

البُعد الرابع

في

"فيزياء الثانوية العامة"

الطبعة الثانية

2009

إعداد الأستاذ

رجب مصطفى

الشهداء / منوفية

موبايل: 0107198282

حقوق الطبع محفوظة للمؤلف !!!



"" وفل رب زدني علماً ""



المقدمة الرياضية

«فيزياء الثانوية العامة»

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

♦ أولاً : الوحدات الأساسية :

التحويل	النظام المتري m.k.s	نظام جاوس c.g.s	الكمية Quantity
$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ meter}$	meter	cm	الطول Length
$1 \text{ gm} = 10^{-3} \text{ kg}$	kg	gm	الكتلة Mass
$1 \text{ sec} = 1 \text{ sec}$	sec	sec	الزمن Time
$1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$	m^2	cm^2	المساحة Area
$1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$	m^3	cm^3	الحجم Volume
$1 \text{ gm} / \text{cm}^3 = 10^3 \text{ kg} / \text{m}^3$	kg / m^3	gm / cm^3	الكثافة Density
$1 \text{ dyne} = 10^{-5} \text{ N}$	Newton	dyne	القوة Force
$1 \text{ dyne} / \text{cm}^2 = 10^{-1} \text{ N} / \text{m}^2$	N / m^2	$\text{Dyne} / \text{cm}^2$	الضغط Pressure
$1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$	Joule	erg	الطاقة (الشغل) Energy (Work)
$1 \text{ erg} / \text{sec} = 10^{-7} \text{ Watt}$	$\text{J} / \text{sec} = \text{Watt}$	erg / sec	القدرة Power
$1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$	Tesla	Gauss	المجال المغناطيسي Magnetic Field

♦ ثانياً : المضاعفات والكسور :

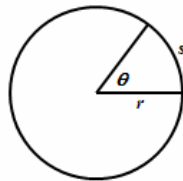
الكسور	المضاعفات
$1 \text{ milli (m)} = 10^{-3}$	$1 \text{ kilo (k)} = 10^3$
$1 \text{ micro (} \mu \text{)} = 10^{-6}$	$1 \text{ mega (M)} = 10^6$
$1 \text{ nano (n)} = 10^{-9}$	$1 \text{ Giga (G)} = 10^9$
$1 \text{ pico (p)} = 10^{-12}$	$1 \text{ Tera (T)} = 10^{12}$

♦ ثالثاً : الهندسة وحساب المثلثات :

- القياس الدائري :

يتناسب طول القوس s لقوس دائري مع نصف القطر r وذلك عند ثبوت الزاوية θ كما يلي :

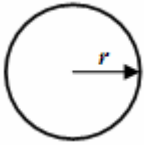
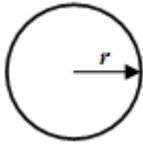
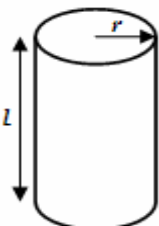
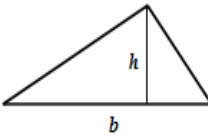
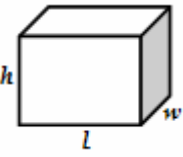
$$\theta = \frac{s}{r} \quad \Leftrightarrow \quad s = r\theta$$



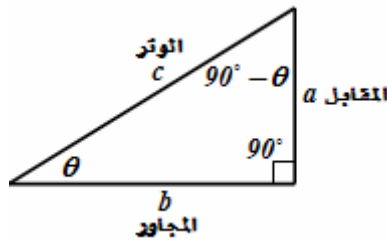
- قيم الدوال المثلثية للزوايا الشائعة الإستخدام :

θ	$\sin \theta$	$\cos \theta$	$\tan \theta$
0°	0	1	0
30°	$1/2$	$\sqrt{3}/2$	$1/\sqrt{3}$
45°	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{2}/2$	1
60°	$\sqrt{3}/2$	$1/2$	$\sqrt{3}$
90°	1	0	∞

- المساحات والحجوم :

	محيط الدائرة = $2\pi r$ المساحة = πr^2	الدائرة		مساحة السطح = $4\pi r^2$ الحجم = $\frac{4}{3}\pi r^3$	الكرة
	المحيط = $2lw$ المساحة = lw	المستطيل		مساحة السطح = $\pi r l$ الحجم = $\pi r^2 l$	الأسطوانة
	المساحة = $\frac{1}{2}bh$	المثلث		مساحة الأسطح = $2(lh + hw + lw)$ الحجم = lwh	الصندوق المستطيل

