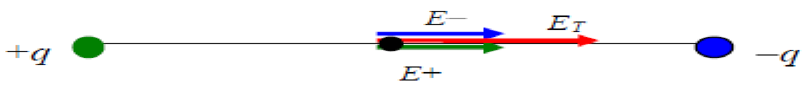
مثال :

ما المجال الكهربائي الكلي الناتج عند نقطة واقعة في منتصف المسافة بين شحنتين متساويتين بالقيمة ومتعاكستين بالإشارة؟

الحل:

لنفترض أن قيمة كل شحنة هو q وأن المسافة بينهما r ، كما في الشكل التالي ، عندئذ نكتب قيمة المجال الناتج عن كل شحنة:

$$E_{\pm}=\frac{kq}{r^2}$$



ونلاحظ من الشكل أن المجال الناتج عن الشحنة الموجبة يتجه بعيدا عنها، بينما يتجه المجال الناتج عن الشحنة السالبة نحوها. لذلك تكون محصلة المجالين في هذه الحالة هي:

$$E_T = 2E_{\pm} = \frac{2kq}{r^2}$$

الجهد الكهربائي :

كيف نستغل الأجسام المشحونة ونحصل على الطاقة الكهربائية منها لاستخداماتنا الحياتية؟ للوصول لإجابة شافية نحتاج أن نعرف **الجهد الكهربائي** وهو كمية عددية سهلة الحساب ومفيدة للوصول للطاقة الكهربائية التي يحصل عليها جسم مشحون عند حركته في منطقة مجال كهربائي.

لفهم هذا نتذكر من دراسة الجاذبية أن أي جسم كتلته m موجود في مجال جاذبية g ويوضع على ارتفاع y من سطح الأرض يكتسب طاقة وضع تعطى بالعلاقة:

$$U_g = mgy$$

ونلاحظ منها أن طاقة وضع الكتلة m عند موضع معين تعتمد على الكمية gy التي تنتج عن مجال الجاذبية. ولهذا نعيد كتابة العلاقة

$$U_g = mV_g$$

حيث يدعى V_g **جهد الجاذبية**.

ونلاحظ من العلاقة أننا حصلنا على طاقة الوضع بضرب جهد الجاذبية بخاصة الجسم الكتلية المرتبطة بها أي بكتلته m.

وبنفس الشكل نقول إن أي جسم شحنته q موجود في مجال كهربائي E سيكتسب طاقة وضع كهربائية نكتبها بالشكل:

$$U_{elec} = qV_{elec}$$

حيث تدعى الكمية العددية V_{elec} **الجهد الكهربائي**.

فمعرفة الجهد الكهربائي في موضع ما يعطينا طاقة الوضع التي ستكسبها شحنة q عند وجودها هناك.

الجهد الكهربائي لشحنة نقطية :

نعرف الجهد الكهربائي لشحنة نقطية q بالعلاقة:

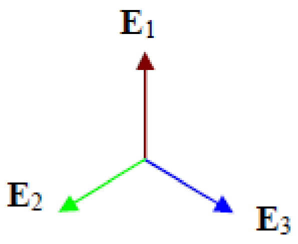
$$V = \frac{kQ}{r}$$

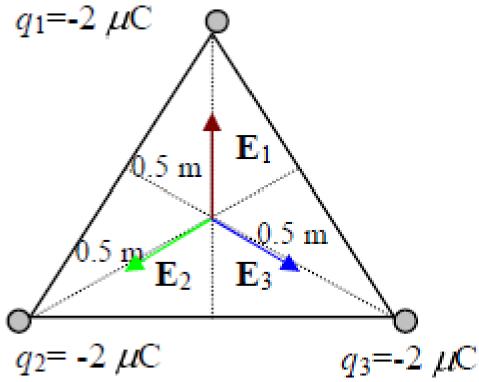
حيث نلاحظ أنها كمية عددية (scalar) ووحدتها في نظام الوحدات الدولي الفولط.

مثال :

ما الجهد الكهربائي الكلي الناتج عن الشحنات النقطية الثلاث المتوضعة على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع في مركزه الهندسي، كما في الشكل

ماهو المجال الكهربائي الكلي هناك؟





الحل:

بما أن الجهد الكهربائي كمية عددية فليس له اتجاه. ومن ثم فالجهد الكلي عند المركز c هو مجموع الجهود الناتجة عن الشحنات الثلاث هناك، أي أن:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$= \frac{kQ_1}{r_1} + \frac{kQ_2}{r_2} + \frac{kQ_3}{r_3} = 3\frac{kQ}{r} = 3\frac{(9\times10^9 \mathrm{N.C^2/m^2})(-2\times10^{-6}\mathrm{C})}{(0.5\,\mathrm{m})}$$

فالجهد الكهربائي الكلي هو:

$$V = 108\ k\mathrm{V}$$

أما المجال الكهربائي الكلي عند نقطة المركز فيساوي الصفر لأنه محصلة المتجهات الثلاث $\mathbf{E}_1$ و $\mathbf{E}_2$ و $\mathbf{E}_3$

المجال المغناطيسي Magnetic Field

مقدمة

نلاحظ أننا من خلال مراحل دراستنا المختلفة تعرضنا لبعض التجارب القائمة على استخدام المغناطيسيات و لاحظنا بعض المشاهدات مثل :-

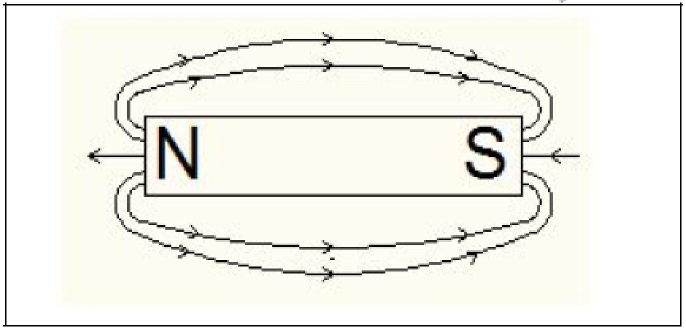
- تنافر الأقطاب المتشابهة للمغناطيسيات و تجاذب الأقطاب المختلفة فالقطب الشمالى لمغناطيس ما يتنافر مع مثيله لمغناطيس آخر و يتجاذب مع القطب الجنوبى.
- عند نثر برادة حديد على ورقة تحتها مغناطيس دائم نلاحظ أن البرادة تأخذ أشكالاً منتظمة مكونة لخطوط المجال المغناطيسى مما يدل على تأثر برادة الحديد بالمجال المغناطيسي على عكس النحاس مثلاً.
- انجذاب القطع الحديدية غير الممغنطة إلى أقطاب المغناطيسيات سواء كانت شمالية أو جنوبية.
- عدم وجود المغناطيسيات أحادية القطب حيث لا يمكن فصل قطب مغناطيسى منفرد و لكن الأقطاب المغناطيسية تتواجد دائماً مثنى شمالياً و جنوبياً.
- تستخدم البوصلة لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي فطرف إبرة البوصلة يشير إلى الشمال نسبة إلى القطب الشمالى لمغناطيسية الكرة الأرضية.

٣-١ الخواص المغناطيسية للمواد

هناك نوعية من المغناطيسيات نطلق عليها مغناطيساً دائماً Permanent Magnet و هى مواد توجد فى الطبيعة و تحمل الصفات المغناطيسية أو بعبارة أخرى يمكن أن يتكون حولها مجال مغناطيسى و هناك النوع الآخر المسمى بالمغناطيس الكهربى Electromagnet و المجال الناشىء عنه يرتبط بمرور التيار الكهربى فى ملف و ينقطع المجال بانقطاع التيار و قابلية المواد للتأثر بالمجال المغناطيسى تختلف من مادة إلى أخرى تبعاً لما يسمى بالنفاذية المغناطيسية Magnetic permeability لكل منها فاننا نجد الحديد و النحاس موصلين للكهرباء و لكن النحاس لا يتأثر بالمجال المغناطيسى أو بعبارة أخرى لا ينجذب إلى المغناطيس الدائم فى حين أن الحديد يتأثر بشدة بالمجال المغناطيسي و لو بحثنا عن النفاذية المغناطيسية لكلا المادتين لوجدنا أن نفاذيةالحديد ربما تقل آلاف المرات عن نفاذية النحاس التى تعادل تقريباً نفاذية الهواء و سنرى ذلك فى أمثلة لاحقة.

٣- ٢ المجال المغناطيسى

عند وضع مغناطيس على سطح مستوٍ كما فى الشكل (٣- ١)



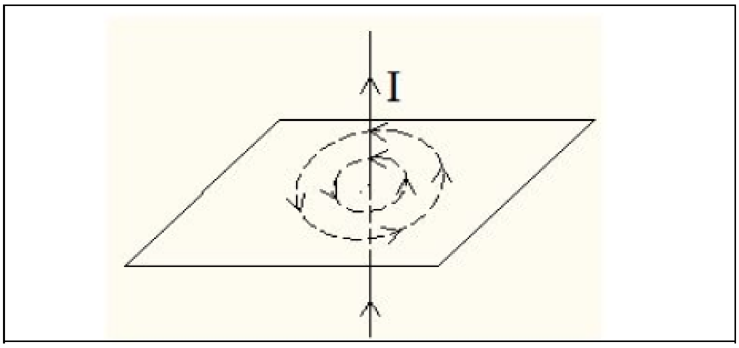
الشكل (٣- ١) المجال المغناطيسي لمغناطيس دائم

ثم يمكننا تتبع خطوط المجال المغناطيسي عن طريق إبرة مغناطيسية (بوصلة) فنجد أن رأس الإبرة المغناطيسية يتنافر مع القطب الشمالى و تتجاذب مع القطب الجنوبي كما هو موضح فى حركة الاسهم المبينة فى الشكل (٣- ١) و يمكننا تلخيص خواص خطوط المجال المغناطيسى كالآتى:

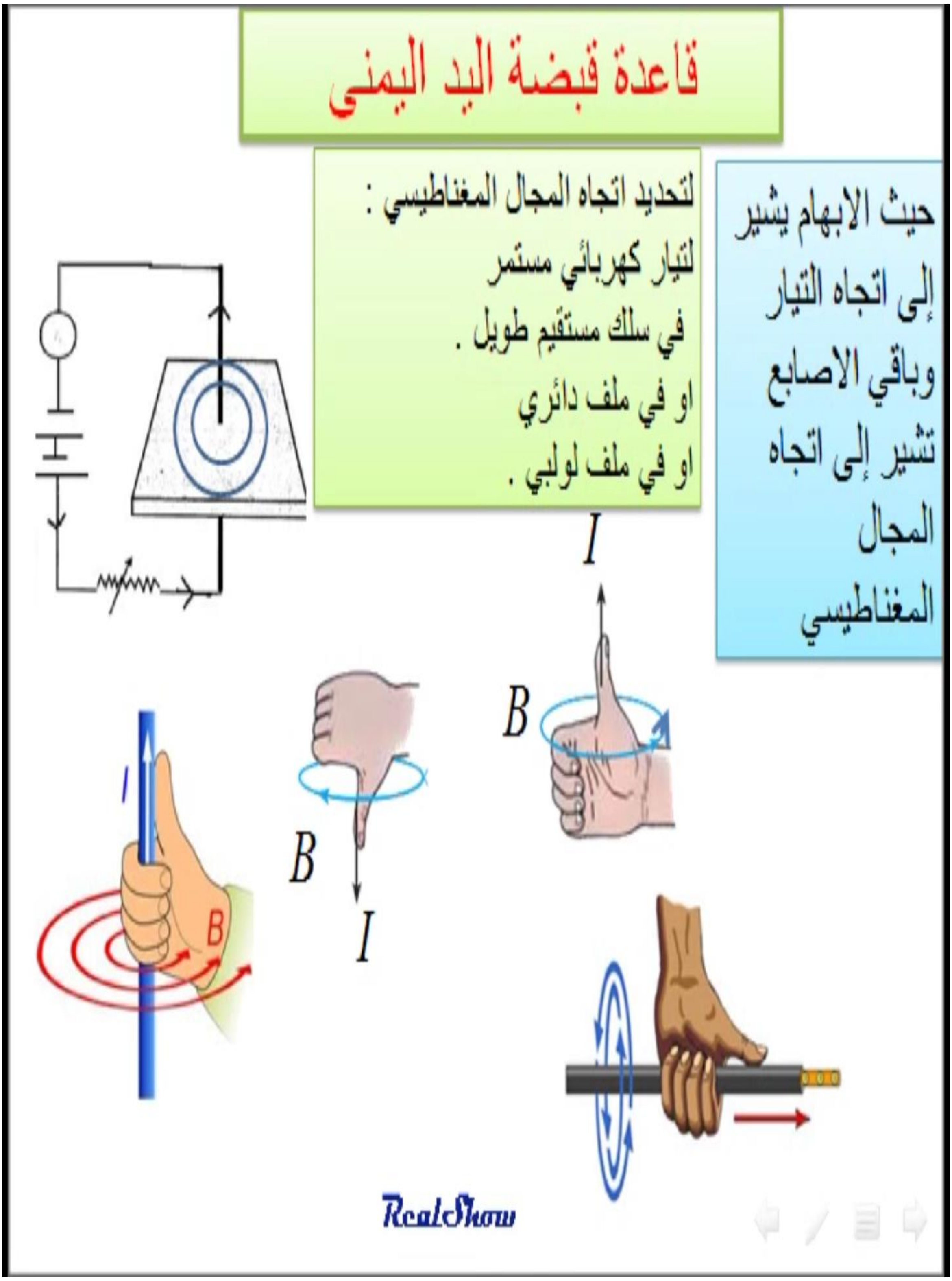
- تنطلق من القطب الشمالي و تدخل إلى القطب الجنوبى.
- كلما زادت كثافة الخطوط زادت شدة المجال المغناطيسي المكون لها.
- خطوط المجال المغناطيسي متصلة و غير متقطعة.

٣- ٣ المجال المغناطيسى لتيار يمر فى سلك:

إن أول من اكتشف وجودهذا المجال هو العالم الدانمركي أورستد Orested عام ١٨١٩ عندما وضع بوصلة مغناطيسية صغيرة بالقرب من سلك يمر فيه تيار كهربي فلاحظ انحراف البوصلة و عندما فصل التيار الكهربى عادت البوصلة إلى طبيعتها.

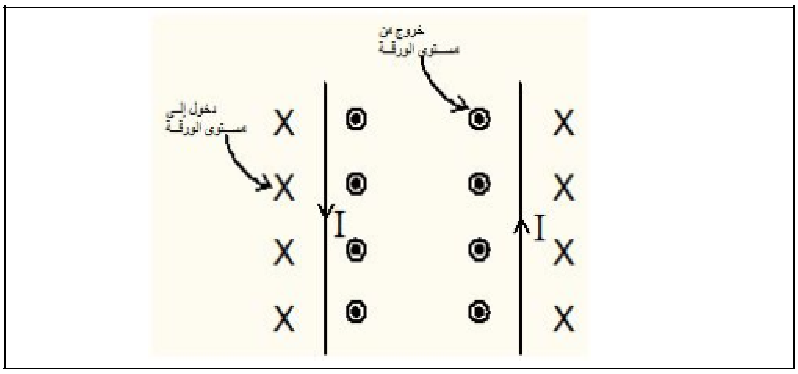


الشكل (٣- ٢) المجال المغناطيسي لسلك يمر فيه تيار


قاعدة قبضة اليد اليمنى
لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي :
لتيار كهربائي مستمر
في سلك مستقيم طويل .
او في ملف دائري
او في ملف لولبي .
حيث الابهام يشير
إلى اتجاه التيار
وباقي الاصابع
تشير إلى اتجاه
المجال
المغناطيسي
I
B
B
I
I
B

نلاحظ فى الشكل (٣- ٢) أن المجال المغناطيسي يتشكل على هيئة دوائر متحدة المركز و مركزها هو السلك الذى يمر فيه التيار و هي متعامدة مع اتجاه السلك .

و لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي نطبق قاعدة اليد اليمنى لأمبير بأن نقرص على السلك باليد اليمنى و نجعل الابهام في اتجاه التيار فتكون حركة بقية الأصابع تسير إلى اتجاه خطوط المجال و نلاحظ في الشكل (٣- ٢) أن السلك واقع في مستوى الورقة و دوائر المجال عمودية على مستوى الورقة و يمكننا تمثيل المجال بطريقة أخرى كما الشكل (٣- ٣)



الشكل (٣- ٣) تحديد اتجاه المجال المغناطيسي تبعاً لاتجاه التيار

و لدراسة المجال المغناطيسي لهذا السلك نجد حسب الشكل (٣- ٢) أن الدوائر التي تمثل خطوط الفيض المغناطيسي تتزاحم بالقرب من السلك و تتباعد بتباعدها عنه مما يدل على تناسب عكسي بين شدة المجال و المسافة من السلك ، كذلك وجد أن الدوائر حول السلك تزداد مع زيادة شدة التيار المار في السلك و قبل أن نتطرق إلى قانون أمبير نعرف بعض الكميات المغناطيسية مثل كثافة الفيض المغناطيسي مثل كثافة الفيض المغناطيسي "magnetic flux density "B و هي مقدار الفيض مقسوماً على وحدة المساحات

$$B = \frac{\emptyset m}{A} \qquad (3-1)$$

حيث $\emptyset_m$ هو الفيض المغناطيسي و يقاس بوحدة الوبر Weber

A هي المساحة العمودية على خطوط الفيض (المجال) (m^2)

B كثافة الفيض المغناطيسي و تقاس بالوبر/م٢ $weber/m^2$ و هذه الوحدة استبدلت حديثاً بوحدة التسلا (T) Tesla و هى الوحدة المعتمدة فى النظام العالمى للوحدات لقياس شدة المجال المغناطيسى .

و تتعين كثافة الفيض المغناطيسي لسلك يمر فيه تيار (I) عند نقطة تبعد عموديا مسافة (d) بقانون امبير الدائري Ampere circuital law

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d} \qquad (3-2)$$

حيث (I) شدة التيار بالأمبير (A)

(d) المسافة العمودية بالمتر (m)

(μ) النفاذية المغناطيسية للوسط و التى تعطى بالعلاقة

$$\mu = \mu_o \mu_r \qquad (3-3)$$

حيث μ_o نفاذية الهواء و هو مقدار ثابت يساوي

$$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \qquad \text{Weber/A.m} \quad (\text{T.m/A})$$

μ_r النفاذية النسبية للوسط. ونلاحظ أن النفاذية النسبية للمواد المغناطيسية (ferromagnetic) مثل الحديد و مركباته تكون عالية و كذلك لبعض المعادن مثل النيكل و الكوبالت أما غير المغناطيسية (paramagnetic) نفاذيتها النسبية تساوي تقريباً الوحدة و عليه فنفاذيتها الكلية تساوي نفاذية الهواء تبعاً للمعادلة (٣- ٣).

المثال (٣- ١)

احسب المجال المغناطيسي في الهواء على بعد (1cm) من سلك يحمل تياراً مقداره (1A). إذاكان السلك أفقياً في مستوى الورقة ثم ارسم المجال الناتج.

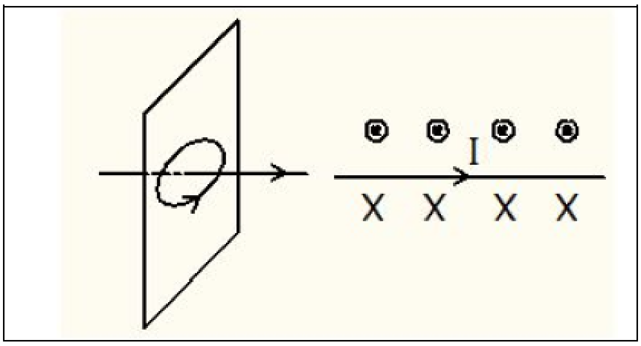
الحل: المقصود بالمجال المغناطيسي هو كثافة الفيض المغناطيسي (B)

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

حيث $\mu = \mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$ T.m/A

$$B = \frac{4\pi\times10^{-7}\times1}{2\pi\times1\times10^{-2}} = 2 * 10^{-5} \ T$$

و لتوضيح اتجاه المجال انظر الشكل ٣- ٤



الشكل (٣- ٤) اتجاه المجال للمثال (٣- ١)

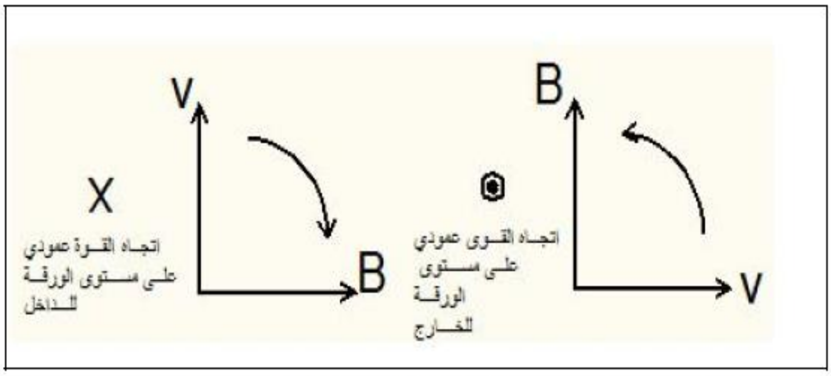
تعليق: نلاحظ أن اتجاه المجال المغناطيسي في المثال السابق أقل قليلاً من المجال المغناطيسي لسطح الأرض و هو (10^{-4}T) و على ذلك فالبوصلات المغناطيسية المستخدمة في توجيه السفن يجب أن تبتعد عن أي مجال مغناطيسي لأسلاك تحمل تياراً كهربياً.

٣- ٤ القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة متحركة

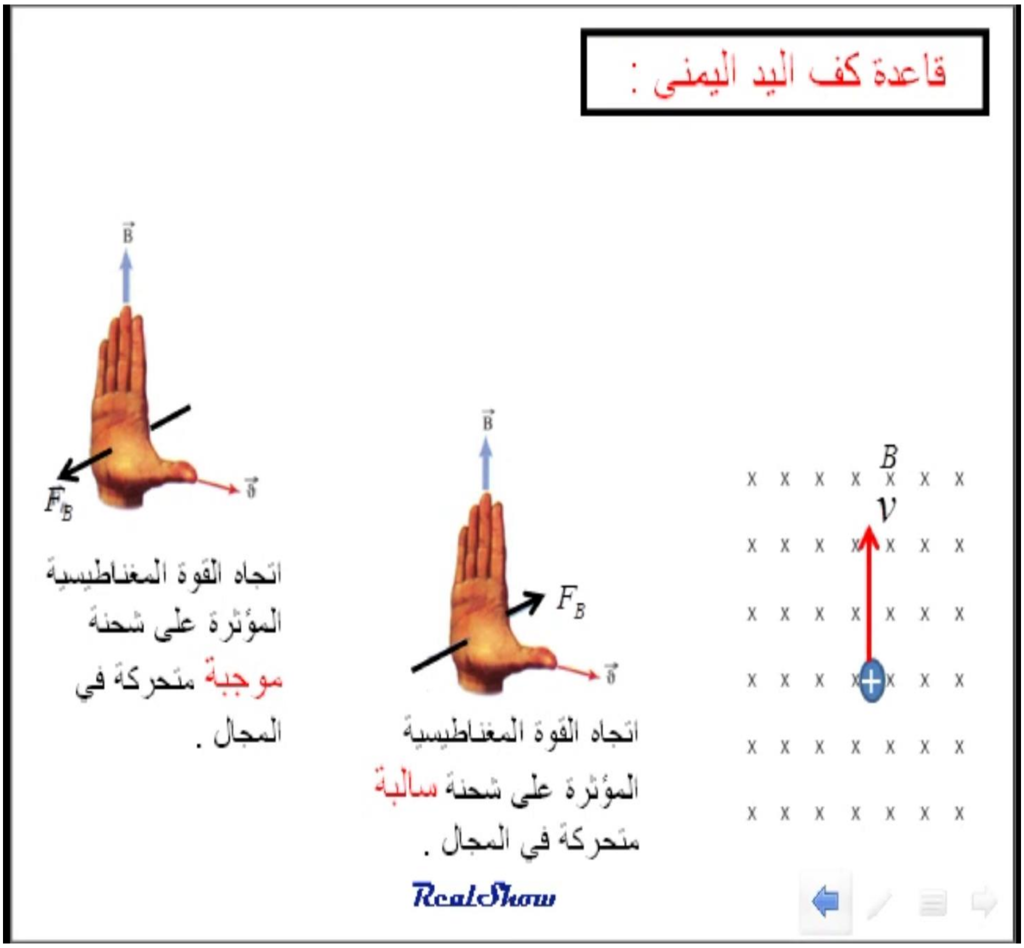
إذا تحركت شحنة (q) بسرعة (v) داخل مجال مغناطيسي (B) فإنها يمكن أن تتأثر بقوة مغناطيسية تؤدي إلى انحراف الشحنة عن مسارها الطبيعي في حالة عدم وجود المجال المغناطيسي و هذه القوة تعطى بالمعادلة الاتجاهية

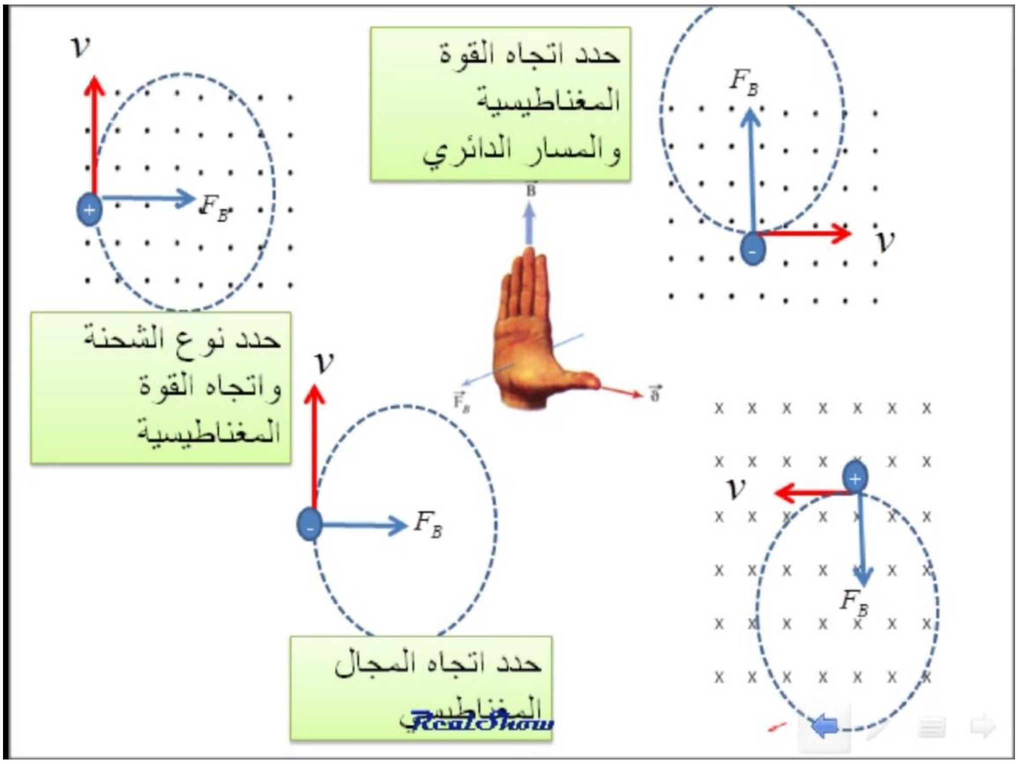
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \qquad (3-5)$$

فنجد أن القوة تكون عمودية على كل من اتجاهي السرعة والمجال المغناطيسي فهي عمودية على مستواهما ولتعيين اتجاه القوة نتبع قواعد الضرب الاتجاهي فندور من اتجاه السرعة إلى اتجاه المجال المغناطيسي و نطبق قاعدة البريمة اليمنى كما في الشكل (٣- ٥) في حالة تعامد $\vec{B}, \vec{v}$



الشكل (٣- ٥) تحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة متحركة



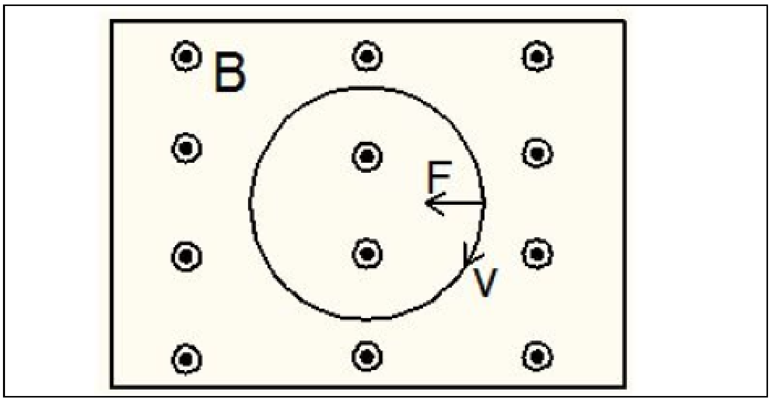


و المعادلة (3-5) يمكن أن تكتب بالصورة القياسية التالية

$$F = qvB\sin\theta \qquad (3-6)$$

حيث θ هي الزاوية بين متجه السرعة و المجال المغناطيسي.

و نلاحظ أن القوة تكون أكبر ما يمكن في حالة تعامد v على B و تكون منعدمة في حالة توازي اتجاه حركة الشحنة مع المجال المغناطيسي (θ=0) . ونلاحظ أنه في حالة التعامد فإن مسار الحركة يصبح دائرة كما هو ظاهر في الشكل (٣- ٦)



الشكل (٣- ٦) حركة الشحنة في دائرة في حالة تعامد B,v

و لايجاد نصف قطر المسار فإننا نساوي القوة المغناطيسية مع قوة الطرد المركزي على الشحنة

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \qquad (3-7)$$

حيث m هي كتلة الشحنة ، وR نصف قطر المسار

الطرف الأيمن من المعادلة (3-7) يمثل قوة الطرد المركزي (Centripetal force) المؤثرة على جسم يتحرك في دائرة نصف قطرها R بسرعة خطية v و باختصار المعادلة (3-7) نستنتج نصف القطر R

$$R = \frac{mv}{qB} \qquad (3-8)$$

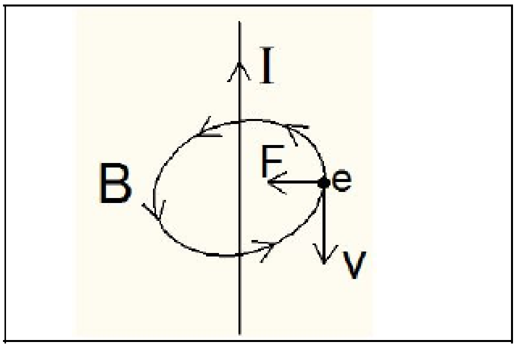
و نطبق وحدات النظام العالمي حيث R بالمتر (m) ، m بالكيلوجرام (kg) ، v بالمتر/ثانية (m/s) ، q بالكولوم (C) ، وB بالتسلا(T).

المثال (٣- ٢):

يتحرك إلكترون بسرعة $(10^{7}\ m/s)$ موازياً لسلك طويل يحمل تياراً مقداره $(100A)$ ، أوجد القوة المؤثرة على الالكترون إذا كانت حركته عكس اتجاه التيار على بعد $(10cm)$ من السلك . أعد الحل في حالة حركة لإلكترون عمودياً على اتجاه السلك للداخل.

الحل: نحسب أولا قيمة المجال المغناطيسي الناشيء عن السلك

انظر الرسم في الشكل (٣- ٧)



الشكل (٣- ٧) **حل المثال** (٣- ٢)

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi d}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 100}{2\pi \times 10 \times 10^{-2}} = 2 * 10^{-4}\ T$$

نلاحظ أن $\vec{v}$ عمودية على $\vec{B}$ وعليه تكون القوة المغناطيسية المؤثرة

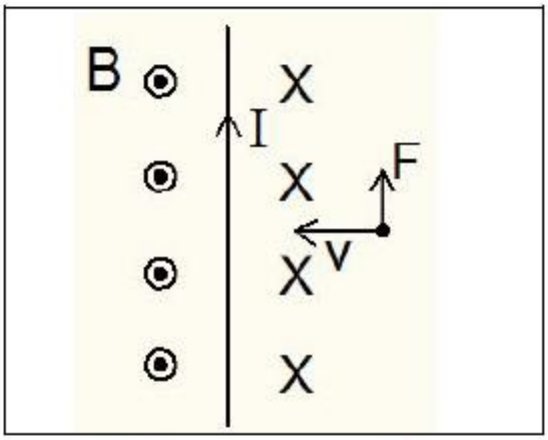
$$F = qvB$$

$$= evB$$

$$= 1.6 \times 10^{-19} \times 10^{7} * 2 \times 10^{-4}$$

$$= 3.2 \times 10^{-16}\ N$$

و حيث إن الإلكترون شحنة سالبة فإننا نعكس اتجاه القوة الناتج كما في الشكل (٣- ٧) و تكون القوة في اتجاه السلك.



الشكل (٣-٨) المثال (٣-٢)

المثال (٣-٣):

احسب نصف قطر دوران إلكترون سرعته ($3*10^7$m/s) في مجال مغناطيسي مقداره (10^{-5}T) متعامداً على اتجاه السرعة.

الحل:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

و نعوض ثوابت الإلكترون المعروفة

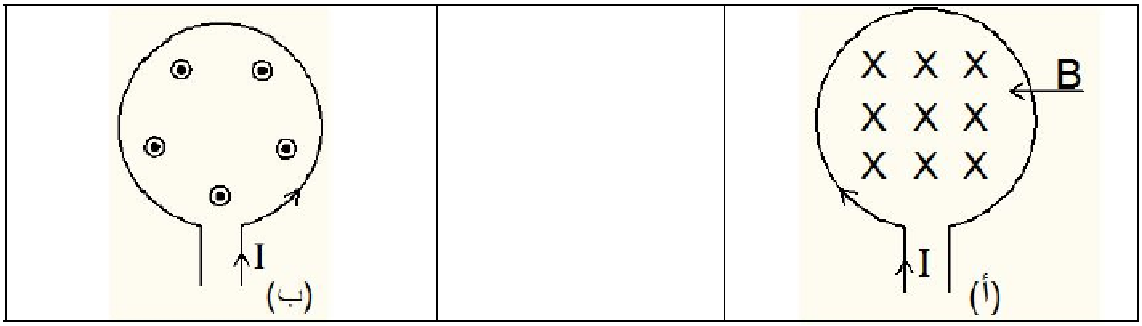
$$m = 9.1 \times 10^{-31}\ kg$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$$

$$R = \frac{9.1\times10^{-31}\times3*10^{7}}{1.6\times10^{-19}\times10^{-5}} = 17 \times 10^{-3}\ m = 17\ mm$$ فيكون نصف القطر

٣- ٥ المجال المغناطيسي لتيار يمر في ملف دائري

عند مرور تيار في ملف على الشكل حلقة دائرية (current loop) فإن المجال المغناطيسي الناتج عن هذا الملف يكون عمودياً على مستوى و موازياً لمحوره كما في الشكل (٣- ٩)



الشكل (٣- ٩) المجال المغناطيسي الناشيء عن ملف دائري

(أ) التيار مع عقارب الساعة والمجال خارج من مستوى الملف

(ب) التيار عكس عقارب الساعة والمجال داخل في مستوى الملف

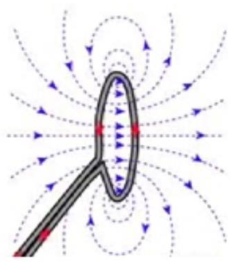
و يمكننا حساب المجال المغناطيسي B عند مركز الملف من العلاقة

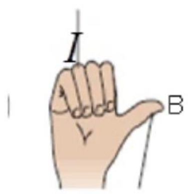
حيث (N) عدد لفات الملف إذا كان يتكون من أكثر من لفة ، و(μ) النفاذية المغناطيسية ، و(r) نصف قطر الملف و لإيجاد اتجاه المجال ندور مع اتجاه التيار و نطبق قاعدة البريمة اليمنى كما في الشكل (٣- ٩)

$$B = \frac{\mu N I}{2r} \qquad (3-9)$$

قاعدة قبضة اليد اليمنى

ولتحديد اتجاه التيار المار في **الملف** نطبق قاعدة قبضة اليد اليمنى حيث الابهام يشير إلى اتجاه المجال المغناطيسي وباقي الاصابع تشير إلى اتجاه التيار في الملف .





المثال (٣- ٤):

عين قيمة كثافة الفيض المغناطيسي عند مركز ملف دائري نصف قطره (10cm) و عدد لفاته (20) لفة و يمر فيه تيار مقداره (2A) علماً بأن الملف موضوع في الهواء.

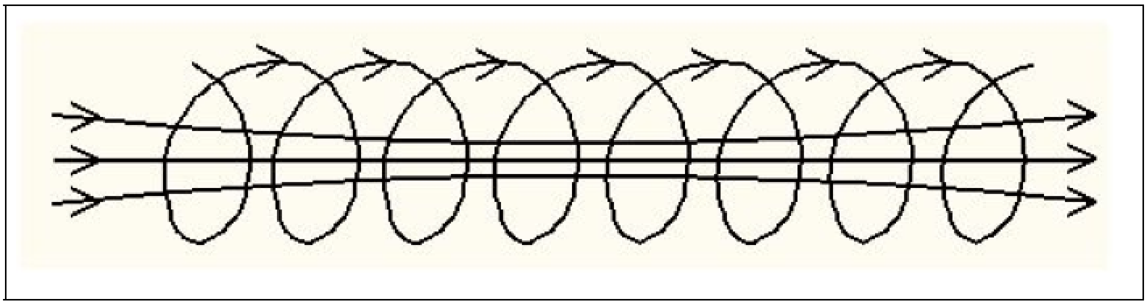
الحل:

$$B = \frac{\mu NI}{2r}$$

$$= \frac{4\times10^{-7}\times20\times2}{2\times10\times10^{-2}} = 2.5 * 10^{-4}\ T$$

لتحديد اتجاه المجال نطبق قاعدة اليد اليمنى كما في الشكل (٣- ٩)

٣- ٦ المجال المغناطيسي لتيار يمر في ملف لولبي solenoid



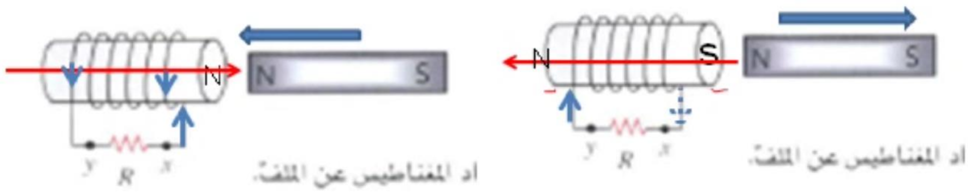
الشكل (٣- ١٠) المجال المغناطيسي لملف لولبي

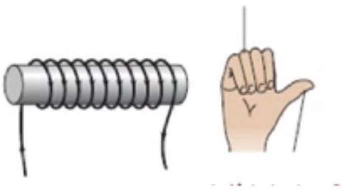
نلاحظ أن الملف اللولبي يشكل قضيباً مغناطيسياً ذا قطبين الشمالي يمثله طرف الملف الخارج من خطوط الفيض و الجنوبي يمثله طرف الملف الداخل إلى خطوط الفيض ولإيجاد الاتجاه نتعامل معه كما سبق في حالة الملف الدائري حيث الملف اللولبي هو مجموعة من الملفات الدائرية متحدة المحور كما في الشكل (٣- ١٠).

و يمكننا إيجاد كثافة الفيض المغناطيسي لهذا الملف من العلاقة

$$B = \frac{\mu N}{L} I \qquad 3-10$$

حيث (L) هو طول الملف ، و(N) عدد اللفات ، و(I) التيار المار ، و(μ) النفاذية المغناطيسية





مثال (٣- ٥):

احسب شدة المجال المغناطيسي لملف لولبي مكون من (٥٠٠) لفة يمر فيه تيار مقداره (1A) عند نقطة تقع على محور الملف علماً بأن طوله (20cm).

الحل:

$$B = \frac{\mu N I}{L}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 500 \times 1}{20 \times 10^{-2}} = 3.14 * 10^{-3}\ T$$

المثال (٣- ٦):

استكمالاً للمثال (٣- ٥) فإنه لزيادة كثافة الفيض في الملف السابق تم وضع قلب من الحديد داخله (Iron core). احسب شدة التيار المطلوبة لجعل كثافة الفيض (1T) علما بأن نفاذية الحديد النسبية هي ($12*10^3$).

الحل: نحسب أولاً نفاذية الوسط

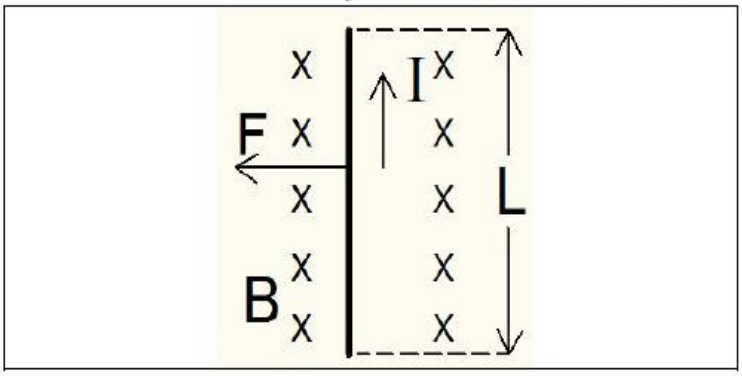
$$\mu = \mu_o \mu_r$$
$$= 4\pi \times 10^{-7} \times 12 \times 10^3$$
$$= 1.51 \times 10^{-2} \ \ \text{T.m/A}$$

ثم نوجد التيار من المعادلة

$$B = \frac{\mu N I}{L}$$
$$\therefore \ I = \frac{LB}{\mu N}$$
$$= \frac{0.2\times1}{1.51\times10^{-2}\times500} = 0.026\ A$$
$$= 26 \text{ mA} .$$

٣- ٧ القوة المغناطيسية المؤثرة على تيار مار في سلك

إذا وضعنا سلكاً مستقيماً يمر فيه تيار كهربي في مجال مغناطيسي أو بعبارة أخرى وضعناه بين قطبي مغناطيس فإن المجال المغناطيسي يؤثر على السلك بقوة و تكون هذه القوة عمودية على اتجاه التيار في السلك و كذلك على المجال المغناطيسي فهي عمودية على مستواهما و بديهي أن اتجاه القوة ينعكس اذا عكسنا أياً من اتجاه التيار أو اتجاه المجال المغناطيسي.

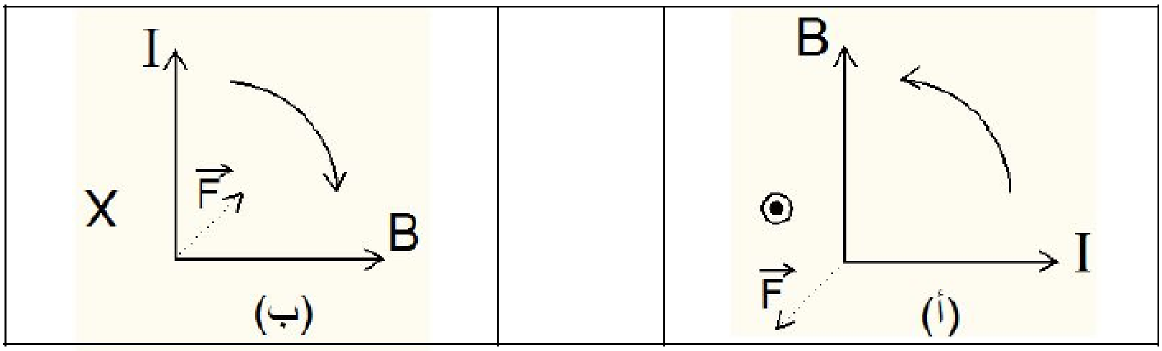


الشكل (٣- ١١) القوة المؤثرة على سلك يمر فيه تيار

و نلاحظ أن القوة تتناسب طردياً مع قيمة التيار (I) و طول السلك (L) و كثافة الفيض (B) و تحسب هذه القوة من المعادلة الاتجاهية

$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B} \qquad (3-11)$$

في هذه المعادلة الاتجاهية نجد أن متجه الطول $\vec{L}$ يأخذ اتجاه التيار و لايجاد اتجاه القوة فإننا نطبق قواعد الضرب الاتجاهي على المعادلة (3-11) فندور من اتجاه التيار إلى اتجاه المجال المغناطيسي و نطبق قاعدة البريمة اليمنى كما في الشكل (٣- ١٢)



الشكل (٣- ١٢) تحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك يحمل تياراً

(أ) القوة عمودية على مستوى الورقة للخارج

(ب) القوة عمودية على مستوى الورقة للداخل

هذا و يمكننا تحويل المعادلة (3-11) إلى المعادلة القياسية التالية

$$F = ILB \sin\theta \qquad (3-12)$$

حيث θ هي الزاوية بين اتجاه التيار في السلك و اتجاه المجال المغناطيسي و نلاحظ من هذه المعادلة أن القوة تنعدم إذا كان السلك موازياً للمجال المغناطيسي (θ=0) و تصبح أكبر ما يمكن اذا كان السلك متعامداً على المجال (θ=90°).

المثال (٣- ٧):

سلك طوله (30cm) يمر فيه تيار (4A) وضع عمودياً في اتجاه مجال مغناطيسي فتأثر بقوة مقدارها (6N) احسب

أ- كثافة الفيض المغناطيسي.

ب- القوة المغناطيسية المؤثرة على السلك إذا اصبحت الزاوية بينه و بين المجال (30°).