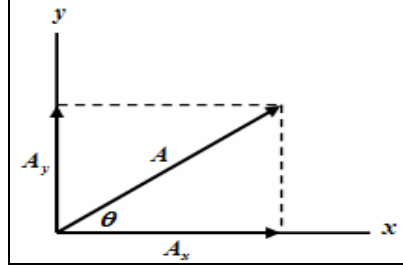
- الدوال المثلثية :



$\sin \theta = \frac{a}{c}$	$\cos \theta = \frac{b}{c}$	$\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{a}{b}$
$\sin \theta = \cos(90^\circ - \theta)$	$\cos \theta = \sin(90^\circ - \theta)$	$\cot \theta = \tan(90^\circ - \theta)$
$\sin(-\theta) = -\sin \theta$	$\cos(-\theta) = \cos \theta$	$\tan(-\theta) = -\tan \theta$
$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$		

- تحليل المتجهات :

إذا كان لدينا كمية متجهة ولتكن A تميل بزاوية θ على المحور السيني x فإنه يمكن تحليل هذا المتجه الى مركبتين إحداها A_x في اتجاه المحور x والثانية هي A_y في اتجاه المحور الصادي y على النحو التالي :



$$A_y = A \cos \theta \quad A_x = A \sin \theta \quad A = A_x i + A_y j$$
$$\tan \theta = \frac{A_x}{A_y}$$

❖ رابعاً : الأسس العشرية :

$$10^{-1} = \frac{1}{10} = 0.1$$

$$10^{-2} = \frac{1}{10 \times 10} = 0.01$$

$$10^{-3} = \frac{1}{10 \times 10 \times 10} = 0.001$$

$$10^{-4} = \frac{1}{10 \times 10 \times 10 \times 10} = 0.0001$$

$$10^{-5} = \frac{1}{10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10} = 0.00001$$

$$\frac{10^n}{10^m} = 10^{n-m}$$

$$10^0 = 1$$

$$10^1 = 10$$

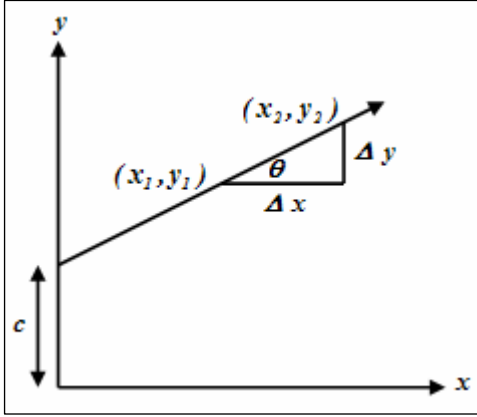
$$10^2 = 10 \times 10 = 100$$

$$10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$$

$$10^4 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10000$$

$$10^n \times 10^m = 10^{n+m}$$

♦ معادلة الخط المستقيم :



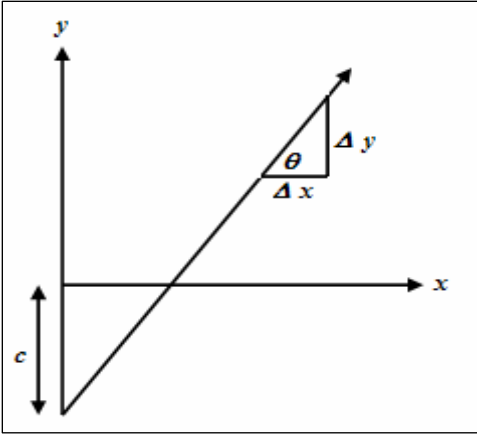
يمكن وضع المعادلة العامة للخط المستقيم على الصورة التالية :

$$y = mx + c$$

حيث y هو المتغير الممثل على المحور الصادي و x هو المتغير الممثل على المحور السيني و m هو ميل الخط المستقيم و c هو الجزء المقطوع من الجزء الموجب للمحور y وتمثل بيانياً بالشكل المقابل ويكون ميل الخط المستقيم هو :

$$m = \tan \theta = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

حيث θ هي الزاوية التي يصنعها الخط المستقيم مع المحور x .

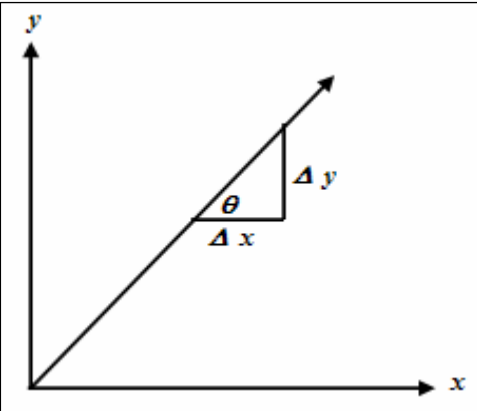


ونفس الشيء إذا كانت المعادلة على الصورة :

$$y = mx - c$$

لكن في هذه الحالة يكون c هو الجزء المقطوع من الجزء السالب للمحور y ويكون ميل الخط المستقيم هو :

$$m = \tan \theta = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$



وعندما يكون الجزء المقطوع من المحور y مساوياً للصفر أي $c = 0$ تصبح المعادلة على الصورة :

$$y = mx$$

وهي تمثل علاقة خط مستقيم يمر بنقطة الأصل $(0,0)$ ويكون :

$$m = \tan \theta = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

"مراجعة على ما سبق دراسته في فيزياء الصف الأول"

أولاً : الميكانيكا النيوتونية

♦ السرعة : هي المعدل الزمني للتغير في الإزاحة .

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \text{ m / sec}$$

♦ العجلة : هي المعدل الزمني للتغير في السرعة .

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ m / sec}^2$$

♦ معادلات الحركة بعجلة منتظمة :

$$v_t = v_0 + at$$

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2ax$$

حيث v_t هي السرعة النهائية و v_0 هي السرعة الابتدائية و a العجلة .

♦ عندما يسقط جسم تحت تأثير قوة جذب الأرض له فإنه يتحرك بعجلة منتظمة تسمى بعجلة الجاذبية الأرضية وهي تساوي 9.8 م / ث² .

♦ قوانين نيوتن :

1 - يبقى الجسم الساكن ساكناً ويبقى الجسم المتحرك في خط مستقيم متحركاً بسرعة منتظمة ما لم تؤثر عليه قوة تغير من حالته .

الأمر الذي يتطلب غيبة القوى الخارجية التي تؤثر على الجسم أي أن :

$$\sum F = 0$$

♦ كمية الحركة الخطية :

$$P_L = mv \text{ kg.m / sec}$$

2 - القوة المحصلة المؤثرة على جسم ما تساوي المعدل الزمني للتغير في كمية حركة هذا الجسم .

$$F = \frac{\Delta P_L}{\Delta t} \text{ kg.m / sec}^2 \Rightarrow F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = ma$$

♦ الكتلة والوزن : وزن الجسم عبارة عن قوة جذب الأرض له :

$$F_g = mg$$

3 - لكل فعل رد فعل مساوي له في المقدار ومضاد له في الاتجاه أو عندما يؤثر جسم ما على جسم آخر بقوة فإن الجسم الآخر يؤثر على الجسم الأول بقوة مساوية له في المقدار ومضادة له في الاتجاه .

$$F_1 = -F_1$$

♦ العجلة المركزية :

$$a_c = \frac{v_0^2}{r}$$

♦ مقدار القوة الجاذبة المركزية :

$$F_c = ma_c = m \frac{v_0^2}{r}$$

♦ الشغل :

$$W = Fd$$

♦ طاقة الوضع :

$$PE = mgd$$

♦ طاقة الحركة :

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

♦ الطاقة الكلية = طاقة الحركة + طاقة الوضع

$$E = KE + PE = \frac{1}{2}mv^2 + mgd$$

♦ الدفع *Impulse* : الدفع المؤثر علي جسم ما هو عبارة عن التغير في كمية الحركة له وهو كمية هامة عند دراسة التصادم بين جسمين .

$$\therefore F = \frac{\Delta mv}{\Delta t} \Rightarrow Im = F\Delta t = \Delta mv$$

ثانياً : الحرارة

♦ القانون العام لتعيين درجة الحرارة :

$$t^{\circ}C = 100 \frac{X_t - X_0}{X_{100} - X_0}$$

حيث X هي الخاصية الفيزيائية للمادة الترمومترية والتي تتغير بانتظام بتغير درجة الحرارة وهي إما (تغير طول عمود السائل L أو تغير ضغط الغاز المحبوس P أو تغير مقاومة الملف R) .