الحل:

$$F = ILB \sin\theta$$

$$\theta = 90^\circ$$

$$\therefore \; B = \frac{F}{IL}$$

$$= \frac{6}{4\times30\times10^{-2}} = 5\,T$$

و لحساب القوة في حالة (θ=30°)

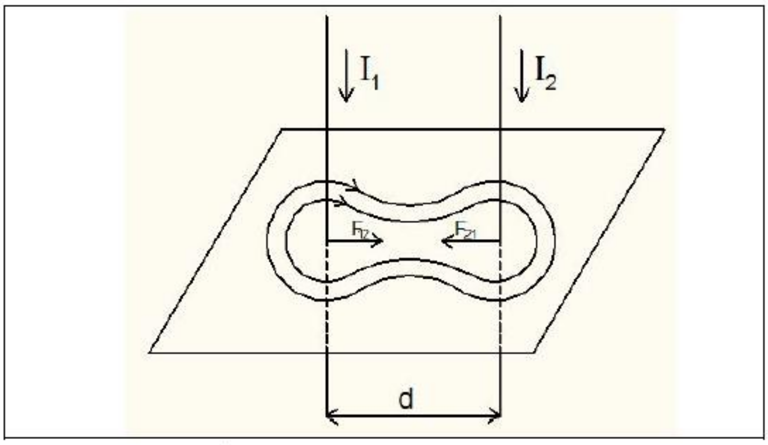
$$F = BIL \sin 30^\circ$$

$$= 5 * 4 \times 30 \times 10^{-2} \times \frac{1}{2} = 3N$$

٣- ٨ القوة المغناطيسية بين سلكين يحملان تياراً

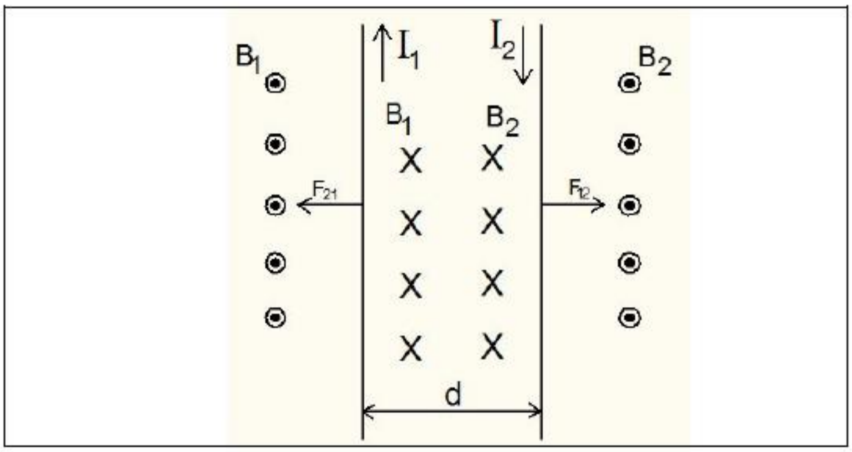
من المعلوم أن كل سلك يحمل تياراً يكون حوله مجال مغناطيسي و نتيجة لذلك فإن أي سلكين متجاورين يحملان تياراً يؤثر كل منهما بقوة مغناطيسية على الآخر و تكون القوتان متساويتين و مختلفتين في الاتجاه تبعاً لقانون الفعل و رد الفعل.

في الشكل (٣- ١٣) سلكان يحملان تيارين I_1, I_2 في نفس الاتجاه و نلاحظ أن المجال المغناطيسي في المنطقة بين السلكين يكون لأحد السلكين عكس السلك الآخر.



الشكل (٣- ١٣) القوة بين سلكين يحملان تياراً في نفس الاتجاه

و بذلك تكون المحصلة هي حاصل الطرح من المجالين أما خارج المسافة بين السلكين فالمجال يكون في نفس الاتجاه و بذلك تكون المحصلة هي حاصل الجمع و القوة الناشئة من هذا المجال من السلكين هي قوة تجاذب أما في الشكل (٣- ١٤) فالتيار في أحد السلكين عكس الآخر فنجد أن المجال بين



الشكل (٣- ١٤) القوة بين سلكين يحمل أحدهما تياراً عكس الآخر

السلكين يقوي بعضه بعضا و محصلته هي الجمع بين المجالين في حين أنه في المنطقة خارج السلكين يكون أحد المجالين عكس الآخر و محصلتهما هي الطرح بين الاثنين و القوة بينهما هي قوة تنافر و لكي نحسب مقدار هذه القوة نتبع الخطوات التالية

نحسب أولاً المجال المغناطيسي الناشىء عن I_1 عند السلك I_2

$$B_1 = \frac{\mu I_1}{2\pi d} \qquad (3-13)$$

و كذلك المجال الناشىء عن I_2 عند السلك I_1

$$B_2 = \frac{\mu I_2}{2\pi d} \qquad (3-14)$$

و هذان المجالان متعامدان على السلك و بالتالي تكون القوة التي يؤثر بها السلك الثاني على الأول

$$F_{21} = I_1 L B_2 \qquad (3-15)$$

حيث افترضنا طول كلا السلكين L

و بتعويض B_2 من معادلة (3-14) نجد أن

$$F_{21} = \frac{\mu I_1 I_2}{2\pi d} L \qquad (3-16)$$

و تكون القوة التي يؤثر بها السلك الأول على الثاني هي

$$F_{12} = I_2 L B_1 \qquad (3-17)$$

$$F_{12} = \frac{\mu I_1 I_2}{2\pi d} L \qquad (3-16)$$

و هي بالطبع نفس المعادلة (3-16) تبعاً لقانون نيوتن "لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار و مضاد له في الاتجاه". و كما أشرنا من قبل فإن القوة قوة تجاذب في حالة اتحاد اتجاه التيار في السلكين و قوة تنافر إذا كان في أحدهما عكس الآخر و من المتعارف عليه حساب القوة لوحدة الطول و على ذلك تؤدي المعادلة (3-16) إلى

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu I_1 I_2}{2\pi d} \qquad (3-18)$$

و الأمثلة التالية ستوضح لنا كيفية التطبيق على المعادلات السابقة.

المثال (٣- ٨):

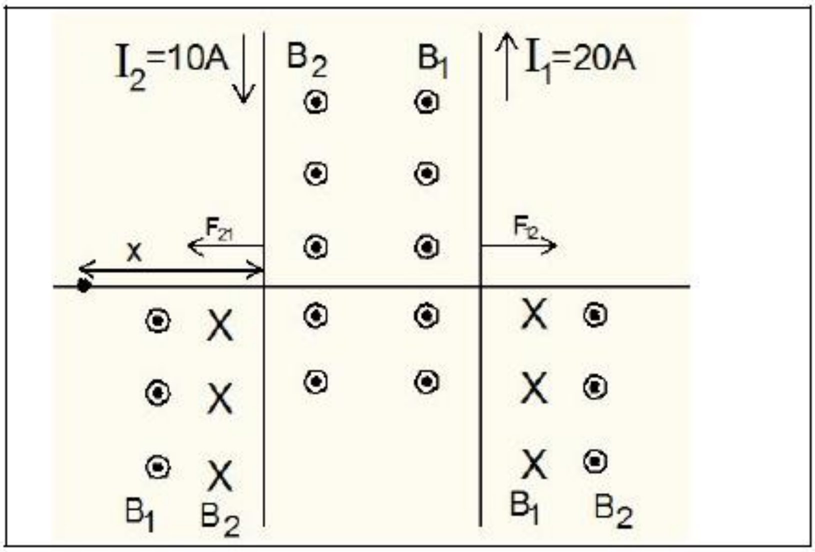
سلكان طويلان متوازيان الأول يحمل تياراً (20A) و الثاني يحمل تياراً (10A) و المسافة بين السلكين (10cm). التيار في أحد السلكين عكس الآخر. أوجد

١)المجال المغناطيسي عند نقطة في منتصف المسافة بين السلكين و اتجاهه.

٢)القوة التي يؤثر بها كل سلك على الآخر و اتجاهها.

٣)النقطة على الخط العمودي على السلكين التي ينعدم عندها المجال المغناطيسي.

الحل:



الشكل (٣- ١٥) **المثال** (٣- ٨)

نلاحظ من الشكل (٢- ١٥) أن المجال بين السلكين يكون في نفس الاتجاه عموديا على مستوى الورقة للخارج تبعاً لقاعدة اليد اليمنى

$$B_1 = \frac{\mu I_1}{2\pi \frac{d}{2}}$$

$$B_2 = \frac{\mu I_2}{2\pi \frac{d}{2}}$$

$$\therefore \quad B_{total} = B_1 + B_2$$

$$= \frac{\mu}{2\pi \frac{d}{2}} (I_1 + I_2)$$

$$= \frac{4\pi \times \times 10^{-7}}{2\pi \times 5 \times 10^{-2}} (20 + 10)$$

$$= 1.2 \times 10^{-4} \ T$$

٢)القوة بين السلكين هي قوة تنافر و نحسبها من المعادلة (3-18)

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu I_1 I_2}{2\pi d}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20 \times 10}{2\pi \times 10 \times 10^{-2}} = 4 * 10^{-4} \ N/m$$

٣)لايجاد النقطة التي ينعدم عندها المجال نلاحظ أن المجالين متضادان خارج المنطقة بين السلكين يمين السلك الأول و يسار السلك الثاني كما في الشكل (٣- ٨) و قيم التيارات تحتم أن تكون هذه النقطة جهة السلك ذي التيار الأصغر و على ذلك

$$B_1 = B_2$$

$$\frac{\mu I_1}{2\pi (10 + x)} = \frac{\mu I_2}{2\pi x}$$

و بتعويض التيارات و الاختصار

$$\frac{20}{10 + x} = \frac{10}{x}$$

$$\therefore \quad x = 10 \ cm$$

و لقد استخدمنا وحدة ال(cm) للمسافة نظراً لاننا نساوي بين المعادلتين و بالتالي يمكننا استخدام أي وحدة في كلا الطرفين.

المثال (٣- ٩):

أعد حل المثال (٣- ٨) مع افتراض أن التيار في كلا السلكين في نفس الاتجاه.

الحل:

في هذه الحالة يكون المجال في منطقة ما بين السلكين متعاكساً و تكون المحصلة

$$B_{total} = B_1 - B_2$$

$$= \frac{\mu}{2\pi d}\ (I_1 - I_2)$$

$$= 4 \times 10^{-5}\ T$$

و يكون عمودياً على مستوى الورقة للخارج باعتبار I_2 عكس اتجاهه عن الشكل (٣- ٨).

٢)القوة بين السلكين هي نفس القوة المحسوبة سابقاً و لكنها تصبح قوة تجاذب.

٣)النقطة التي ينعدم عندها المجال تقع في هذه الحالة بين السلكين و تكون قريبة للتيار الأصغر فلو اعتبرنا أنها على مسافة x من السلك الثاني (I_2) فنوجد x كالتالي

$$B_1 = B_2$$

$$\frac{\mu I_1}{2\pi(10+x)} = \frac{\mu I_2}{2\pi x}$$

$$\frac{20}{10+x} = \frac{10}{x}$$

$$30x = 100$$

$$x = 3.33\ cm$$

الصــــوت

The Sound

الموجات الطولية والموجات المستعرضة :

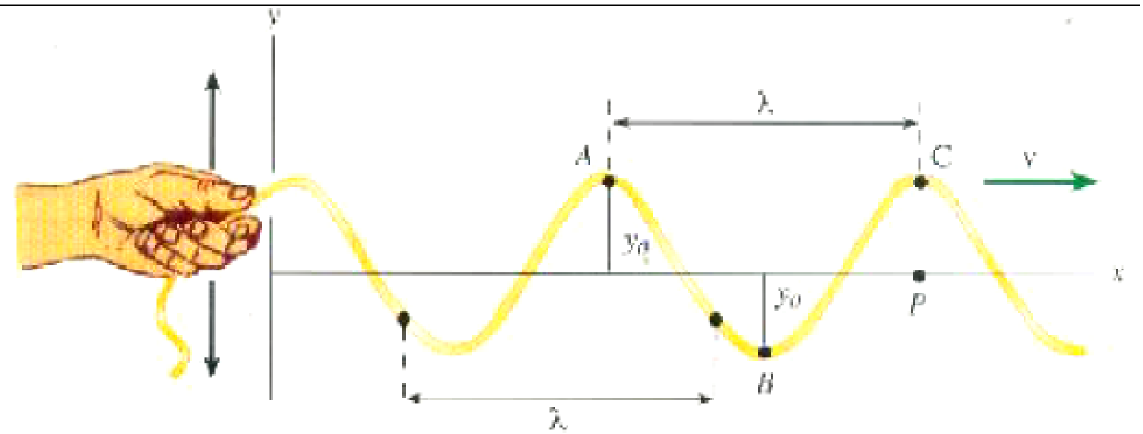
مقدمة عن الحركة الموجية :

تصدر الموجات من جميع الأجسام المهتزة،فالموجات التي تصدر نتيجة لاهتزاز أوتار مدودة تُنتج نغمات تصل إلينا خلال الهواء. وهناك مصادر كثيرة أخرى للأصوات كآلة البوق مثلاً حيث إن الموجات تنشأ نتيجة لاهتزاز شفتي مستخدمه عند فم الآله ولكن كلاً من هذه المصادر يتكون أساساً من جسم مهتز يقوم بتوليد الموجات في الهواء.

أن كل مانراه ونسمعه عند مشاهدة التلفزيون هو عبارة عن موجات تصل إلينا من محطة الإرسال ،وهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تتولّد في المحطة نتيجة لاهتزاز الشحنات الكهربائية في الهوائي،وتنتقل هذه الموجات في الهواء لتصل إلى جهاز التلفزيون الذي يستقبلها ثم يحولها الى موجات ضوئية وصوتية.

ومن الأمثلة على الحركة الموجية وتكوين الموجات عندما يسبب شيء اضطراباً في وسط ما سقوط حجر صغير على بحيرة ساكنة. فإذا سقطت حجر صغير مثلاً على بحيرة ساكنة فإنها تسبب حدوث موجات متحركة،وتسمى الحجرة في هذه الحالة مصدر الموجات .كما بالشكل (٦- ١).

ويقصد بالموجة الاضطراب الذي ينتقل في اتجاه معين وبسرعة معينة ولا يستلزم ذلك انتقال جزيئات الوسط الذي تسري فيه الموجة،بل إن الجزيئات تتحرك حركة اهتزازية دورية حول مواضع استقرارها . أي تتحرك حركة توافقية بسيطه يمكن تمثيلها بيانياً بالمنحنى الجيبي.



الشكل(٦- ٢) الشكل العام للحركة الموجية

س: هل الموجات تحمل الطاقة أم المادة ؟ وضح ذلك

ج: الموجات تحمل الطاقة من مكان الى آخر وليس المادة . ويمكن إثبات ذلك بتجربة بسيطة، فإذا جعلنا متدربين يُمسك كلاً منهما بطرف حبل، ثم قام أحدهما بتحريك الطرف الذي يمسك به إلى أعلى ثم إلى أسفل بشده، فإن الطاقه تمر من جزء من الحبل إلى الجزء التالي كموجه ويصبح كل جزء من الحبل في حالة حركه مع مرور الموجه، ولكن الحبل نفسه لا يتحرك الى الأمام مع الموجه. وسوف يشعر المتدرب الذي يمسك بالطرف الآخر بالطاقه التي تنقلها الموجه والتي تحاول تحريك يده.

تعريف الموجه : هي اضطراب لحظي ينتقل في الوسط المحيط بمصدر الاضطراب في اتجاه معين وبسرعة معينه ويقوم بنقل الطاقه في إتجاه إنتشاره.

أنواع الحركة الموجيه :

١- الحركة الموجيه الميكانيكية (Mechanical Waves):

هي الحركة الموجيه التي يلزمها وسط مادي (هواء، وماء، وحبل) يحمل الاهتزاز. وتنشأ عن مصدر مهتز أو متذبذب وتصنف إلى :

أ- موجات مستعرضة Transverse Wave

ب- موجات طوليه Longitudinal Waves

جـ- موجات سطحيه Surface Waves

٢- الحركة الموجية الكهرومغناطيسية (Electromagnetic Waves):

هي الحركة التي لاتحتاج الى وسط مادي لكي تنتشر بل يمكنها الانتشار في الفراغ، وتنشأمن اهتزاز مجالات كهرومغناطيسية.

ومن أمثلتها (موجات الراديو، والضوء، وأشعة جاما)

٣- الحركة الموجيه المادية (Matter Waves):

هي الموجات المصاحبة لحركة الجسيمات المادية (الإلكترونات) ويطلق عليها (أمواج دي برولي) .

سوف نتطرق في هذه الوحده بتفصيل أكثر شموليه عن الحركة الموجيه الميكانيكية بصنفيها (الموجات المستعرضة، والموجات الطولية).

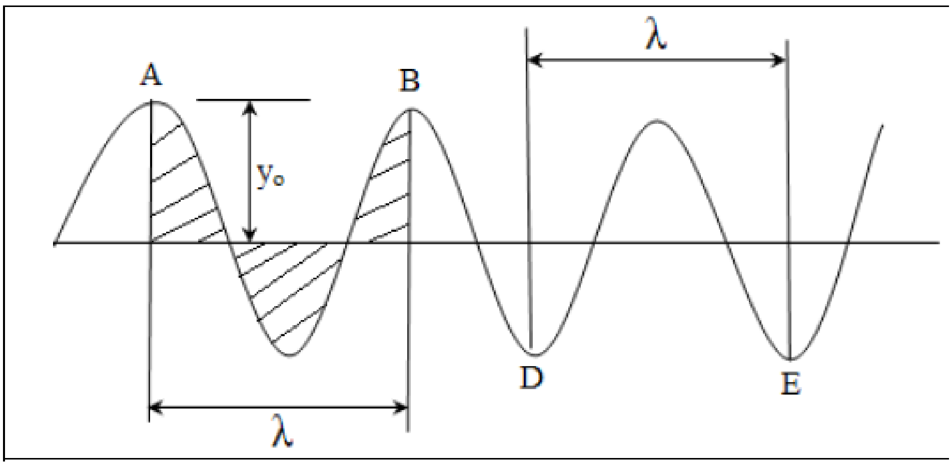
الموجات المستعرضة:

الموجات المستعرضة هي الموجات التي تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها في اتجاه عمودي على إتجاه إنتشار الموجة وتتكون من قمم وقيعان.

لنفرض أن سرعة الموجات التي يتحرك بها الاضطراب على الوتر هي (v) لاتعتمد على الاتساع أو التردد، ولكنهاتعتمد فقط على صلابة شد الوتر وكثافة (أي كتلة وحدة الحجم) الوسط أو الوتر، فعلى سبيل المثال تكون للحبل المشدود سرعة موجات أعلى من تلك التي تنتج عبر حبل مرتخ، وتكون سرعة انتقال الموجات عبر حبل خفيف قليل الكثافة، له درجة شد معينه، أعلى من سرعة انتقالها عبر حبل ثقيل له نفس درجة الشد.

فإننا نقوم بزيادة تردد الموجات أيضاً بتقصير المسافة بين قمتين أو قاعين وتسمى هذه المسافة بالطول الموجي .

والشكل (٦- ٣) يبين الكميات الفيزيائية المستخدمة في وصف الموجات .



لشكل(٦- ٣) الشكل الموجة الجيبية واستنتاج الكميات الفيزيائية

من الشكل تسمى النقطتان A و B على الموجة "قمتان"،وتسمى النقطتان D و E "قاعان" . وهو نفس الجزء من الموجة الذي تولّده دورة كاملة واحدة من المصدر المهتز،أي المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين،وتسمى المسافة الأفقية بين أي قمتين أو قاعين متتالين بالطول الموجي (λ) وسعة الموجة في الشكل هي (y_0).

هناك علاقة هامة بين الطول الموجي (λ) وسرعة الموجة (v) والتردد (f) لأي موجه حيث تنطبق على جميع أشكال الموجات .

من معادلة الحركة:

$$x = v \cdot t$$

يمكن تحولها إلى الصورة:

$$\lambda = v \cdot \tau$$

حيث τ : الزمن الدوري للاهتزاز.

وبما أن الزمن الدوري للاهتزاز يعطى بالعلاقة :

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

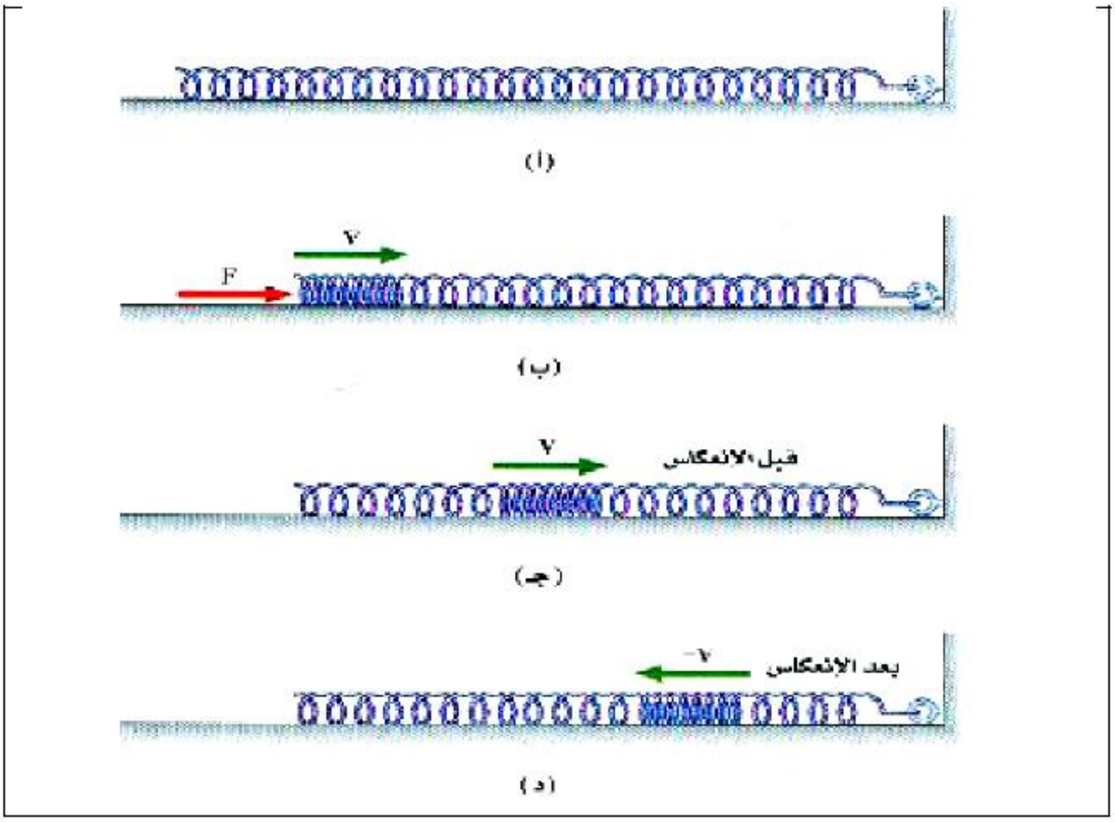
نجد أن :

$$\lambda = \frac{v}{f} \qquad (6-1)$$

الموجات الطولية :

الموجات الطولية هي الموجات التي تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها في اتجاه موازٍ لاتجاه انتشار الحركة الموجية وتتكون من تضاغطات وتخلخلات.

ولتوضيح ذلك نقوم بإجراء تجربة هامه باستخدام زنبرك طويل موضوع على سطح منضده ملساء ومثبت من أحد طرفيه (يوضح الشكل ٦- ٤أ) الزنبرك في حالة اتزان. وإذا ضغطنا الزنبرك فجأة كما في الشكل (٦- ٤ب) فإن الحلقات القريبة للطرف الذي سُلطت عليه القوة الضاغطة سوف تنضغط قبل أن يتعرض باقي الزنبرك إلى الاضطراب.

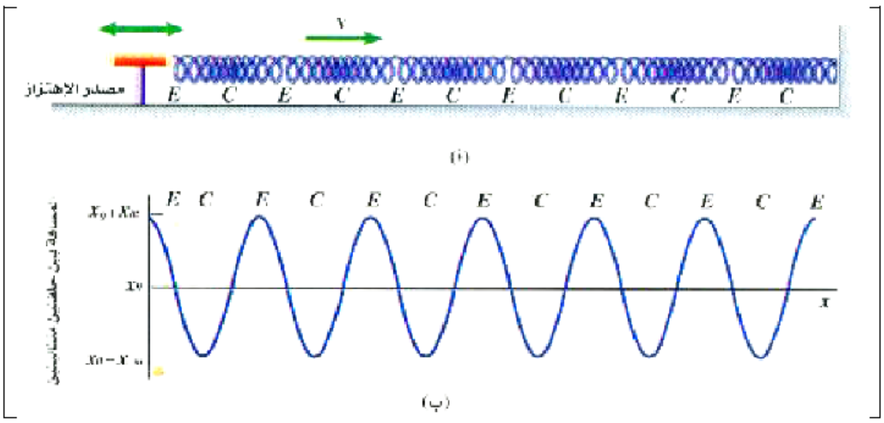


الشكل (٦- ٤) موجة طولية تتحرك بطول الزنبرك ثم تنعكس عند الطرف الثابت

وعندئذٍ سوف تؤثر الحلقات المنضغطة بقوة معينة على الحلقات التي تقع على يمينها،وعليه فإن الانضغاط سوف يتحرك في الزنبرك كما في الشكل . وعندما يصل الانضغاط إلى الطرف الثابت فإنه سوف ينعكس ويتحرك إلى اليسار كما في الشكل (٦- ٤د).

وبهذا يتضح لنا أن هذه الموجة طولية لأن جزيئات الزنبرك تهتز ذهاباً وإياباً في اتجاه الزنبرك،أي في اتجاه انتشار الموجة.

ولتوليد موجة طولية مستمرة نقوم بتوصيل الطرف الحر للزنبرك بمصدر مهتز يقوم بدفع هذا الطرف وشده بالتناوب بتردد (f) كما في الشكل (٦- ٥أ) .



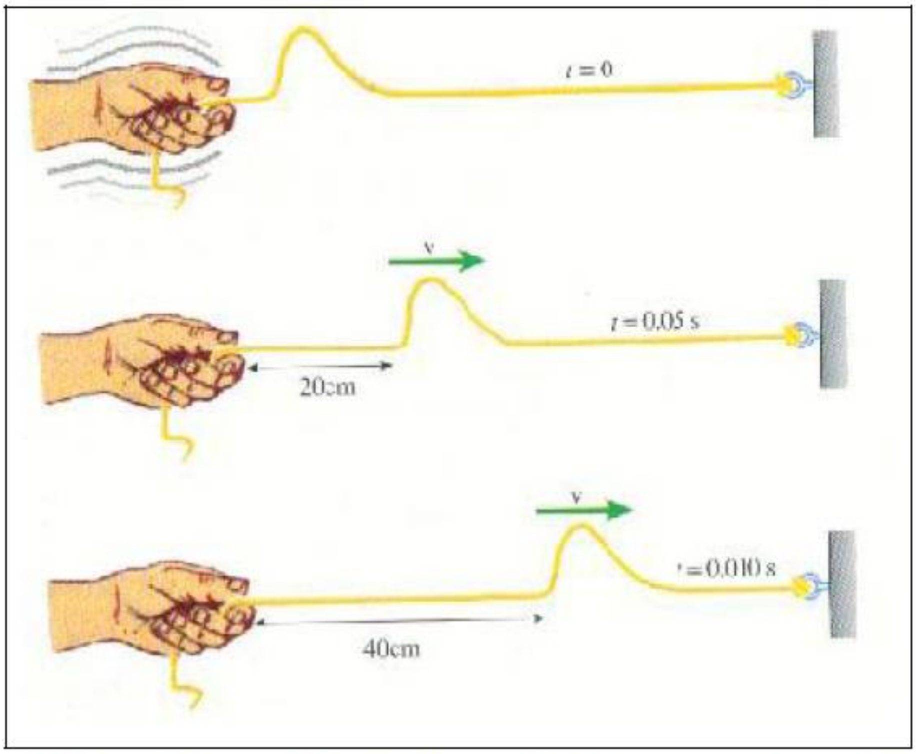
الشكل (٦- ٥) تأثير مصدر مهتز على زنبرك وتوليد موجه طولية مستمرة

ولتمثيل المسافة بين الحلقات المتجاوره على الزنبرك نجدها في الشكل (٦- ٥ب) حيث ان التغير في التضاغطات والتخلخلات يتبع منحنى جيبياً.

اهتزاز الأسلاك وطبيعة تكوّن الموجات الصوتية :

إن الأجسام المهتزة تعمل كمصادر للموجات ،فموجات الصوت يمكن أن تصدر من شوكة رنانة مهتزة أو سلك مهتز .

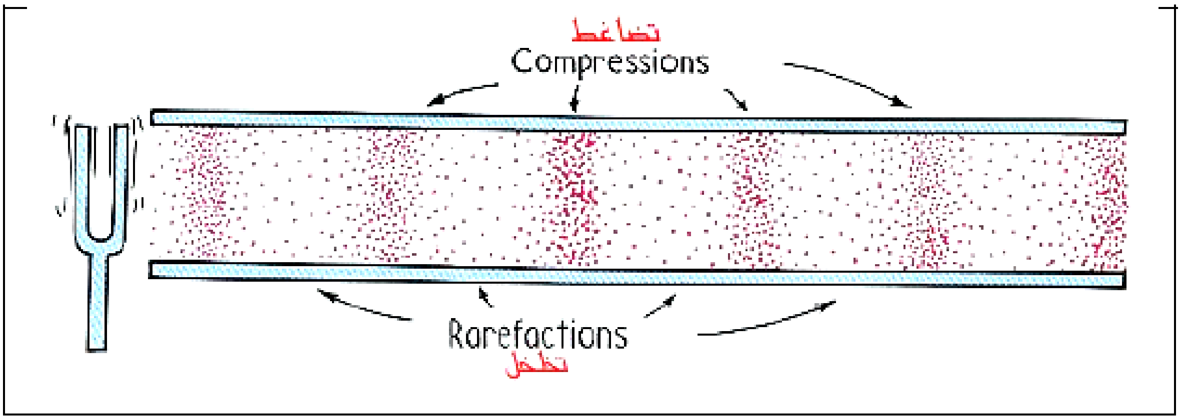
ولدراسة الموجة على سلك مشدود وفهم طبيعة تكّون الموجات الصوتية،نقوم بإرسال اضطراب معين ليتحرك على السلك وذلك بحركة فجائية لليد إلى أعلى ثم إلى أسفل بسرعة كبيرة كما بالشكل (٦- ٦) وعندئذٍ سوف يتحرك هذا الاضطراب على الوتر بسرعه (v).



الشكل (٦- ٦) النبضة تحمل معها الطاقة أثناء حركتها على السلك

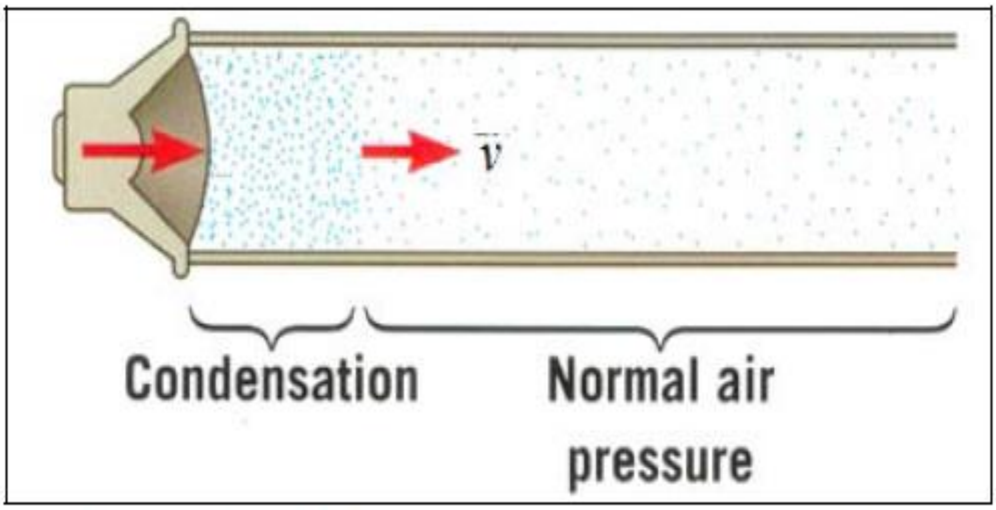
إذاً يمكن القول ان الموجات الصوتية هي نوع من الموجات الميكانيكية وهي التي تحتاج لوسط مادي لانتشارها حيث تُصنف على أنها موجات طولية أي أنها من تضاغطات وتخلخلات متتابعة.

والشكل (٦- ٧) يبين حركة الموجات الصوتية الصادرة من شوكة رنانة داخل أنبوب وحركة الجزيئات داخل الأنبوب ،مما أدى الى تكوّن تضاغطات وتخلخلات للجزيئات.



الشكل (٦- ٧) تأثير الشوكة الرنانة على الجزيئات داخل الأنبوبة

والشكل (٦- ٨) يبين صدور صوت من سماعه داخل أنبوبة فتؤدي إلى تكوّن تخلخلات وتضاغطات لجزيئات الهواء فتصل إلى طبلة الأُذن وتؤدي إلى تحريكها ومن ثم تقوم الأُذن بتمييز الصوت بناءً على تلك الموجات الصوتية.



شكل (٦- ٨) تأثير صوت السماعة على جزيئات الهواء

سرعة الصوت،والتردد،والطول الموجي :

هناك مفاهيم أساسية لدراسة الصوت وهي :

١- **سرعة الصوت (v)**: وهي السرعة التي يتحرك بها الصوت في الفضاء حيث يتحرك الصوت في الجو بسرعة (331 m/sec) عند درجة الصفر المئوية ($T= 0^{o}$).

وتعتمد سرعة الصوت على عاملين مهمين هما "الانضغاطية"و"طبيعة الوسط".

تعطى سرعة الموجة على السلك بعلاقة بسيطة،فإذا كان (T) هو الشد في السلك وكانت (m) كتلة جزء من السلك طوله (L) فإن سرعة الموجة على السلك تعطى بالعلاقة :

$$v = \sqrt{\frac{T}{m/L}} \qquad (6-2)$$

مثال (٦- ١) :

سلك كتلته (*2 gm*) وطوله (*60 cm*)، ماالشد اللازم للسلك لكي تكون سرعة الموجة عليه *300 m/sec* ؟

الحل :

من المعطيات :

$$m = 2gm = 2 \times 10^{-3}\ kg$$
$$L = 60\ cm = 60 \times 10^{-2}\ m$$
$$v = 300\ m/sec$$

وبالتعويض في القانون :

$$v = \sqrt{\frac{T}{m/L}}$$

$$(300\ m/sec) = \sqrt{\frac{T}{\left(\frac{2 \times 10^{-3}\ kg}{60 \times 10^{-2}\ m}\right)}}$$

$$(300)^2 = \frac{T}{3.33 \times 10^{-3}}$$

$$T = (300)^2(3.33 \times 10^{-3})$$

$$T = 300\ N$$

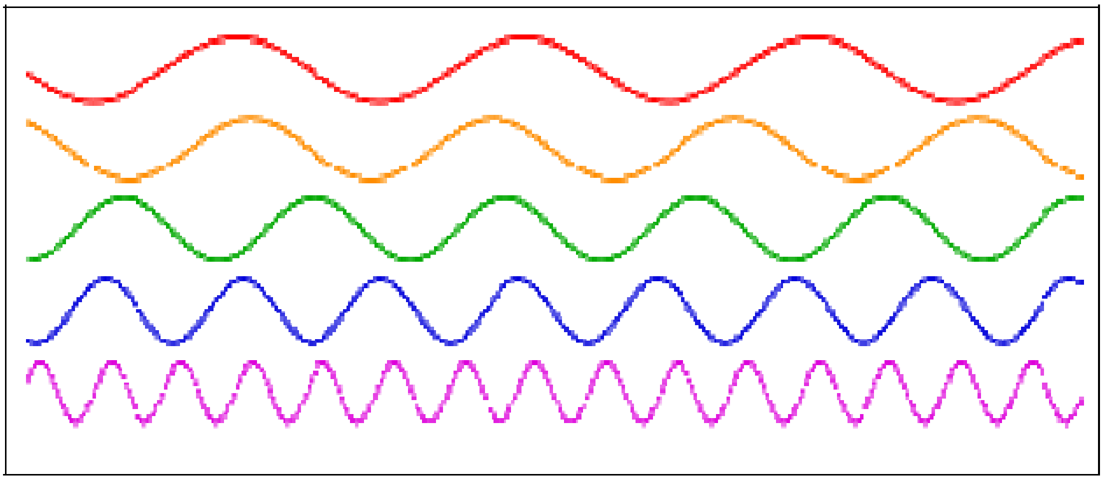
٢- **التردد (f)** : هو عدد الموجات التي تمر بنقطة معينة في مسار الحركة الموجية في زمن قدره واحدة ثانية .

وتقاس وحدة التردد بالهرتز (Hz) والتي تعادل $(1/sec)$ حيث :

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

حيث τ : الزمن الدوري وهو الذي يستغرقه الجسم المهتز في عمل اهتزازة كاملة.

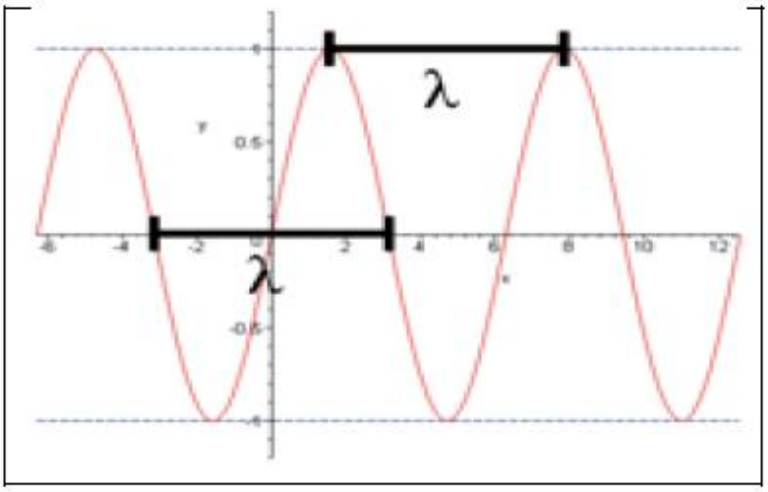
والشكل (٦- ٩) يبين أنواعاً لموجات جيبية بترددات مختلفة حيث تردد الموجة العلوية أقل من تردد الموجة التي أسفل منها وهكذا لجميع الموجات في الشكل.



الشكل (٦- ٩) أمواج جيبية ذات ترددات مختلفة.

٣- **الطول الموجي** (λ) : هو المسافة بين مركزي تضاغط متتاليين أو مركزي تخلخل متتاليين في اتجاه انتشار الموجة لهما نفس الطور (أي لهما نفس الإزاحة ونفس الاتجاه).

وتقاس وحدة الطول الموجي بوحدة المتر (m). ويبين الشكل (٦- ١٠) الطول الموجي لدالة جيبية.



الشكل (٦- ١٠) الطول الموجي لموجه جيبية.

هناك علاقة تربط المفاهيم الأساسية السابقة وتم التطرق إليها في شرح الحركة الموجية والتي تكتب بالصيغة :

$$\lambda = \frac{v}{f} \qquad (6-4)$$

حيث : v : سرعة الصوت في الوسط الناقل (m/sec).

τ : الزمن الدوري اللازم لإتمام دورة كاملة (sec).

وهذه العلاقة هامة جداً وصحيحة لجميع الموجات.

المثال (٦- ٢) :

إذا كان أحد أزرار البيانو يُصدر صوت تردده $(4185.65\ Hz)$ وكانت سرعة الصوت في الهواء $(341\ m/sec)$، أوجدالطول الموجي لهذا الصوت ؟

الحل :

المعطيات :

$$f = 4185.65\ \text{Hz}$$
$$v = 341\ \text{m/sec}$$

من القانون :

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

$$\lambda = \frac{341\ m/sec}{4185.65\ Hz}$$

$$\lambda = 0.0815\ m$$

$$\lambda = 8.15\ cm$$

مثال (٦- ٣) :

وحدة السونار تُرسل موجات صوتية إلى أعماق البحر فإذا رجعت الموجة الصوتية بعد ($1.3\ sec$) ما عمق البحر إذا كانت سرعة الصوت في الماء ($1493\ m/sec$) ؟

الحل :

إذا كان الزمن المعطى هو زمن ذهاب وعودة الموجة الصوتية فإن زمن الذهاب فقط هو :

$$\tau = \frac{1.3}{2} = 0.65\ sec$$

$$v = 1493\ \ m/sec$$

نطبق القانون :

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

وحيث أن :

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{0.65\ sec} = 1.53\ Hz$$

إذاً :

$$\lambda = \frac{1493}{1.53}$$

$$\lambda = 975.8\ m$$

انتقال الصوت في الأوساط المختلفة :

لقد ذكرنا سابقاً أن سرعة الصوت تعتمد على عاملين هما :

١- **الانضغاطية** : وهي إحدى خصائص الوسط الناقل حيث تتوقف على التغيرات في الضغط وعلاقته . وهو مايعرف بمعامل التمدد الحجمي (B).

٢- **طبيعة الوسط** : وهي كثافة الوسط ، فالموادالأكثر والأعلى كثافة تنقل الصوت بشكل أسرع ،ويرمزلكثافة الوسط بالرمز (ρ).

ويمكن تعيين سرعة الصوت في أي وسط من الأوساط باستخدام الصيغة الرياضية :

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \qquad (6-5)$$

ويعرف معامل الحجم (B) بأنه :

$$B = -\frac{\Delta P}{\Delta V / V} \qquad (6-6)$$

حيث V : هي حجم الوسط.

ΔV : التغير في الحجم.

وتعطى سرعة انتشار الموجات الصوتية في الأوساط المختلفة على النحو التالي :

أ- في حالة المواد الصلبة

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \qquad (6-7)$$

حيث Y : معامل يونج وهو معامل المرونة الطولي ويقتصر على المواد الصلبة فقط.

ويعطى معامل يونج من المعادلة :

$$Y = \frac{F/A_o}{\Delta L / L_o}$$

$$Y = \frac{F L_o}{A_o \Delta L} \qquad (6-8)$$

حيث F : مقدار القوة العمودية المؤثرة على السلك.

A_o : مساحة مقطع السلك.

L_o : طول السلك الأصلي (الابتدائي).

ΔL : مقدار التغير في الطول بعد تأثير القوة.

وتقاس وحدة معامل يونج (نيوتن/متر مربع)

$$1Y = (1\ N/m^2)$$

ب- في حالة الغازات :

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P}{\rho}} \qquad (6-9)$$

حيث γ : الثابت الكظمي ويعرف بالعلاقة :

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} \qquad (6-10)$$

حيث C_P : السعة الحرارية عند ثبات الضغط.

C_V : السعة الحرارية عند ثبات الحجم.

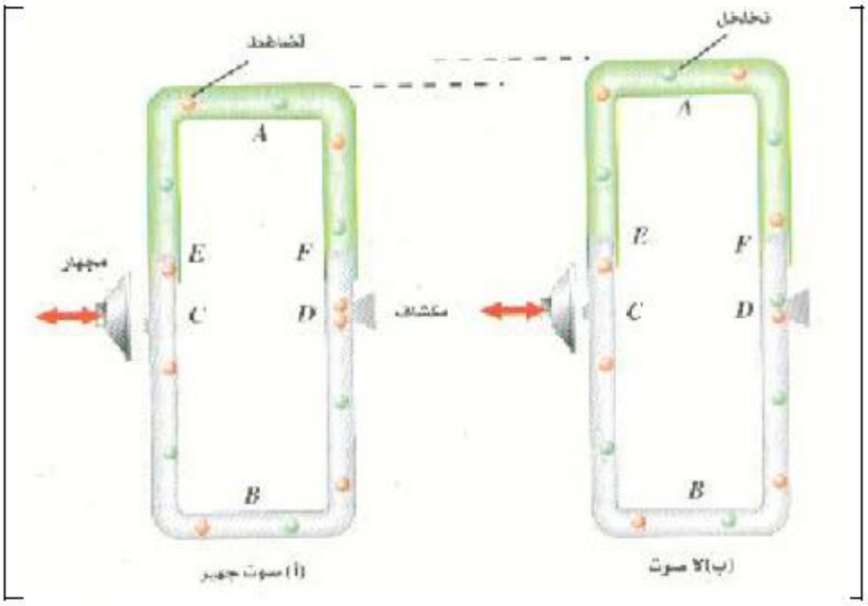
والجدول (٦- ١) يبيّن سرعة الصوت في بعض الأوساط المختلفة.

الوسط	درجة الحرارة	السرعة v (m/sec)
الهواء	(0^o)	331
الهواء	(20^o)	343
الهيدروجين	(0^o)	1286
الأُكسجين	(0^o)	317
الهيليوم	(0^o)	972
الماء	--	1493
مياه البحر	--	1533
الألمنيوم	--	5100
النحاس	--	3560
الحديد	--	5130
الرصاص	--	1322
المطاط	--	54

الجدول (٦- ١) سرعة الصوت في الأوساط المختلفة.

تداخل الموجات الصوتية ـ الموجات الموقوفة :

لنفرض أن لدينا نظاماً أنبوبياً كما بالشكل (٦- ١١) وأن موجة جيبية وحيدة التردد قد أُرسلت داخل الأنبوبة من الجانب الأيسر باستخدام مجهار عالي الجودة. عندئذ سينقسم الصوت إلى جزأين بحيث تمر نصف الشدة خلال الجزء العلوي ويمر النصف المتبقي خلال الأنبوبةالسفلية،وبذلك كل أنبوبة تحمل نصف كمية الصوت حيث إن الصوت عباره عن حركة موجية تتكون من تضاغطات وتخلخلات،وعند المخرج في الجانب الأيمن D تتحد الموجتان وتتضح باستخدام مكشاف صوتي،ويمكن أن يكون الصوت قوياً كما أتى من المدخل أو ضعيفاً حسب وضع الأنبوبة (EAF)،فإذا رفعنا هذه الأنبوبة إلى أعلى ببطء شديد سنلاحظ أن شدة الصوت عند D تزداد ثم تقل بطريقة تبادلية وهذا مايسمى بالتداخل.



الشكل (٦- ١١) تجربة تداخل الصوت باستخدام نظام أنبوبي

تعريف التداخل :

هو ظاهرة موجية تنشأ من تراكب موجتين صوتيتين أو أكثر متساويتين في التردد والسعة ينتج عنها تقوية للصوت في مواضع تسمى (تداخل بناء) وضعف أو انعدام في الشدة في مواضع تسمى (تداخل هدام).