♦ السعة الحرارية لجسم q_{th} : هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم كله درجة واحدة حيث :

$$q_{th} = \frac{Q_{th}}{\Delta t} \text{ Joule / kelvin}$$

♦ الحرارة النوعية لمادة C : هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 كيلوجرام من المادة درجة واحدة حيث :

$$C = \frac{q_{th}}{m} = \frac{Q_{th}}{m\Delta t} \text{ Joule / kelvin.kg}$$

ثالثاً : الكهرباء

♦ قانون كولوم :

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

حيث F هي قوتي التجاذب أو التنافر و k هو ثابت الجذب العام ويساوي :
 $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{col}^2$

♦ شدة المجال الكهربائي :

$$\varepsilon = \frac{F}{q} = \frac{V}{d}$$

♦ الجهد الكهربائي :

$$V = \frac{W}{q}$$

♦ المكثف : تُعطي سعة المكثف C بالعلاقة :

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

♦ المقاومة :

$$R = \frac{V}{I} \Omega$$

♦ كمية الكهرباء :

$$q = It$$

♦ الشغل المبذول (الطاقة الكهربائية المُستنفذة في الأسلاك) :

$$W = VIt$$

الوحدة الأولى

"الموجات"

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الفصل الأول

« الحركة الموجية »

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الأولى " الموجات " الفصل الأول " الحركة الموجية "

الحركة الموجية

❖ مقدمة:

- ◀ عندما نلقي في الماء من آن لآخر حصاة صغيرة فيكون تصادم كل حصاة مع سطح الماء بمثابة مصدر اضطراب ينتشر فوق سطح الماء على هيئة دوائر منتظمة مركزها موضع سقوط تلك الحصاة فيما يسمى بالموجة.
- ◀ إذا يمكن تعريف الموجة على أنها " اضطراب ينتقل وينقل الطاقة في اتجاه انتشار هذه الموجة ".
- ◀ كذلك فالتليفزيون ينقل الصوت والصورة حيث تتحول (الصوت والصورة) إلى إشارات كهربية تُحمل على موجات كهرومغناطيسية تنتشر في الفراغ ثم تُستقبل في جهاز الإستقبال فتتحول هذه الموجات إلى إشارات كهربية ثم إلى صوت وصورة.
- ◀ ونفس الشيء في جهاز التليفون المحمول فهو يتعامل مع موجات تنقل الصوت (وأحياناً الصورة) من المرسل إلى المُستقبل حيث تتحول إلى إشارات كهربية ومنها إلى إشارات كهرومغناطيسية تنتشر في الفراغ والوسط المحيط إلى أن يستقبلها هوائي التليفون المُستقبل فتتحول مرة أخرى إلى إشارات كهربية ثم إلى صوت (وأحياناً صورة).
- ◀ أنواع الموجات: تنقسم الموجات إلى نوعين رئيسيين هما:
 - 1 - الموجات الميكانيكية.
 - 2 - الموجات الكهرومغناطيسية.
- ◀ مقارنة بين نوعي الموجات:

الموجات الميكانيكية	الموجات الكهرومغناطيسية
✎ هي اضطراب يحتاج إلى وسط مادي (صلب . سائل . غاز) كي ينتشر.	✎ هي اضطراب ينتشر في الفراغ كما ينتشر في الأوساط المادية.
✎ تكون أمواج مستعرضة أو أمواج طولية.	✎ تكون أمواج مستعرضة فقط.
✎ تنشأ من إهتزاز جزيئات الوسط إما عمودي أو في نفس اتجاه انتشار الموجة.	✎ تنشأ من إهتزاز مجالات كهربية ومجالات مغناطيسية في اتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة.
✎ أمثلة : أمواج الماء . الأمواج المنتشرة في وتر يهتز . أمواج الصوت.	✎ أمثلة : أمواج الضوء . أمواج الراديو والتليفزيون . الأشعة السينية . أشعة جاما .