شروط حدوث التداخل :

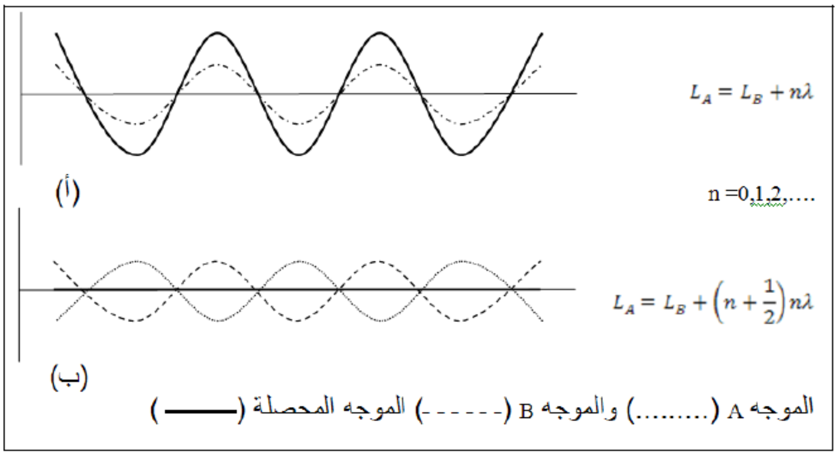
١- أن يكون للموجتين نفس التردد والسعة.

٢- أن يكون خط انتشار الموجتين واحداً أو بينهما زاوية صغيرة جداً.

التداخل البنّاء :

يحدث عندما يتقابل تضاغط من المصدر الأول مع تضاغط من المصدر الثاني أو تخلخل مع تخلخل.

والشكل (٦- ١٢ أ) يبيّن الشكل الموجة في التجربة السابقة عندما تكون سعة الموجة A الخارجة من D في نفس الوقت مع سعة الموجة B عند نفس المخرج وبذلك يتكوّن لدينا تداخل بنّاء، عندما يكون طول الأنبوب L_A مساوياً لطول الأنبوب L_B .



الشكل (٦- ١٢) أ- التداخل البناء . ب- التداخل الهدام.

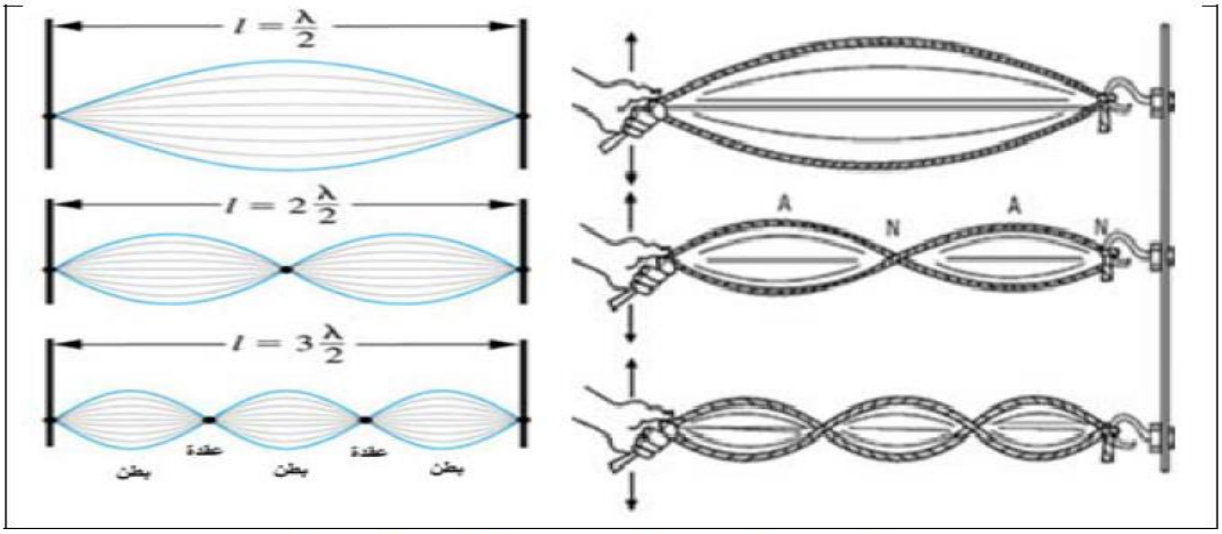
التدخل الهدام :

يحدث عندما يتقابل تضاغط من المصدر A مع تخلخل من المصدر B وذلك بسبب التغيير في طول الأنبوبة L_A .

الموجات الموقوفة :

للحديث عن الموجات الموقوفة يجب التطرق إلى إنعكاس الموجة عند إصطدامها بحائط ويتضح ذلك عندما نقوم بربط سلك على حائط ونقوم بعمل موجة نلاحظ طاقة الموجة المتحركة نحو الحائط سوف ترتطم فيمتص جزءاً صغيراً من الطاقة بينما الجزء الأكبر ينعكس.

وللتبسيط سوف نفترض عدم فقدان أي طاقة عند الانعكاس،فإذا قمنا بعمل حركة ثابتة لصنع موجة من الطرف الحر نلاحظ تصادم موجتين المنعكسة من الحائط والقادمة من المصدر فيظهر لنا تداخلان بحيث تنعدم الحركة في نقطة معينة على السلك طول الوقت وتسمى بالعقدة،بينما تظهر لنا بين كل عقدتين متتاليتين بطن الموجة وهي القيمة العظمى لذروة الموجة كما في الشكل (٦- ١٣).



الشكل (٦- ١٣) تكوّن العقد والبطون للموجات .

إذاً نجد أن المسافة بين بطنين متجاورين أو عقدتين متجاورتين هي $(\lambda/2)$ باعتبار أن المسافة بينهما هي نصف الطول الموجي للموجة .

ولو عدنا للشكل (٦- ١٣) مرة أخرى نجد أن الحركة بسرعة منتظمة تكون موجة موقوفة تسمى النمط الاهتزازي الأول أو الرئيسي وتتكون من نصف موجة ،وإذا قمت بزيادة سرعة الحركة يمكن أن تنتقل الى النمط الاهتزازي الثاني حيث تتكون من موجة كاملة في الاتجاهين وهكذا .

ويحدث الرنين عندما :

حيث $n = 1, 2, 3, \ldots\ldots$

L : طول السلك .

مثال (٦- ٤) :

سلك طوله $(6\ m)$ وسرعة الموجات عليه $(24\ m/sec)$ ما الترددات التي يحدث عندها الرنين ؟

الحل :

المعطيات $L = 6\ m$ $v = 24\ m/sec$

من القانون :

$$L = n\frac{\lambda}{2}$$

نوجد الأطوال الموجية الرنينية لعدة موجات حيث :

$$\lambda = \frac{2L}{n}$$

$n = 1$ $$\lambda_1 = \frac{2(6)}{1} = 12\ m$$

$n = 2$ $$\lambda_2 = \frac{2(6)}{2} = 6\ m$$

$n = 3$ $$\lambda_3 = \frac{2(6)}{3} = 4\ m$$

$$\therefore\ \lambda_n = \frac{12}{n} \quad (m)$$

وباستخدام المعادلة :

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

$$f_1 = \frac{24}{12} = 2\ Hz$$

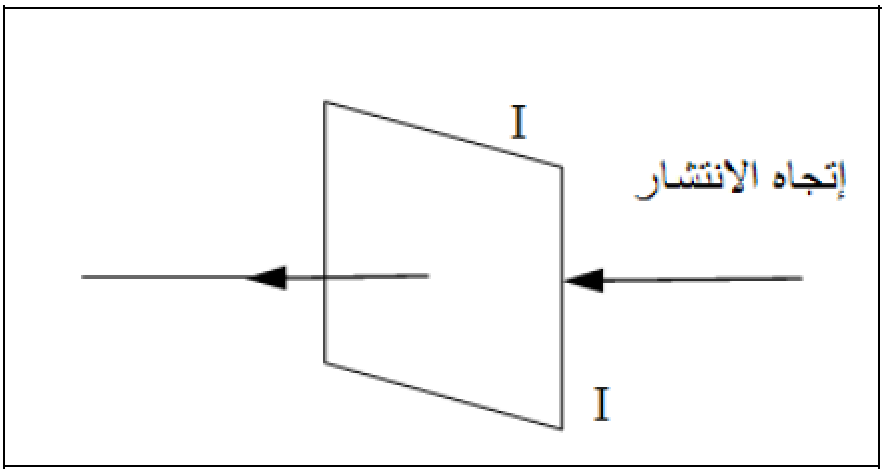
$$f_2 = \frac{24}{6} = 4\ Hz$$

$$f_3 = \frac{24}{4} = 6\ Hz$$

$$\therefore\ f_n = \frac{24}{12/n} = 2n \quad (Hz)$$

شدة الصوت وطرق قياسها ـ وحدة الديسيبل :

لنفترض أن موجة صوتية تتحرك في اتجاه الانتشار كما في الشكل (٦- ١٤) وبمعرفة شدة الموجة بدلالة الطاقة التي تحملها هذه الموجة. ونوضح ذلك برسم مساحة عمودية على اتجاه انتشار الموجة وذلك لتعريف شدة الموجة على أنها الطاقة التي تحملها الموجة في الثانية عبر وحدة المساحات العمودية على اتجاه انتشار الموجة،وهو تعريف شدة الصوت.



الشكل (٦- ١٤) إتجاه إنتشار الموجة على وحدة المساحات

ويرمز لشدة الصوت بالرمز (I) وتكتب الصيغة الرياضية لإيجاد قيمة الشدة :

$$I = \frac{P}{A} \qquad (6-12)$$

حيث P : قدرة الصوت .

A : مساحة مقطع السطح المستقبل لموجة الصوت .

ووحدتها في النظام الدولي (واط/مترمربع)

$$1I = 1(\ W/m^2\ )$$

وللتعريف عن شدة الصوت عن طريق استجابة الأذن للأصوات نستخدم مقياس الديسيبل.

ويمكن للأذن أن تسمع أصواتاً تتراوح تردداتها بين 20 Hz و $20x10^3$ Hz شرط أن تقع شدتها بين 10^{-12} W/m^2 و 1 W/m^2، ويستخدم الحد الأدنى من الشدة ويرمز له (I_o) كأساس مقارنة الأصوات بعضها البعض حيث نعرف مستوى الشدة بالعلاقة :

$$\beta = 10\log\left(\frac{I}{I_o}\right) \qquad (6-13)$$

والجدول (٦- ٢) يوضح مقياس الديسيبل لوحدة شدة الصوت ب(W/m^2)

شدة الصوت (W/m^2)	مستوى شدة الصوت (dB)
10^{-12}	0
10^{-11}	10
10^{-10}	20
10^{-9}	30
$\vdots$	$\vdots$
10^{-1}	110
1	120
10	130

الجدول (٦- ٢) قيم مستوى شدة الصوت بوحدة (dB)

المثال (٦- ٥) :

أوجد مستوى شدة الصوت بالديسيبل لموجة صوتية شدتها $10^{-5}\ W/m^2$ ؟

الحل :

المعطيات $I = 10^{-5}\ W/m^2$

وحيث إن :

$I_o = 10^{-12}\ W/m^2$

وبالتعويض في القانون :

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

$$\beta = 10 \log \frac{10^{-5}}{10^{-12}}$$

$$\beta = 10 \log 10^{7}$$

$$\beta = 10(7)$$

$$\beta = 70 \quad dB$$

المثال (٦- ٦) :

يصرخ ولد مصدراً صوتاً بقدرة $1\ mW$ يتوزع بانتظام على الشكل سطح نصف كرة أمامي، ماشدة الصوت الواصل لوالده الذي يقف على بعد $(5\ m)$ ومامستوى شدة الصوت هناك ؟

الحل :

نحسب شدة الصوت بعد $(5\ m)$ من المعادلة :

$$I = \frac{P}{A}$$

بملاحظة أن المساحة التي يغطيها هي نصف كرة فقط أي أن :

$$A = 2\pi r^2$$

$$A = 2\pi(5)^2 = 157\ \ m^2$$

وبذلك تكون الشدة :

$$I = \frac{P}{A}$$

$$I = \frac{1 \times 10^{-3}\ \ W}{157\ \ \ m^2} = 6.37 \times 10^{-6}\ \ \ W/m^2$$

$$\therefore I = 6.37\ \ \mu W/m^2$$

ولحساب مستوى الشدة نعوض في المعادلة :

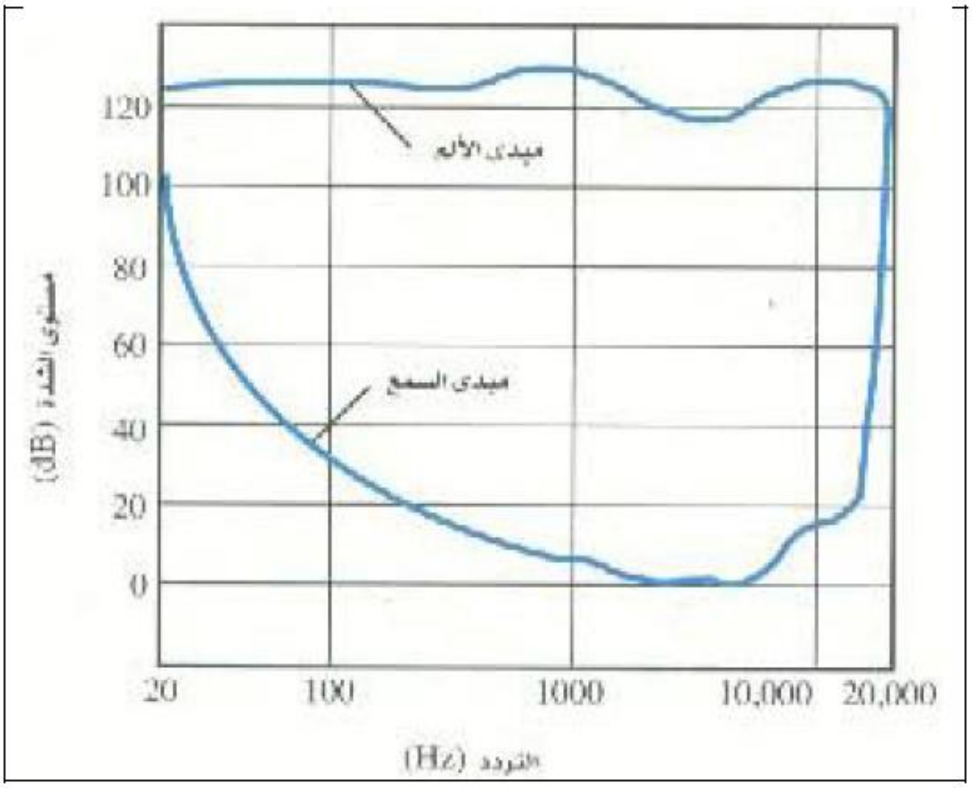
$$\beta = 10 \log\left(\frac{I}{I_o}\right)$$

$$\beta = 10 \log\left(\frac{6.37 \times 10^{-6}}{10^{-12}}\right)$$

$$\beta = 68\ \ dB$$

يختلف البشر في قدرتهم على سماع الأصوات وتعتمد استجابة الأذن للصوت على تردده بالإضافة إلى شدته وقد أثبتت الدراسات أن معظم الناس لا يستطيعون سماع الموجات الصوتية التي يزيد ترددها عن حوالي $(20{,}000\ Hz)$ وتسمى بالموجات فوق السمعية.

كما أن معظم الناس لا يستطيعون أن يسمعوا الأصوات التي يقل ترددها عن حوالي $(20\ Hz)$، وتصل حساسية الأذن إلى أقصى قيمة لها تقريباً عند $(3000\ Hz)$، أما عند الترددات التي تختلف عن هذه القيمة فيجب تعديل شدة الصوت حتى تتمكن الأذن من سماعه ويوضح ذلك الشكل (٦- ١٥) حيث يمثل المنحنى السفلي أقل مستوى شدة مسموع كدالة في التردد.



الشكل (٦- ١٥) مستوى سماع الأذن للأصوات التي تقع شدتها فوق المنحنى السفلي

فمثلاً يمكن للأذن العادية سماع صوت تردده (1000 Hz) عندما يكون مستوى شدة حوالي (5 dB) على الأقل كما يمكن سماع صوت تردده (100 Hz) بشرط أن يكون مستوى شدته حوالي (30 dB) .

إذاً يمكن للأذن سماع الأصوات التي تقع تردداتها بين (20 Hz و 20,000 Hz) بشرط أن تكون شدتها كبيرة جداً .

ومن هذا نستطيع أن نقول أن التعرض لأصوات مستوى شدتها عالٍ حوالي (90 dB) لفترات طويلة يمكن أن يسبب فقداناً للسمع.

تأثير دوبلر Doppler effect

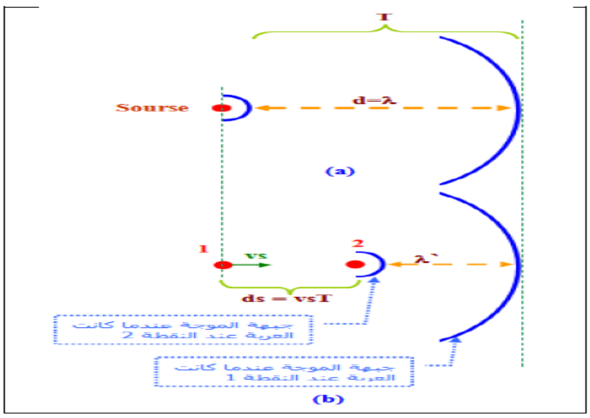
تأثير أو ظاهرة دوبلر هي تغير في التردد المقاس نتيجة الحركة النسبية بين المصدر والمراقب . وتعتمد سرعة الصوت على خصائص الوسط الذي ينتشر فيه بغض النظر عن طبيعة المصدر ونوعه، إلا أن حركة منبع الصوت أو المستمع تؤثر على مانسمعه بشكل واضح، وكل من استمع إلى صفير سيارة الأسعاف وهي مسرعة بالنسبة لنا ينتبه لتغير شدة صوتها عندما يقترب منها وعندما يبتعد عنها وهذا مايسمى بتأثير دوبلر.

ونستنتج من مثال السيارة أن عدد القمم الموجية التي تصل الى الأذن تكون أكبر إذا كانت السيارة تتحرك نحوك عن قيمتها إذا كانت السيارة تتحرك مبتعدة عنك حيث أن الموجات المنبعثة من السيارة (مصدر الصوت) المتحركة سوف تنضغط في حيّز أصغر وبذلك تكون عدد القمم الموجية التي تصل الى المستمع في الثانية أكبر وبالتالي فإن التردد يكون أكبر.

وبذلك تكون ظاهرة دوبلر تحدث عندما تكون هناك حركة نسبية بين مصدر الصوت sound source والمراقب observe ويمكن أن تكون الحركة النسبية هي حركة المصدر بينما المراقب ثابت أو أن يكون المراقب متحركاً والمصدر ثابت وفي كلتا الحالتين سوف نقوم بإشتقاق العلاقة الرياضية التي تربط بين تردد الصوت المعدّل نتيجة للسرعة النسبية وبين التردد عندما يكون كل من مصدر الصوت والمراقب ثابتين .

أولاً : المراقب ثابت والمصدر متحرك بسرعة v_s

سنقوم في البداية بالتعامل مع حالة المصدر مقتربا من المراقب، ولشرح فكرة الاشتقاق سنقوم بمقارنة حالة ثبات المراقب والمصدر الصوتي كما هو في الشكل (٦- ١٦ a) ومن ثم نفترض أن المصدر الصوتي يتحرك بسرعة v_s باتجاه المراقب كما في الشكل (٦- ١٦ b) .



الشكل (٦- ١٦) a) المصدر ثابت والمراقب ثابت.
b) المصدر متحرك والمراقب ثابت.

من الشكل (٦- ١٦ a) عند ثبات المراقب والمصدر الصوتي فإن جبهة الموجة الصوتية تصل إلى المراقب بتردد محدد هو التردد الأصلي للمصدر والذي يرمز له بالرمز (f) ويكون الزمن بين جبهتي موجتين متتاليتين هو الزمن الدوري (T) :

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

أما الشكل (٦- ١٦ b) عندما يتحرك المصدر بسرعة v_s مقترباً من المراقب فإن جبهة الموجة تصل إلى المراقب عندما تكون السيارة عند الموقع (1) وبعد زمن دوري (T) تصل جبهة الموجة الثانية للمراقب بينما تكون السيارة قد تحركت مسافة ds والتي تساوي حاصل ضرب سرعة السيارة (v_s) في الزمن الدوري (T) .

وبما أن الجبهه الأولى للموجه قطعت مسافه قدرها (d) حيث :

$$d = v\,T \qquad (6-14\,a)$$

حيث v : سرعة الصوت في الهواء وهي متساوية في الحالتين.

تكون العربة قد تحركت مسافة قدرها (ds) حيث :

$$ds = v_s T \qquad (6-14\,b)$$

حيث v_s : سرعة السيارة.

وعلية فإنه بمقارنة الطول الموجي في الشكل (٦- ١٦ a) و (٦- ١٦ b) نحصل على العلاقة التالية :

$$\lambda' = d - ds$$

$$\lambda' = \lambda - v_s T$$

وبالتعويض عن الزمن الدوري نحصل على :

$$\lambda' = \lambda - v_s\left(\frac{\lambda}{v}\right)$$

$$\lambda' = \lambda\left[1 - \frac{v_s}{v}\right] \qquad (6-15)$$

ويكون التغيير في الطول الموجي :

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = -v_s\frac{\lambda}{v}$$

نستنتج من العلاقة أن التغير في الطول الموجي يتناسب طردياً مع سرعة المصدر (v_s) . ولإيجاد التغير في التردد نستخدم المعادلة :

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda\left[1 - \frac{v_s}{v}\right]}$$

$$f' = f\frac{1}{\left[1 - \frac{v_s}{v}\right]} \qquad (6-16)$$

وفي حالة المصدر مبتعداً عن المراقب تكون المعادلة :

$$f' = f\frac{1}{\left[1 + \frac{v_s}{v}\right]} \qquad (6-17)$$

تطبيق (٦- ١) :

إذا كان هناك مصدر يُطلق صوتاً تردده ($400\ Hz$) في حالة السكون

أ- إذا تحرك المصدر نحو المراقب بسرعة ($30\ m/sec$) فإن المراقب يسمع الصوت بتردد مقداره :

$$f' = 400\ Hz\frac{1}{\left[1 - \frac{30\ m/sec}{343\ m/sec}\right]}$$

$$f' = 438\ Hz$$

سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة 20^{o} ($v=343\ m/sec$)

ب- إذا تحرك المصدر مبتعداً عن المراقب بنفس السرعة فإن المراقب يسمع الصوت عند تردد مقداره :

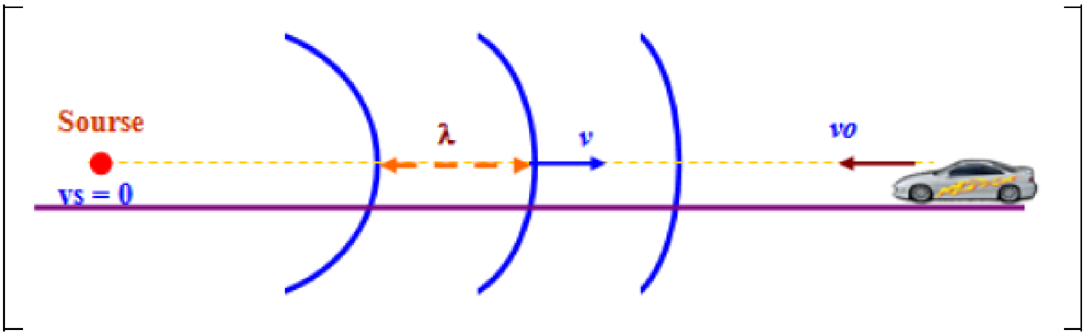
$$f' = 400\ Hz\frac{1}{\left[1 + \frac{30\ m/sec}{343\ m/sec}\right]}$$

$$f' = 368\ Hz$$

ماذا تلاحظ في كلتا الحالتين؟

ثانياً : المراقب متحرك بسرعة v_s والمصدر ثابت :

عندما يتحرك المراقب مقتربا أو مبتعدا عن المصدر الصوتي فإن ظاهرة دوبلر تحدث في مثل هذه الحالة باختلاف المعالجة الفيزيائية حيث يكون الطول الموجي للصوت ثابتاً سواء أكان المراقب مبتعداً عن المصدر أم مقترباً منه، ولكن الذي يتغير هو سرعة الصوت بالنسبة للمراقب كما بالشكل(٦- ١٧).