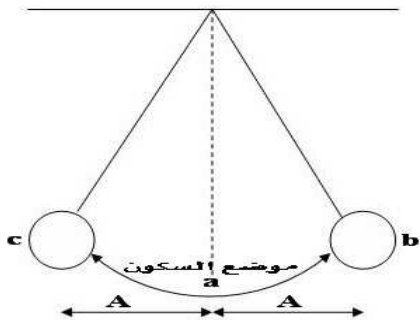
الحركة الإهتزازية

- ♦ يرتبط بالحركة الإهتزازية بعض الكميات الفيزيائية الضرورية هي:
 - ♦ الإزاحة D : هي بُعد الجسم المهتز في أي لحظة عن موضع سكونه أو إتزانه الأصلي، وهي كمية متجهه وتقاس بالمتر m .
 - ♦ سعة الإهتزازة A : هي أقصى إزاحة للجسم المهتز، أو هي المسافة بين نقطتين في مسار حركة هذا الجسم تكون سرعته في إحداها أقصاها وفي الأخرى منعدمة، وهي تقاس أيضاً بالمتر m .
 - ♦ الإهتزازة الكاملة: هي الحركة التي يعملها الجسم المهتز في الفترة الزمنية التي تمضي بين مروره بنقطة واحدة في مسار حركته مرتين متتاليتين في اتجاه واحد، حيث أن سعة الإهتزازة $(1/4)$ (ربع) الإهتزازة الكاملة.
 - ♦ التردد: هو عدد الإهتزازات الكاملة التي يحدثها الجسم المهتز في الثانية الواحدة، ويُرمز للتردد بالرمز ν ويُقاس بوحدة الهرتز Hz (إهتزازة لكل ثانية).
 - ♦ الزمن الدوري: وهو الزمن الذي يستغرقه الجسم المهتز في عمل إهتزازة كاملة، أو هو الزمن الذي يستغرقه الجسم المهتز ليمر بنقطة واحدة في مسار حركته مرتين متتاليتين في اتجاه واحد، ويُرمز للزمن الدوري بالرمز T ويُقاس بالثانية sec ، من ذلك نلاحظ أن:

$$\text{التردد } \nu = \text{عدد الإهتزازات الكاملة} \div \text{الزمن بالثواني} = \text{إهتزازة / ثانية} = Hz$$
 - ♦ وعندما يكون عدد الإهتزازات عبارة عن إهتزازة واحدة يكون الزمن المُستغرق هو الزمن الدوري T وبالتالي نحصل على العلاقة التالية:

$$T = \frac{1}{\nu} \quad \Leftrightarrow \quad \nu = \frac{1}{T}$$
 - ♦ الطور: هو موضع واتجاه حركة أي جزئ من جزيئات الوسط في لحظة معينة.
 - ♦ الطول الموجي: هو المسافة بين أي نقطتين متتاليتين لهما نفس الطور (نفس الإزاحة ونفس الاتجاه) أو هو المسافة التي تتحركها الموجة خلال زمن دوري واحد، ويُرمز للطول الموجي بالرمز λ ويُقاس بالمتر m أو بوحدة الإنجستروم وذلك للأمواج القصيرة جداً.

♦ الحركة التوافقية البسيطة.



- الحركة التوافقية البسيطة هي عبارة عن الحركة الإهتزازية في أبسط صورها مثل البندول البسيط.
- إذ تبدأ الإهتزازة من النقطة a (موضع السكون) ثم تزداد إلى قيمة قصوي موجبة عند b ثم تقل إلى الصفر عند a ثم تزداد إلى قيمة قصوي سالبة عند c ثم ترجع إلى الصفر مرة أخرى عند a وتكرر نفسها هكذا باستمرار.
- والشكل المقابل يُبين إزاحة ثقل البندول مع الزمن.

الموجات الميكانيكية

❖ شروط الحصول على الموجات الميكانيكية:

- 1 - وجود مصدر إهتزاز أو مصدر متذبذب.
- 2 - وجود نوع من الإضطراب ينتقل من المصدر إلى المستقبل.
- 3 - وجود الوسط الذي يحمل الإهتزاز.

❖ المصادر المهتزة: المصادر المهتزة كثيرة ومتنوعة منها:

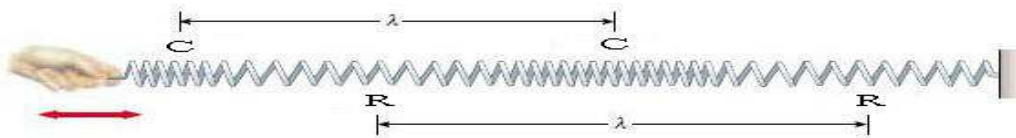
- البندول البسيط (بندول الساعة).
- الشوكة الرنانة المهتزة.
- الوتر المهتز.
- ثقل معلق في ملف زنبركي أثناء إهتزازه (اليويو).

❖ أنواع الموجات الميكانيكية:

- الموجات الطولية.
- الموجات المستعرضة.