الشكل (٦- ١٧) المصدر ثابت والمراقب متحرك

حيث تكون السرعة على النحو التالي :

عندما يكون المراقب مقترباً من المصدر $v' = v + v_o$

عندما يكون المراقب مبتعداً عن المصدر $v' = v - v_o$

حيث v_o : سرعة المراقب.

v : سرعة الصوت في الهواء.

وعليه يكون التردد في حالة المراقب مقترباً من المصدر :

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v + v_o}{\lambda}$$

وبالتعويض عن الطول الموجي نحصل على :

$$f' = \frac{v + v_o}{v/f}$$

$$f' = f\left[1 + \frac{v_o}{v}\right] \qquad (6-18)$$

أما في حالة كون المراقب مبتعداً عن مصدر الصوت تصبح المعادلة :

$$f' = f\left[1 - \frac{v_o}{v}\right] \qquad (6-19)$$

ويمكن اختصار النتائج السابقة بكتابة التردد المسموع في الحالة العامة لحركة كل من المصدر والمراقب على النحو التالي :

$$f' = \left(\frac{v + v_o}{v - v_s}\right) f \qquad (6-20)$$

حيث v_o, v_s : تحمل إشارة سالبة إذا كان المراقب أو المصدر يبتعد أحدهما عن الآخر .

v_o, v_s : تحمل إشارة موجبة إذا كان المراقب أو المصدر يقترب أحدهما من الآخر .

المثال (٦- ٧) :

مصدر ساكن يُصدر صوتاً تردده $(1000\ Hz)$ باتجاه حاجز يقترب منه بسرعة $(20\ m/sec)$ فينعكس عنه عائداً لمستمع يقف بجوار المصدر. ماالتردد الذي يسمعه المستمع إذا كانت سرعة الصوت في الهواء $(343\ m/sec)$؟

الحل :

يعتبر الحاجز بالنسبة للمصدر مستمعاً يقترب منه بسرعة $(20\ m/sec)$، كما أنه يعتبر بالنسبة للمستمع (المراقب) منبعاً يقترب منه بنفس السرعة، لذا نطبق العلاقة :

$$f' = \left(\frac{v + v_o}{v - v_s}\right) f$$

$$f' = \left(\frac{343 + 20}{343 - 20}\right) 1000$$

$$f' = 1123.84\ \ Hz$$

المثال (٦- ٨) :

باص يتحرك بسرعة $(30\ m/sec)$ مقترباً من صفارة مصنع ترددها $(500\ Hz)$.

أ- ما تردد الصوت الذي يسمعه السائق ؟ علماً أن سرعة الصوت في الهواء $(343\ m/sec)$

ب- كرر المسألة في حالة غادر الباص المصنع .

الحل :

$$f' = \left(\frac{v + v_o}{v - v_s}\right) f$$

$$f' = \left(\frac{343 + 30}{343 - 0}\right) 500 = 543.7\ \ Hz$$

$$f' = \left(\frac{v + v_o}{v - v_s}\right) f$$

$$f' = \left(\frac{343 + (-30)}{343 - 0}\right) 500 = 456.3\ \ Hz$$

الضـــــوء
The Light

(٧- ١) الضوء كموجة كهرومغناطيسية :

إن أهم تطور يتعلق بالنظرية الموجية للضوء كان العمل الذي قام به ماكسويل Maxwell سنة ١٨٧٣م والذي بيّن نظرياً بأن الضوء الشكل من أشكال الأمواج الكهرومغناطيسية ذات الترددات العالية مخالفاً نظرية العالم نيوتن في عام (١٦٤٢- ١٧٢٧م) وهي أن الضوء عبارة عن جسيمات تصدُر من المصدر الضوئي وتُستحث حاسة النظر من خلال دخولها إلى العين ، وكذلك ما قام به العام هيجنز والذي يفترض أن الضوء عبارة عن نوع من أنواع الأمواج وذلك عام ١٦٧٨م واستخدم هذه النظرية لمعرفة قوانين الانعكاس والانكسار إلا أن هذه النظرية لا يمكن أن تستمر مع الضوء حيث أن الأمواج مثل الصوت وأمواج الماء تنتقل خلال وسط مادي ، بينما الضوء يستطيع أن ينتقل إلينا من الشمس خلال الفراغ وهذا يتنافى مع ما ذكره العالم نيوتن بقوله إن الضوء جسيمات ،و الجسيمات لا تنتقل عبر الفراغ .

فنظرية العالم ماكسويل تنبأت بأن هذه الأمواج لا بد وأن يكون لها سرعة تساوي تقريباً $3x10^{-8}$ m/sec وهي سرعته في الفراغ ، بعد ذلك تمكّن العالم هيرتز Hertz أن يثبت ذلك عملياً عام ١٨٨٧م وذلك بإنتاج والتقاط أمواج كهرومغناطيسية وبيّن أن لها خاصية الانعكاس والانكسار ويبين الجدول (٧- ١) الامتداد الكبير للأمواج الكهرومغناطيسية والتي تبدأ من موجات الراديو مروراً بالأمواج المرئية حتى أمواج أشعة جاما وما يقابلها من ترددات .

نوع الإشعاع Type of radiation	مدى الطول الموجي	مدى التردد Hz
أمواج الراديو Radio Waves	100 km - 300 mm	$3x10^{3} – 10^{9}$
أموج الميكرو Micro Waves	300 mm – 0.3 mm	$10^{9} – 10^{12}$
تحت الحمراء Infrared	0.3 mm – 0.7 μm	$10^{12} – 4.3x10^{14}$
المرئي Visible	0.7 μm – 0.4 μm	$4.3x10^{14}$ - $7.5x10^{14}$
فوق البنفسجي Ultraviolet	0.4 μm – 0.03 μm	$7.5x10^{14} – 10^{16}$
الأشعة السينية X-rays	0.03 μm – 0.1 nm	10^{16} - $3x10^{18}$
أشعة جاما γ-rays	0.1 nm – 1pm	$3x10^{18}$ - $3x10^{20}$

الجدول (٧- ١) الطيف الكهرومغناطيسي

لقد استطاع العالم آينشتاين عام ١٩٠٥م تفسير ظاهرة التأثير الكهروضوئي والتي هي عبارة عن تحرر إلكترون من المعدن عند تعرض سطحه لشعاع ضوئي حيث بيّنت نظرية آينشتاين والتي بُنيت على مفهوم ماكس بلانك عن تكمُم الطاقة الذي افترضه عام ١٩٠٠م والذي ينص بأن طاقة الموجة الكهرومغناطيسية (الضوئية) تكون في حزم طاقية تسمى فوتونات ولذلك يقال بأن الطاقة مُكممة ، وبناء على نظرية آينشتاين فإن طاقة الفوتون تتناسب طردياً مع تردد الموجة الكهرومغناطيسية أي أن :

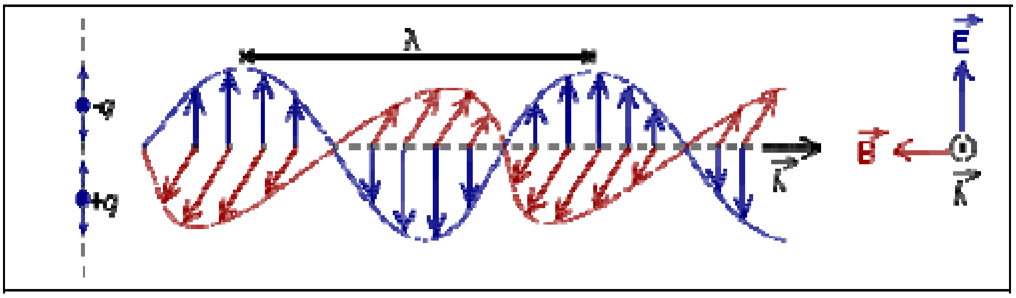
$$E = hf \qquad (7-1)$$

حيث h : ثابت ، ويسمى ثابت بلانك وقيمته $(h = 6.626 \times 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s})$.

f : تردد الموجة (H_z).

وبذلك يمكن تعريف الموجات الضوئية على أنها موجات كهرومغناطيسية ذات مجال كهربي مهتز يتعامد مع مجال مغناطيسي مهتز ويتفق معه في الطور.

والشكل (٧- ١) يبين الشكل الموجات الضوئية على أنها موجة كهرومغناطيسية



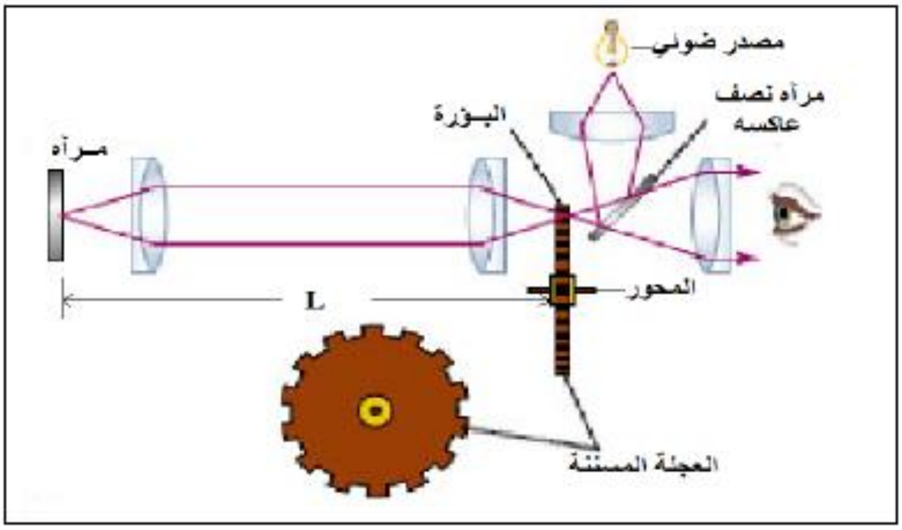
الشكل (٧- ١) الموجة الكهرومغناطيسية

وبذلك تكون الموجات الضوئية موجات مستعرضة حيث إن اهتزازات الموجة متعامدة مع اتجاه الانتشار . ويمكن للعين البشرية أن ترى الضوء إذا وقعت طول موجته بين نحو (750 nm) (الضوء الأحمر) و (370 nm) (الضوء البنفسجي) ، وهي تقريباً تنتمي إلى مدى الترددات من $4.3 \times 10^{14} H_z$ إلى $7.5 \times 10^{14} H_z$.

(٧- ٢) سرعة الضوء في الأوساط المختلفة :

إن سرعة الضوء في الفراغ تُعرف بوحدة النظام العالمي (S.I.) على أن قيمتها الدقيقة هي $C = 299{,}792{,}458\ m/sec$ وهو ما نقرّبه عادةً إلى الرقم $3 \times 10^8\ m/sec$ ، وقد جرت محاولات كثيرة لقياس سرعة الضوء (C) قبل الاتفاق على هذا المعيار فقد كان جاليليو من الأوائل الذين حاولوا قياس سرعة الضوء وذلك بوضع مراقبين اثنين في برجين تفصلهما مسافة 8.2Km حيث كل منهما يحمل فانوساً ذا إغلاق تحكُم ، فحينما يفتح أحد المراقبين تحكم الإغلاق ليضيء المصباح فإن الآخر سيقوم بإضاءة مصباحه حالما يرى ضوء ذلك المصباح الأول ، وبالإمكان الحصول على السرعة مبدئياً بمعلومية الوقت بين إضاءة الفانوس الأول والثاني ، فكانت النتائج غير دقيقة والسبب يعود إلى قصر الفترة الزمنية لانتقال الضوء فهي قصيرة جداً ، ولكن استنتج أن انتقال الضوء "إن لم يكن لحظياً فهو سريع للغاية" ، ثم ظهرت أول نتيجة كميّة عام ١٦٧٥م عندما استخدم الفلكي رومر الحركة النسبية بين الأرض وأحد أقمار كوكب المشتري حيث استنتج أن الضوء ينتقل بسرعة $2.1 \times 10^8 m/s$ تقريباً ويعزى الخطأ في قياسات رومر إلى أن القيمة لنصف قطر مدار الأرض غير صحيحة.

وكانت أول محاولة ناجحة لقياس سرعة الضوء هي التي قام بها العالم الفرنسي فيزو Fizeau في عام ١٨٤٩م حيث قاس الزمن الذي يستغرقه الضوء للانتقال بين جبلين ذهاباً وإياباً وكانت المسافة 8.6 Km والشكل (٧- ٢) هو نموذج مُبسط للطريقة التي استخدمها فيزو لعملية قياس سرعة الضوء.



الشكل (٧- ٢) نموذج مبسط لتجربة فيزو لقياس سرعة الضوء .

المادة	السرعة $\times 10^8 m / s$
الفراغ	2.99792
الهواء	2.9970
الماء	2.25
إيثانول	2.20
بنزين	2.00
زجاج كراون	1.97
بولي ستيرين	1.89
زجاج فلنت	1.81
ألماس	1.24

الجدول(٧- ٢) سرعة الضوء عند الطول الموجي 589 nm .

إذاً يمكن القول أن الضوء ينتقل بسرعة ثابتة في الوسط المادي المتجانس.

كما أن هناك طريقة لمعرفة سرعة الضوء لأي وسط وذلك بمعلومية معامل الانكسار للوسط الذي يعبره الضوء وسنتطرق لها في الفصل القادم.

(٧- ٢) الظواهر المصاحبة لانتشار الضوء :

نحن نعلم أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تسير على الشكل خطوط مستقيمة وحينما تنتشر في الفراغ فإن هناك ظواهر مصاحبة لها ومنها:

(الانكسار،والانعكاس،والتداخل،والحيود،والإستقطاب) وسنتطرق لهذه الظواهر في هذا الفصل كما يلي :

(٧- ٢- ١) الانكسار:

يعرف الفيزيائيون انكسار الضوء على أنه انحراف موجة الضوء في وسط ما عند انتقالها إلى وسط آخر نتيجة التغير في سرعة هذه الموجة بين الوسطين .

عندما يشق الضوء طريقة بين الأوساط المختلفة يُمتص ويعاد انبعاثه باستمرار ويمكننا أن نتصور عملية تعاقب انتقال الضوء وتوقفة كلياً عن الانتقال بالتعاقب مما ينتج عنه سرعة للضوء أقل من (c)

وبالتالي فإن سرعة الضوء بالفراغ التام تكون أكبر ما يمكن وتساوي (c) . وفي الأوساط المادية الأخرى تكون أقل من © .

وباعتبار سرعة الضوء في الهواء مساوية تقريباً لسرعته في الفراغ وإن كانت في الحقيقة أقل منها بقليل ، فإن النسبة بين (c) وسرعة الضوء في وسط ما (v) هي مقدار ثابت يعتمد بشكل أساسي على خصائص الوسط ، ويسمى معامل انكسار الوسط (index of refraction) ويرمز له بالرمز (n) حيث :

$$n = \frac{c}{v} \qquad (7-3)$$

وكما يظهر فإن معامل الانكسار لوسط ما يكون دائماً أكبر من واحد صحيح وليس له وحدات قياس تميزه .

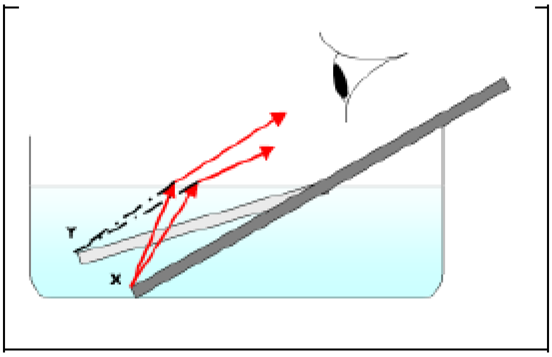
ومما يجدر ذكره أن سرعة الضوء في المادة تتغير بشكل طفيف بتغير الطول الموجي حسب العلاقة :

$$v = f\lambda \qquad (7-4)$$

حيث f: التردد .

λ : الطول الموجي .

والشكل (٧- ٢) يبين الانكسار باختلاف الوسط حيث إن النقطة (y) هي ما يراه المشاهد وهو مسار الضوء عند انكساره حيث انه كلما زاد معامل الانكسار زاد الانكسار للضوء وبالتالي فإن الضوء الأزرق ذا الطول الموجي الأقصر في الطيف المرئي سينحرف أكثر من الضوء الأحمر ذي الطول الموجي الأكبر وهو ما يُفسر تحليل الضوء الأبيض إلى الوان قوس قزح عند مرورها من منشور زجاجي .



الشكل (٧- ٢) الانكسار في وسط(ماء)

وفيما يلي الجدول (٧- ٢) يبين معاملات الانكسار لبعض المواد المعروفة لضوء طوله الموجي في الفراغ ($\lambda_o = 589\ nm$) عند درجة حرارة ($20^o c$) :

نوع المادة	معامل الإنكسار
ماء	1.333
كحول إيثيلي	1.361
زجاج كراون	1.42
كوارتز	1.458
بنزين	1.501
ألماس	2.419

الجدول (٧- ٣) معامل الانكسار لبعض المواد

مثال (٧- ١) :

أوجد معامل الانكسار لوسط يمر به الضوء بسرعة $v = 2.25 \times 10^8\ \mathrm{m/s}$.

الحل :

من القانون

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

$$n = \frac{3 \times 10^8}{2.25 \times 10^8} = 1.333$$

ويمكن اختصار الانكسار بقانونين وهما :-

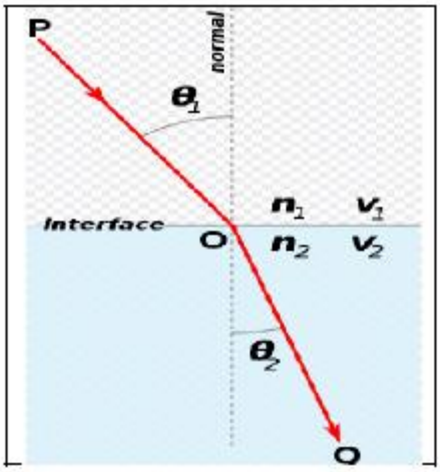
<u>القانون الأول</u> : أن الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود المقام من نقطة السقوط تقع كلها في مستوى واحد .

<u>القانون الثاني</u> : أن قيمة زاوية الانكسار (θ_2) كما في الشكل (٧- ٤) تعتمد على خواص كل من الوسطين الذي أنتقل الضوء خلالهما وعلى زاوية السقوط θ_1 كما في العلاقة :

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \text{constant} \qquad (7-5) \qquad n_2 > n_1$$

حيث v_1 : سرعة الضوء في الوسط الأول .

v_2: سرعة الضوء في الوسط الثاني .

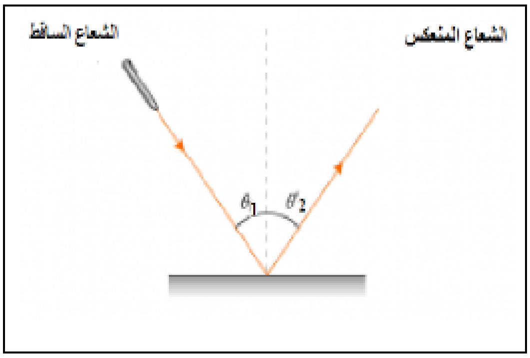


الشكل (٧- ٤) إنكسار الضوء حينما ينتقل من وسط إلى وسط

(٧- ٣- ٢) الانعكاس :

انعكاس الضوء هو ارتداد الأشعة الضوئية في نفس الوسط عندما تقابل سطحاً عاكساً.

الشكل (٧- ٥) يبين انعكاس الضوء حيث إن الشعاع الساقط هو الشعاع الذي يصل إلى السطح والشعاع المنعكس هو الشعاع الذي يرتد عن السطح العاكس ، وزاوية السقوط (θ_1) هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس ، وزاوية الإنعكاس (θ_2) هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس ، إذاً يمكن القول أن :



الشكل (٧- ٤) انعكاس على سطح مستو

زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

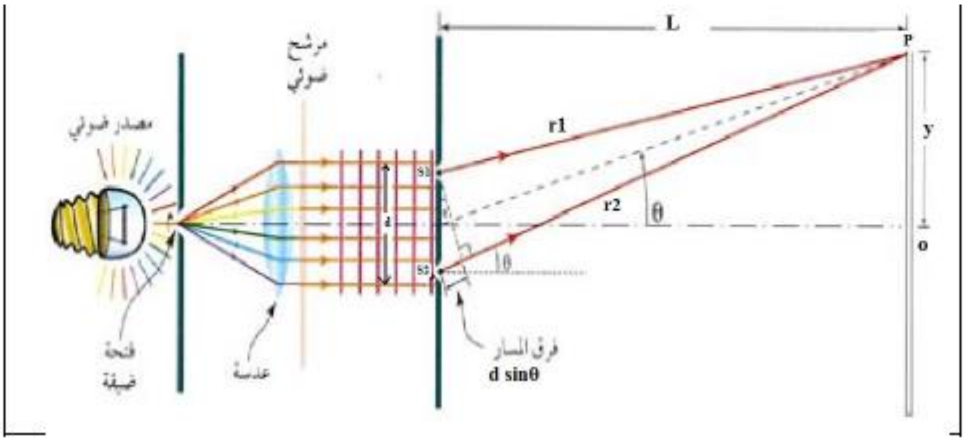
والشعاع الضوئي الساقط والشعاع الضوئي المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس .

(٧- ٣- ٣) التداخل :

في الظاهرتين السابقتين كان التركيز على الضوء الهندسي والذي أُستخدم فيه مفهوم الشعاع الضوئي أما في الظواهر الباقية فسيكون التركيز على البصريات الطبيعية والبصريات الموجية ، وذلك باستخدام النظرية الموجية للضوء .

ويمكن تعريف التداخل على أنه ذلك التأثير الفيزيائي الناتج عن التقاء موجتين جيبيتين متساويتين في التردد وتتحركان في نفس الاتجاه وبنفس السرعة ولكن بفرق طور ثابت .

استطاع العالم توماس يونج Thomas Yung أن يجري تجربة كانت الدليل على الطبيعة الموجية للضوء . فلو سقط ضوء ذو طول موجي واحد من مصدر وحيد اللون كما بالشكل (٧- ٦) على حاجز يحتوي على شقين متجاورين متشابهين (s_2و، s_1) وكان الضوء مكوّناً من دقائق مادية صغيرة لرأينا خطين مضيئين فقط على شاشة موضوعة خلف الفتحتين ،إلا أن العالم يونج لاحظ سلسلة من الخطوط المضيئة والمعتمة ، وعزا ذلك إلى التداخل بين الموجات الصادرة من المصدرين (s_2و، s_1) .



الشكل (٧- ٦) تجربة شقي يونج

(٧- ٣- ٤) الحيود :

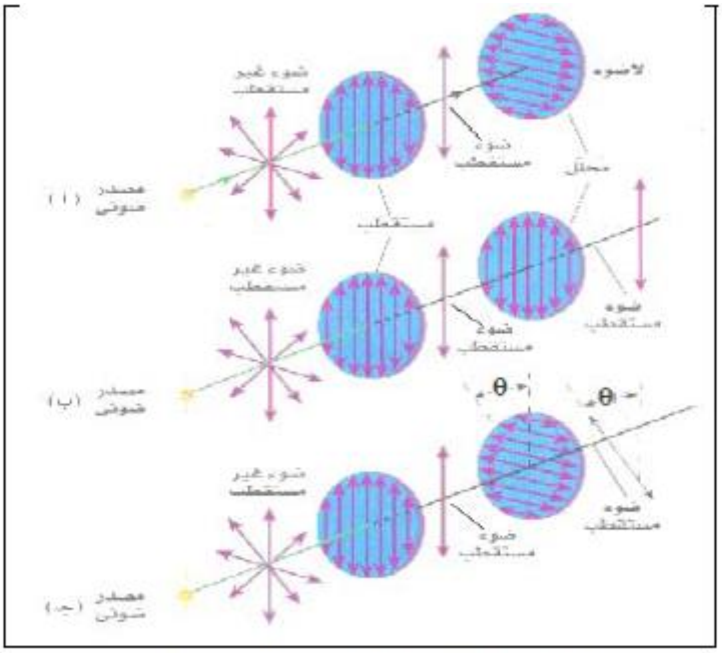
إن مفهوم حيود الضوء هو أن الضوء لا يسير في خطوط مستقيمة فإذا افترضنا أن شعاعاً ضوئياً عبر خلال شقي يونج وكان الضوء ينتقل في خطوط مستقيمة بعد عبوره الشقين ، فإن الأمواج لا يمكن أن تتراكب ولا يمكن أن نشاهد نماذج تداخل ، لكن الحاصل خلاف ذلك فقاعدة هيجنز تتطلب أن تنتشر أمواج كروية في كافة الاتجاهات مركزها كل فتحه . فانحراف الضوء عن مساره المستقيم الذي كان ينتقل به يسمى حيوداً .

ويحدث الحيود عند عبور الأمواج الضوئية من خلال فتحة صغيرة موجودة في طريقها ، أو أثناء مرور الضوء خلال حافة حادة .

(٧- ٣- ٥) الاستقطاب :

هناك ظاهرة واحدة لا تتجلى إلا مع الموجات المستعرضة وهي الاستقطاب وبما أن الموجات الضوئية هي موجات كهرومغناطيسية مستعرضة كما في الشكل (٧- ١) حيث أن متجها المجال الكهربي $\vec{E}$ والمجال المغناطيسي $\vec{B}$ المرافقين للأمواج يكونان في مستويين متعامدين على بعضهما وعلى اتجاه انتقال الموجة .

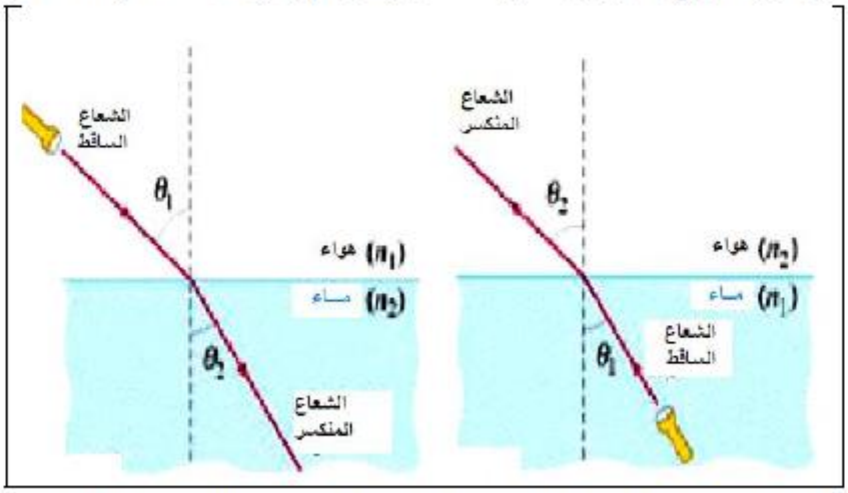
الشعاع العادي يتكَوّن من مجموعة من الأمواج المنبعثة من ذرات أو جزيئات المصدر الضوئي ، كل ذرة تبعث موجه ذات اتجاه مجال كهربي $\vec{E}$ خاص بها بحسب اتجاه اهتزاز تلك الذرة ، واتجاه استقطاب الأمواج الكهرومغناطيسية يعرف على أنه الاتجاه الذي يهتز فيه المجال الكهربي $\vec{E}$ ، وحيث أن كل الاتجاهات ممكنة ، إذاً محصلة الموجة الكهرومغناطيسية عبارة عن المجموع الكلي لجميع الأمواج الناتجة من كل ذرة من ذرات المصدر الضوئي وتكون موجة ضوئية غير مستقطبة كما في الشكل (٧- ٧) والذي يبين خلاله إحدى طرق الاستقطاب وهي الامتصاص الانتقائي ، نجد أن الموجة الضوئية المُستقطبة لها مجال كهربي $\vec{E}$ يهتز في نفس المستوى كل الوقت .



الشكل (٧- ٧) أشكال الاستقطاب

٧-٤) قوانين سنل Snell's Law :

في مطلع القرن السابع عشر استطاع العالم ولبورد سنل (Snell) من التوصل إلى نسبة بين جيب زاوية سقوط الشعاع الضوئي في الوسط الأول (θ_1) إلى جيب زاوية انكساره في الوسط الثاني (θ_2) تكون ثابتة لهذين الوسطين وهي الصيغة الرياضية التي تصف العلاقة ما بين زاوية الانعكاس والانكسار عندما ينتقل الضوء أو غيره من الأمواج ما بين وسطين مختلفين مثل الهواء والماء كما في الشكل (٧- ٨) .



الشكل (٧- ٨) انكسار الضوء حينما ينتقل من الماء إلى الهواء والعكس .

يقوم قانون سنل على مبدأين هما :

١- توجد جميع الأمواج الساقطة والمنعكسة والمنكسرة على نفس السطح .

٢- إذا كانت (θ_1) هي زاوية سقوط الموجة على السطح الواصل بين الوسطين (١) و (٢) ، و (θ_2) هي زاوية انكسار الموجة ، و (v_1) هي سرعة الموجة في الوسط الأول (١) ، و (v_2) هي سرعة الموجة في الوسط الثاني (٢)، فإن قانون سنل يكتب بالصيغة :

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (7-6)$$

أو :

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \qquad (7-7)$$

حيث n_1: معامل انكسار الوسط الأول .

n_2: معامل انكسار الوسط الثاني.

إذا كان معامل انكسار الوسط الأول أصغر من معامل انكسار الوسط الثاني أي سرعة الموجة في الوسط الثاني تقل ، مثل مرور الشعاع الضوئي من الهواء إلى الماء أو إلى الزجاج فإن زاوية الانكسار تكون أقل من زاوية السقوط والعكس بالعكس .

المثال (٧- ٢) :

إذا كان هناك مادة تسمح بمرور الضوء فسقط عليها شعاع ضوئي من الهواء بزاوية سقوط (45°) فكانت زاوية الانكسار (30°) ، احسب :

١- معامل انكسار تلك المادة .

٢- طول موجة الضوء في تلك المادة ، إذا علمت أن طوله الموجي الساقط في الهواء $550nm$.

الحل:

١- المعطيات :

$$\theta_1 = 45^\circ \qquad \theta_2 = 30^\circ$$

$$n_1 = 1 \qquad n_2 = ?$$

من قانون سنل :

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

$$n_2 = \frac{n_1 \sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{(1)\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ}$$

$$n_2 = 1.414$$

٢- المعطيات :

$$\lambda_1 = 550\ nm$$

من القانون :

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{f\,\lambda_1}{f\,\lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

حيث أن :

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

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

$$\frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

$$n_1\lambda_1 = n_2\lambda_2$$

$$\lambda_2 = \frac{n_1\lambda_1}{n_2}$$

$$\lambda_2 = \frac{(1)(550)}{(1.414)}$$

$$\lambda_2 = 388.97\ \text{nm}$$

المثال (٧- ٣) :

قطعة من الكوارتز لها معامل انكسار $n = 1.458$ سقط عليها شعاع ضوئي من الهواء طوله الموجي 650 nm . احسب سرعة الضوء في الكوارتز ، وكذلك الطول الموجي والتردد ؟

الحل :

المعطيات :

$$\lambda_{\circ} = 650\ nm \qquad n = 1.458$$

سرعة الضوء في الكوارتز

$$v = \frac{c}{n} = \frac{10^8}{1.458} = 2.058 \times 10^8\ m / sec$$

الطول الموجي في الكوارتز

$$\lambda_n = \frac{\lambda_{\circ}}{n} = \frac{650}{1.458} = 445.8\ nm$$

ولإيجاد التردد في الهواء

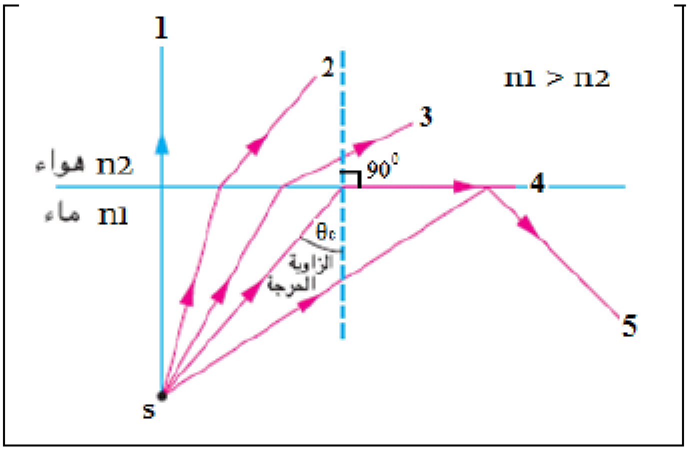
$$f = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{2.058 \times 10^8\ m / s}{445.8 \times 10^{-9}\ m} = 4.6 \times 10^{14}\ H_z$$

(٧- ٥) الانعكاس الكلي الداخلي والزاوية الحرجة :

Total Internal Reflection and the Critical Angle

يتميز الألماس بقدر كبير من جماله بسبب ظاهرة بصرية تسمى الانعكاس الداخلي الكلي ولكي نفهم هذه الظاهرة سنبدأ بدراسة عملية مرور الضوء من وسط إلى وسط ثان معامل انكساره أصغر من الأول كما في الشكل (٧- ٩) ، حيث لدينا مجموعة من الأشعة الساقطة من مصدر ضوئي (S) موجود في وسط معامل انكساره (n_1) على السطح الفاصل بين الوسطين علماً أن $n_1 > n_2$ حيث (n_2) تمثل معامل انكسار الوسط الثاني .

فلو لاحظنا أن الضوء رقم (1) نفذ على استقامته بدون أن يلاقي أي انكسار ، لأنه سقط عمودياً على السطح ، والضوء رقم (2) انكسر عند خروجه إلى الوسط (2) مبتعداً عن العمود ، وكذلك الضوء (3) حيث أن زاويته أكبر من زاوية الضوء (2) ، وبذلك تزداد زاوية السقوط بازدياد زاوية الانكسار .



الشكل (٧- ٩) مسارات الضوء من وسط الى آخر باختلاف الزاوية.

أما الضوء رقم (4) فإن الضوء المنكسر يصنع زاوية انكسار مقدارها (90°) وزاوية السقوط هي ما تسمى بالزاوية الحرجة (θ_c) Critical Angle ، ويكون الضوء المنكسر موازياً للسطح الفاصل .

<u>**تعريف الزاوية الحرجة**</u> (θ_c) : هي زاوية السقوط لشعاع ضوئي في وسط والتي يقابلها زاوية انكسار مقدارها 90° في الوسط الآخر ذي معامل الانكسار الأقل .

أما إذا زادت زاوية السقوط عن الزاوية الحرجة (θ_c) فإن الضوء ينعكس كلياً من السطح الفاصل وبذلك تحدث ظاهرة الانعكاس فقط ولا يحدث أي نقصان في شدة الضوء المنعكس عن الضوء الساقط ولذلك سمي انعكاساً كلياً .

ولإيجاد العلاقة لقيمة الزاوية الحرجة نطبق قانون سنل حيث :-

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

وبما أن :

$$\theta_1 = \theta_c$$

$$\theta_2 = 90^\circ$$

إذاً :

$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \qquad (7-8)$$

بشرط أن يكون n_1 أكبر من n_2 : $(n_1 > n_2)$ ، حتى تظهر هناك زاوية حرجة .

المثال (٧- ٤) :

إذا علمت أن الزاوية الحرجة لضوء داخل سائل (44.7°) ، حيث يكون السطح الثاني هو الهواء ، أوجد معامل انكسار السطح الأول السائل .

الحل :

المعطيات:

$n_2 = 1 \qquad\qquad n_1 = ?$

$\theta_c = 44.7^\circ$

من القانون :

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin 44.7^\circ = \frac{1}{n_1}$$

$$n_1 = \frac{1}{\sin 44.7^\circ} = \frac{1}{0.7033} = 1.42$$

المثال (٧- ٥) :

إذا كان معامل انكسار الألماس هو 2.42 . ما الزاوية الحرجة للضوء الذي ينتقل من الألماس إلى الهواء ؟

الحل :

من القانون :

$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin\theta_2$$
$$(2.42) \sin\theta_c = (1) \sin 90^{\circ}$$
$$\sin\theta_c = 0.413$$
$$\theta_c = 24.4^{\circ}$$

المثال (٧- ٦) :

ما هي الزاوية الحرجة للضوء ، عندما ينتقل من الزجاج $(n = 1.54)$ إلى الماء $(n = 1.33)$ ؟

الحل :

من القانون :

$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin 90^{\circ}$$
$$(1.54) \sin\theta_c = (1.33)\ (1)$$
$$\sin\theta_c = \frac{1.33}{1.54} = 0.864$$
$$\theta_c = \sin^{-1}(0.864)$$
$$\theta_c = 59.7^{\circ}$$

(٧- ٦) العدسات ، والمرايا Lenses – Mirrors :

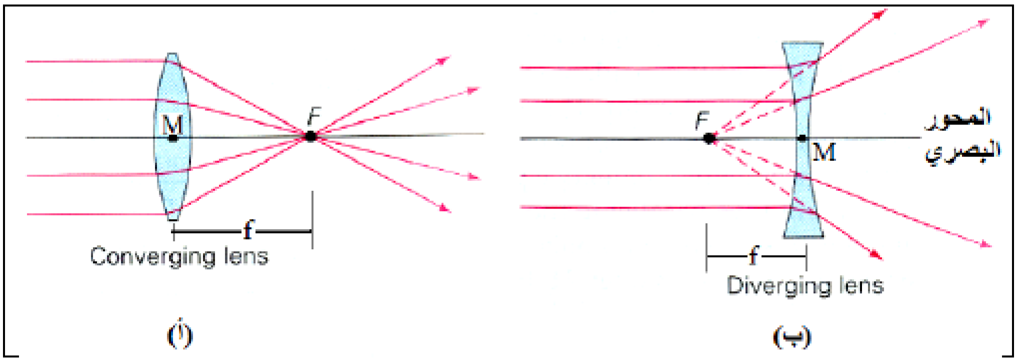
العدسة عبارة عن أداة بصرية تُصنع من مادة تسمح بنفاذ الضوء ذات سطح كروي واحد أو سطحين ، وسيكون التركيز على ذات السطحين الكرويين ، حيث إن سطحي العدسة عبارة عن جزأين من كُرتين أنصاف أقطارها R_2 , R_1 .

هناك نوعان من العدسات وهما :

١- عدسة مجمعة (محدبة) Converging lens

٢- عدسة مفرقة (مقعّرة) Diverging lens

ويوضح الشكل (٧- ١٠) هذين النوعين حيث إن سمك العدسة المجمعة في منتصفها أكبر منه عند طرفيها كما بالشكل حيث ينفذ الضوء الساقط على أحد أوجه العدسة المجمعة منكسراً من الوجة الآخر نحو محورها البصري optical axis .



الشكل (٧- ١٠) (أ) العدسة المجمعة (المحدبة). (ب) العدسة المفرقة (المتقعّرة).

أما العدسة المفرقة الشكل (٧- ١٠) تكون ذات سمك عند الأطراف أكبر منه عند وسطها ، والضوء الساقط على أحد أوجهها ينكسر بعيداً عن محورها البصري .

ومن الشكل (٧- ١٠) يمكن أن نوضح بعض التعاريف :

١- للعدسة المحدبة بؤرة أصلية حقيقية (F) وهي عبارة عن النقطة التي تتجمع فيها الأشعة الساقطة الموازية للمحور البصري والقريب منه بعد انكسارها ، الشكل (٧- ١٠ (أ)) .

٢- للعدسة المتقعّرة بؤرة خيالية (F′) وهي عبارة عن النقطة التي تتجمع فيها امتدادات الأشعة الساقطة الموازية للمحور البصري والقريبة منه بعد انكسارها ، الشكل (٧- ١٠ (ب) .

٣- توجد نقطة في منتصف العدسة تسمى بالمركز البصري (M) وهي النقطة التي إذا مر بها شعاع ضوئي فإنه لا ينكسر .

٤- المسافة بين البؤرة الأصلية (F) والمركز البصري (M) للعدسة ، تسمى بالبعد البؤري للعدسة ويرمز لها بالرمز (f) .

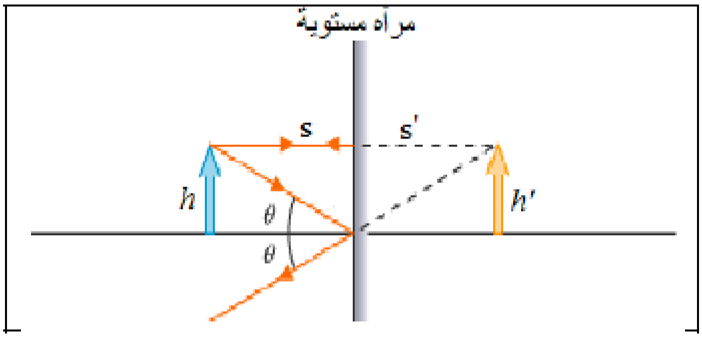
وسنتطرق لقانون العدسات العام وتكوّن الصورة في الفصل القادم .

أما بالنسبة للمرايا فهي عبارة عن نوعين هما :

١- المرايا المستوية Plane Mirrors

٢- المرايا الكروية Spherical Mirrors

ويمكن وصف الصورة المتكوّنة بواسطة المرآة المستوية لجسم موضوع أمامها بأنها خلف المرآة بنفس البعد الذي يبعد الجسم عن المرآة ، كما بالشكل (٧- ١١) .



الشكل (٧- ١١) تكوّن الصورة من المرآة المستوية.

والصورة في هذه الحالة تكون غير مكبرة فهي في نفس حجم الجسم وتكون معتدلة وخيالية.

ومن الشكل (٧- ١١) يمكن تعريف بعض الرموز حيث :

s: بُعد الجسم، وهي المسافة بين الجسم وقطب المرآة .

s': بُعد الصورة ، وهي المسافة بين الصورة وقطب المرآة .

وبذلك يمكن كتابة التعريف العام للتكبير الجانبي (M) :

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{s'}{s} \qquad (7-9)$$

وفي حالة المرآة المستوية فإن (M=1) لأن :

$$h = h' \quad \Rightarrow \quad \frac{h'}{h} = 1$$

أما المرايا الكروية فهي عبارة عن جزء من كرة عاكسة وبهذا فإن مكان الصورة وحجمها سوف يختلفان حسب موقع الجسم ، وتنقسم المرايا الكروية إلى نوعين :

١- **المرايا المقعرة** (Concave mirrors) : حيث يكون السطح العاكس هو السطح الداخلي .

٢- **المرايا المحدبة** (Convex mirrors) : حيث يكون السطح العاكس هو السطح الخارجي .

ولدراسة حالة الصورة في المرايا المقعرة والمحدبة فهناك تعاريف وقوانين ينبغي معرفتها وهي :

١- **مركز التكوّر** (c) : هو مركز الكرة التي اُقتطعت منها المرآة .

٢- **قطب المرآة** (V) : هي النقطة التي تقع على منتصف سطح المرآة .

٣- **المحور البصري**: هو الخط المار بمركز التكور وقطب المرآة ويعرف باسم المحور الرئيسي .

٤- العلاقة بين البعد البؤري (f) ونصف قطر السطح العاكس تتمثل في :

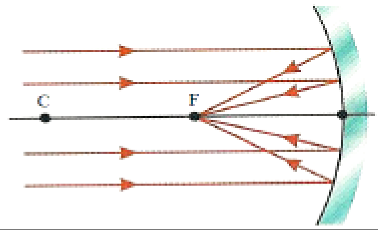
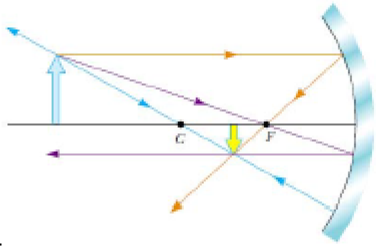
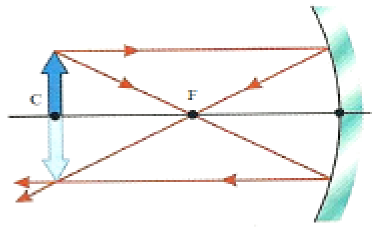
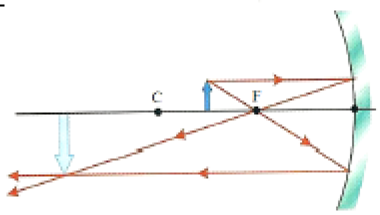
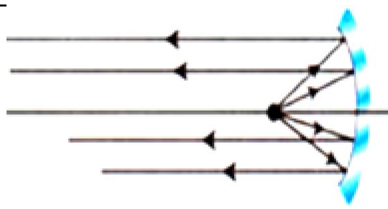
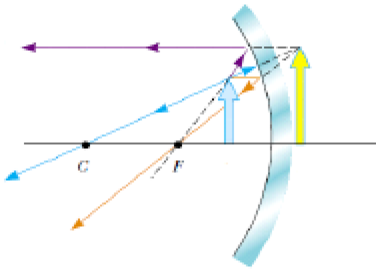
$$f = \frac{R}{2} \qquad (7-10)$$

٥- القانون العام للمرايا الكروية :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \qquad (7-11)$$

وبذلك فإن أي نقطة تقاطع لشعاعين منعكسين يحدد موقع الصورة .

وتتكون حالات الصورة في المرآة المقعرة باختلاف موقع الجسم حسب الجدول التالي :

الحالة	الشـــكل	موقع الجسم	موقع الصورة	صفات الصورة
(١)		في اللانهاية (في مكان بعيد) مثل الشمس	في بؤرة المرآة على حاجز (أمام المرآة)	حقيقية، ومقلوبة، مصغرة جداً
(٢)		خلف مركز التكور	بين البؤرة ومركز التكور على حاجز (أمام المرآة)	حقيقية، ومقلوبة، ومصغرة
(٣)		في مركز التكور	في مركز التكور للمرآة على حاجز (أمام المرآة)	حقيقية، ومقلوبة، ومساوية لحجم الجسم
(٤)		بين مركز التكور للمرآة وبؤرتها الأصلية	خلف مركز التكور للمرآة (أمام المرآة)	حقيقية، ومقلوبة، ومكبرة
(٥)		في البؤرة الأصلية للمرآة	في اللانهاية	لا توجد
(٦)		بين قطب المرآة (المركز البصري) وبؤرتها الأصلية	ترى على المرآة وهندسياً تبدو خلف المرآة (إمتدادات الاشعة المنعكسة)	خيالية، معتدلة، مكبرة

الجدول (٧- ٤) تكوّن حالات الصورة في المرآة المتقعّرة حسب موقع الجسم.

معلومة : الصورة الحقيقية هي التي يمكن استقبالها على حاجز ، أما الصورة الخيالية فلا تظهر إلا على المرآة فقط ولا يمكن استقبالها على حاجز .

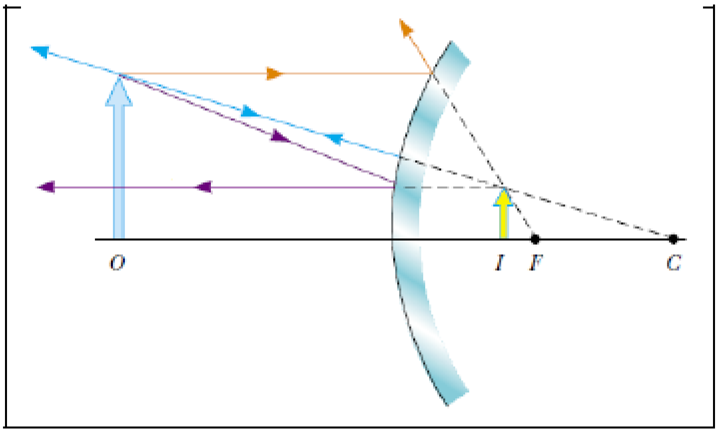
حالة الصورة في المرايا المحدبة :

لتحديد حجم وموقع الصورة يجب معرفة القواعد الأساسية للأشعة المنعكسة في المرآة المحدبة كما في الشكل (٧- ١٣) ، وهي :

أ- الشعاع الموازي للمحور البصري ينعكس عنها بحيث يمر امتداده بالبؤرة الخيالية .

ب- الشعاع الساقط على المرآة المحدبة وامتداده يمر بالبؤرة الخيالية ينعكس موازياً للمحور البصري .

جـ- الشعاع الساقط وامتداده يمر بمركز تكوّر المرآة المحدبة ينعكس على نفسه .



الشكل (٧- ١٣) مسار الأشعة المنعكسة من المرآة المحدبة.

وتوجد حالة واحدة فقط لتكوّن الصورة في المرآة المحدبة لجسم حقيقي واقع أمامها كما في الشكل (٧- ١٣) ، حيث تتكون الصورة من التقاء امتدادات الأشعة وتكون صفات الصورة (خيالية ، ومصغرة ، ومعتدلة).

وبعد ذلك يجب الأخذ في الاعتبار قاعدة الإشارات كما في الجدول (٧- ٥) ، وهي :

الوصف	حالة الإشارة
إذا كان الجسم يقع أمام المرآة (جسم حقيقي) .	$+s$
إذا كان الجسم يقع خلف المرآة (جسم خيالي) .	$-s$
إذا كانت الصورة تقع أمام المرآة (الصورة حقيقية) .	$+s'$
إذا كانت الصورة تقع خلف المرآة (الصورة خيالية) .	$-s'$
في حالة المرآة المقعرة .	$+f$
في حالة المرآة المحدبة .	$-f$
تكون الصورة معتدلة .	$+M$
تكون الصورة مقلوبة .	$-M$
إذا كانت الأشعة الساقطة على السطح المُحدّب من العدسة .	$+R$
إذا كانت الأشعة الساقطة على السطح المتقعّر من العدسة .	$-R$

الجدول (٧- ٥) تحديد الإشارة للمتغيرات حسب موقع الجسم والصورة في المرايا.

المثال (٧- ٧) :

جسم طوله 6cm وضع على بُعد 24cm من مرآة محدّبة بعدها البؤري 8cm ، أوجد موضع الصورة ، وأوصافها ، وطولها .

الحل :

المعطيات :

$$h = 6\ cm \qquad s = 24\ cm \qquad f = -8\ cm$$

$$h' = ? \qquad s' = ?$$

من القانون :

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

$$\frac{1}{(-8)} = \frac{1}{24} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s'} = -\frac{1}{8} - \frac{1}{24} = \frac{-3-1}{24} = \frac{-4}{24} = -\frac{1}{6}$$

$$s' = -6cm$$

هذا يعني أن الصورة خيالية على بُعد 6 cm من المرآة (خلف المرآة) ولإيجاد التكبير :

$$M = \frac{-s'}{s} = \frac{-(6)}{24} = \frac{1}{4}$$

إذاً الصورة معتدلة ،ومصغرة إلى الربع .

ولإيجاد طول الصورة :

$$M = \frac{h'}{h}$$

$$\frac{1}{4} = \frac{h'}{h}$$

$$h' = 1.5\ cm$$

المثال (٧- ٨) :

وُضع جسم أمام مرآة مقعّرة بُعدها البؤري 5cm ، أوجد موقع الصورة ، وصفتها بالكامل ، إذا كان الجسم يبعد 25cm .

الحل:

المعطيات:

$$f = 5\text{cm} \qquad s = 25\text{cm}$$

من القانون:

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

$$\frac{1}{5} = \frac{1}{25} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{5} - \frac{1}{25} = \frac{5-1}{25} = \frac{4}{25}$$

$$s' = \frac{25}{4} = 6.25 \ cm$$

وبما أن إشارة s' موجبة ، فالصورة حقيقية وتقع أمام المرآة .

ومن التكبير:

$$M = -\frac{s'}{s} = \frac{-6.25}{25} = -0.25$$

يتضح أن الإشارة سالبة فتكون الصورة مقلوبة ومصغرة إلى الربع .

(٧-٧) القانون العام للعدسات :

لقد تطرقنا في الفصل السابق مقدمة عن العدسات وأنواعها أما في هذا الفصل فسوف نتحدث عن القانون العام للعدسات ، علماً أن القانون يؤول إلى نفس الصورة لقانون المرايا الكروية (7-11) .

فإذا كان الوسط المحيط بالعدسة هو الهواء فإن :

$$n_2 = n \quad , \quad n_1 = 1$$

وبذلك فإن العلاقة تكون بالصورة :

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right] \qquad (7-12)$$

أما إذا كان الوسط غير الهواء فإننا نستبدل

$$n = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right] \qquad (7-13)$$

حيث R_1 : مركز تكور (نصف قطر العدسة الأولى) .

R_2 : مركز تكور (نصف قطر العدسة الثانية) .

وتُعرف هذه العلاقة بما يسمى علاقة صانعي العدسات ، وتؤول هذه المعادلة إلى القانون العام للعدسات :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \qquad (7-14)$$

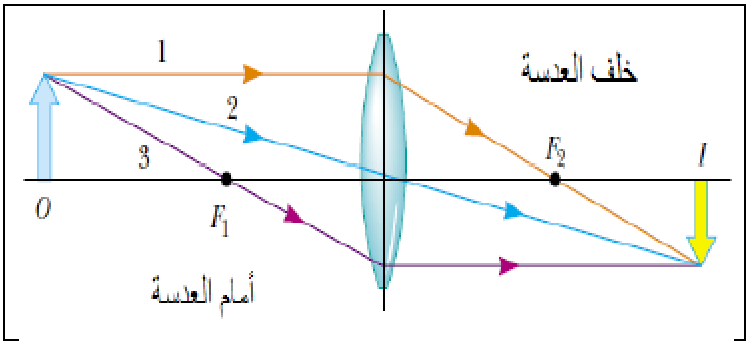
أما عن القواعد الأساسية لانكسار الضوء في العدسات فهي كما يلي :-

أ- قواعد انكسار الضوء في العدسة المجمعة (المحدّبة) ، كما في الشكل (٧- ١٤) :

١- الشعاع الساقط المار ببؤرتها (F_1) ينكسر موازياً لمحورها البصري .

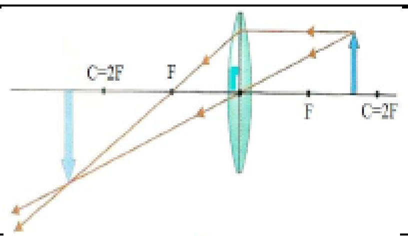
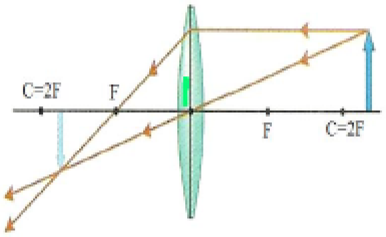
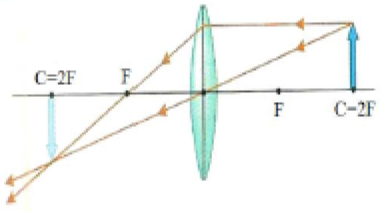
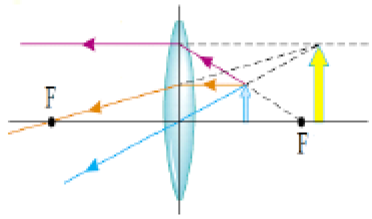
٢- الشعاع الساقط الموازي لمحورها البصري ينكسر ماراً ببؤرتها الثانية (F_2) .

٣- الشعاع الساقط المار بمركزها البصري (M) يستمر على استقامته دون انكسار .



الشكل (٧- ١٤) مسار الضوء في العدسة المحدبة.

إن تكوّن حالات الصورة في العدسة المجمعة (المحدبة) مشابهه تقريباً لحالات تكوّن الصورة في المرآة المقعرّة وسنتطرق لبعض منها حسب الجدول (٧- ٦) التالي :

الحالة	الشـــكل	موقع الجسم	موقع الصورة	صفات الصورة
(١)		بين مركز التكور للعدسة والبؤرة	خلف مركز التكور للعدسة (في الجهة الأخرى)	حقيقية ،ومقلوبة ، ومكبرة
(٢)		بعيداً خلف مركز التكور	بين بؤرة العدسة ومركز التكور (في الجهة الأخرى)	حقيقية ،ومقلوبة ، ومصغرة
(٣)		في مركز التكور	في مركز التكور للعدسة (في الجهة الأخرى)	حقيقية ،ومقلوبة ، ومساوية للجسم
(٤)		بين قطب المرآة (المركز البصري) والبؤرة	في نفس الجهة التي يقع فيها الجسم	خيالية ،ومعتدلة ومكبرة،

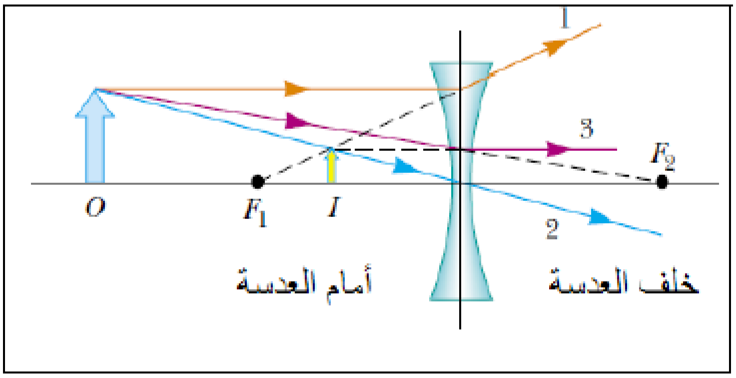
الجدول (٧- ٦) تكوّن حالات الصورة في العدسة المحدّبة حسب موقع الجسم.

ب- قواعد انكسار الضوء في العدسة المفرقة (المقعرة) ، كما في الشكل (٧- ١٥) :

١- الشعاع الساقط الذي يمر امتداده بالبؤرة (F_2) ينكسر موازياً للمحور البصري .

٢- الشعاع الساقط الموازي للمحور البصري ينكسر مبتعداً عن المحور البصري وكأنه قادم من البؤرة الأولى (F_1) .

٣- الشعاع الساقط المار بمركزها البصري (M) يستمر على استقامته دون انكسار .



الشكل (٧- ١٥) مسار الضوء في العدسة المقعّرة.

وأما عن تكوّن حالات الصورة في العدسة المقعّرة فهناك حالة واحدة وهي إذا وُضع الجسم أمام العدسة على أي بُعد فإن صورته تكون خيالية ومعتدلة ومصغّرة . وموقعها في نفس الجهة الموجود فيها الجسم ، الشكل (٧- ١٥) .

كما يجب الأخذ في الاعتبار قاعدة الإشارات كما في الجدول (٧- ٧) ، وهي :

حالة الإشارة	الوصف
$+s$	إذا كان الجسم يقع أمام العدسة (الجسم حقيقي) .
$-s$	إذا كان الجسم يقع خلف العدسة (الجسم خيالي) .
$+s'$	إذا كانت الصورة تقع خلف العدسة ، أي في الجهة الأخرى من العدسة التي بها الجسم (الصورة حقيقية)
$-s'$	إذا كانت الصورة تقع أمام العدسة ، أي في جهة العدسة التي بها الجسم (الصورة خيالية)
$+f$	في حال العدسة المجمعة (المحدبة) .
$-f$	في حال العدسة المفرقة (المقعرة) .
$+M$	تكون الصورة معتدلة (على افتراض أن الجسم معتدل) .
$-M$	تكون الصورة مقلوبة (على افتراض أن الجسم معتدل) .

الجدول (٧- ٧) تحديد الإشارة للمتغيرات حسب موقع الجسم والصورة في العدسات.

قدرة العدسة (P) :

هناك علاقة تُستخدم في العدسات تُبين قدرة العدسة (قوة العدسة) "The Power of a lens" ، وتعرف على أنها مقلوب البعد البؤري ، حيث يرمز لها بالرمز (P) :

$$P = \frac{1}{f} \qquad (7-15)$$

وبما أن f تُقاس بالمتر فتكون وحدة P هي "الديوبتر" "diopter" حيث :

$$1 \text{ diopter} = 1 \text{ m}^{-1}$$

فمثلاً عدسة بعدها البؤري (-0.5m) تكون قدرتها (أو قوتها) :

$$P = \frac{1}{-0.5m} = -2 \; diopters$$

المثال (٧- ٩) :

عدسة محدبة نصف قطر تكوّرها الأيسر $R_1 = 30cm$ ، ونصف قطر تكورها الأيمن $R_2 = 10cm$، احسب بعدها البؤري ، إذا كان معامل انكسار مادة العدسة $n = 1.5$.

الحل :

إذا افترضنا أن الجسم يسار العدسة فإن :

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

$$\frac{1}{f} = (1.5-1)\left[\frac{1}{30} - \frac{1}{(-10)}\right]$$

$$\frac{1}{f} = (0.5)\left[\frac{1}{30} + \frac{1}{10}\right]$$

$$\frac{1}{f} = (0.5)\left[\frac{1+3}{30}\right] = 0.5\left[\frac{4}{30}\right] = \frac{4}{60}$$

$$\therefore f = \frac{60}{4} = 15\ cm$$

المثال (٧- ١٠) :

وُضع جسم على بُعد 30cm من عدسة ، فتكوّنت له صورة تصغيرية (خيالية) على بُعد 10cm منها ، احسب البُعد البؤري ، وحدد نوع العدسة .

الحل :

باستخدام القانون العام للعدسات

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

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{30} + \frac{1}{(-10)}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1-3}{30} = -\frac{2}{30}$$

$$\therefore f = -15\ cm$$

الإشارة سالبة ، يعني ذلك أن العدسة مفرّقة (مقعّرة) .

المثال (٧- ١١) :

عدسة مجمعة بُعدها البؤري 10cm ، إذا وُضع جسم على بُعد :

(أ) 20cm .

(ب) 10cm .

أوجد بُعد الصورة ، وصفاتها ، في كل حالة .

الحل :

(أ) $s = 20cm \qquad f = +10cm$

من القانون العام للعدسات :

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

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

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{10} - \frac{1}{20} = \frac{2-1}{20} = \frac{1}{20}$$

$$\therefore s' = +20 \text{ cm}$$

توضح الإشارة الموجبة $(+s')$ للصورة أن الصورة حقيقية .

ولإيجاد التكبير ، من العلاقة :

$$M = -\frac{s'}{s}$$

$$M = -\frac{20}{20} = -1$$

إذاً الصورة مقلوبة ومساوية للجسم .

(ب) $s = 10cm \qquad f = +10cm$

(أي أن الجسم في البؤرة)

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

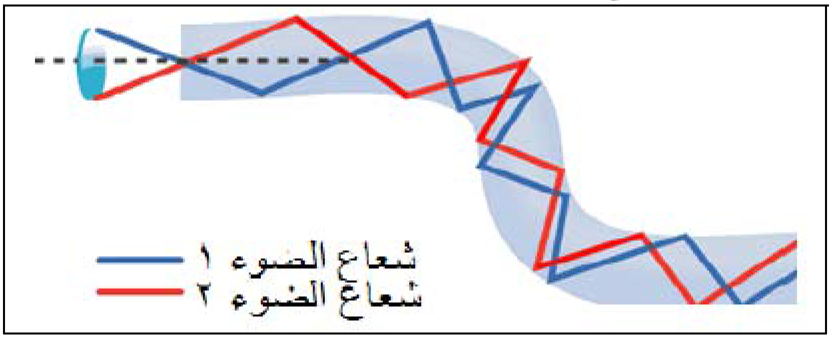
$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{10} - \frac{1}{10} = 0$$

أي أن الصورة في اللانهاية . $\therefore s' = \infty$

٧- ٨) مقدمة عن الألياف البصرية :

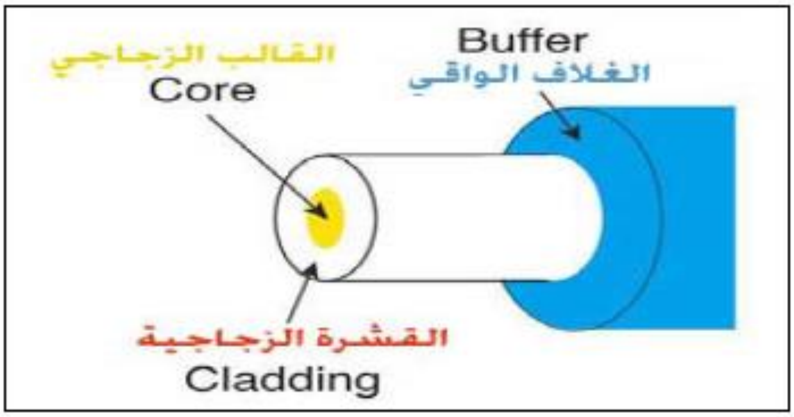
الألياف البصرية أو الضوئية هي تقنية متطورة لنقل البيانات المختلفة في صورة إشارات أو نبضات ضوئية ، فاستناداً إلى ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي وعدم نقصان شدة الشعاع المنعكس كلياً تم صناعة الألياف البصرية كما في الشكل (٧- ١٦) ، حيث يدخل شعاع ضوئي في أنبوب من الألياف الزجاجية المرنة ويحدث لها انعكاس داخلي من الأسطح الداخلية للأنبوب عند سقوطه بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة على السطح الداخلي وبذلك ينتقل الضوء عبر هذه الألياف البصرية بشدّته دون نقصان .



الشكل (٧- ١٦) حركة وانكسار الشعاع داخل الليف البصري.

وإذا نظرنا من قرب كما في الشكل (٧- ١٧) ، نجد أن الليف البصري يتكوّن من :

- **القلب** (Core) : وهو مصنوع من مادة زجاجية عالية النقاء .
- **القشرة الزجاجية** (Cladding) : وهي المادة الخارجية التي تحيط بالقلب الزجاجي ، وهي مصنوعة من زجاج يختلف معامل انكساره عن معامل انكسار القلب حتى ينعكس الضوء داخل القلب باستمرار.
- **الغلاف الواقي** (Buffer coating) : غلاف بلاستيكي يحمي القلب من الضرر .



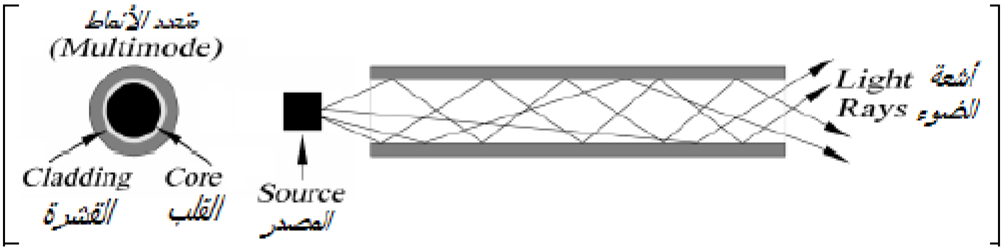
الشكل (٧- ١٧) طبقات الليف البصري.

تنقسم الألياف البصرية إلى نوعين أساسيين :

١- أحادي النمط (Single – mode) : يتم فيها نقل إشارة ضوئية واحدة على الشعيرة الزجاجية في نفس الوقت وتتميز بنسبة فقد قليلة ، ويكون قطر الشعيرة الزجاجية (Core) صغيراً جداً كما في الشكل (٧- ١٨) .

الشكل (٧- ١٨) مسار الشعاع في الليف البصري أحادي النمط.

٢- متعدد الأنماط (Multi – mode) : وفيها يمكن نقل العديد من الإشارات الضوئية على الشعيرة الواحدة ويكون قطر الشعيرة أكبر حجماً من آحادي النمط كما أن نسبة الفقد في الإشارة تكون عالية . كما في الشكل (٧- ١٩) .



الشكل (٧- ١٩) مسار الشعاع في الليف البصري متعدد النمط

من مميزات الألياف البصرية :

١- أكثر قدرة على حمل المعلومات من الأسلاك النحاسية .

٢- أقل حجماً من الأسلاك النحاسية و أقل وزناً .

٣- فقد أقل في الإشارة المتنقلة .

٤- عدم تداخل الإشارات .

٥- تحتاج إلى طاقة أقل ، لأن الفقد خلال عملية التوصيل قليل .

بعض استخدامات الألياف البصرية :

١- تستخدم الألياف البصرية في الطب وخصوصاً لنقل ضوء الليزر واستخدامه في العمليات الجراحية كالمنظار .

٢- تستخدم الألياف البصرية في نقل الضوء إلى مسافات بعيدة تبلغ عدة كيلومترات حيث يُستفاد منه في عملية الاتصالات الهاتفية .