أولاً: الموجات الطولية

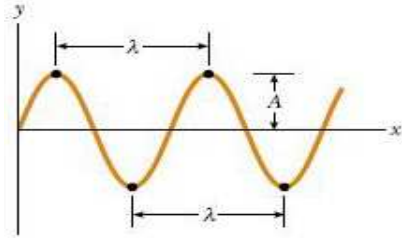
- ◀ تُعرف الموجة الطولية بأنها "الموجة التي تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع إترانها على نفس إتجاه إنتشار الموجة" مثل موجات الصوت.
- ◀ ولتصور شكل الموجة الطولية نفترض وجود كتلة m موضوعة فوق سطح أفقي أملس مثبتة من أحد طرفيها في زنبرك والطرف الآخر في زنبرك طويل مثبت عند طرفه البعيد في حائط، فإذا جذبنا الكتلة m جهة اليمين في إتجاه محور الزنبرك إلى النقطة $x = A$ "حيث A السعة أو أقصى إزاحة" فإن جزءاً من الزنبرك على يمين النقطة A ينضغط وهذا التضاضغط C يؤثر بقوة على باقي أجزاء الزنبرك جهة اليمين الأمر الذي يعمل على ضغط حلقاته بصورة متتابعة أي ينتقل التضاضغط تبعاً إلى جهة اليمين.
- ◀ أما إذا تحركت الكتلة m إلى الموضع أو النقطة $x = -A$ فإن الزنبرك على يمين الكتلة يستطيل وتتباعد حلقاته مُحدث نوعاً من الخلخل وهذا التخلخل R سرعان ما ينتشر جهة اليمين عبر الزنبرك عندما تعود الكتلة إلى وضع الإستقرار $x = 0$ مرة أخرى.
- ◀ الطول الموجي للموجة الطولية: هو عبارة عن المسافة بين مركزي تضاضطين متتاليين أو تخلخلين متتاليين.



- 0 الموجة الطولية (إهتزازة كاملة) = تضاضط + تخلخل متتاليين.
- 0 التضاضط: هو تقارب جزيئات الوسط إلى أقصى حد ممكن.
- 0 التخلخل: هو تباعد جزيئات الوسط إلى أقصى حد ممكن.

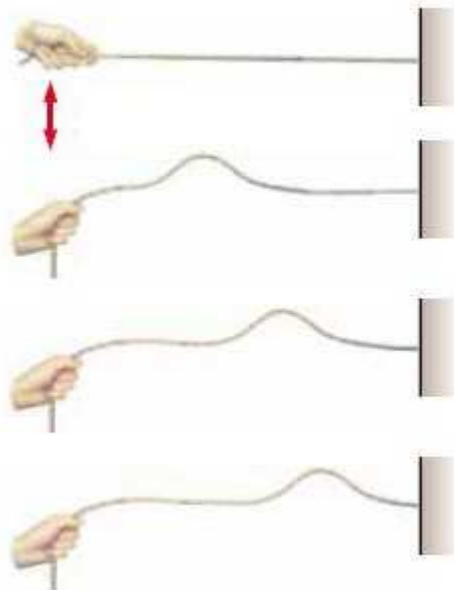
ثانياً: الموجات المستعرضة

- ◀ تُعرف الموجة المستعرضة على أنها "الموجة التي تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع إزالتها في اتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجه" مثل موجات الماء.
- ◀ ولتصور شكل الموجة المستعرضة نفترض وجود كتلة m مثبتة في زنبرك رأسي ومثبت بها طرف حبل طويل أفقي مشدود ومثبت طرفه البعيد في حائط، فعندما تقوم الكتلة m بعمل حركة توافقية بسيطة في الاتجاه الرأسي (تذبذب لأعلى ولأسفل) يقوم تبعاً لذلك طرف الحبل المثبت بها بنفس الحركة.
- ◀ وهذا يؤدي إلى تذبذب الأجزاء التي تلي هذا الجزء من الحبل بصورة متتابعة "جزء يلي الآخر".
- ◀ وهكذا تنتقل الحركة على طول الحبل على هيئة موجة في الاتجاه الأفقي بسرعة v بينما تتحرك أجزاء الحبل حركة توافقية بسيطة في الاتجاه الرأسي.
- ◀ الطول الموجي للموجة المستعرضة: هو المسافة بين أي قمتين متتاليتين أو أي قاعين متتاليتين.



- ◀ الموجة المستعرضة (إهتزازة كاملة) = قمة + قاع متتاليتين.
- ◀ القمة: هي النهاية العظمى للإزاحة في الاتجاه الموجب.
- ◀ القاع: هي النهاية العظمى للإزاحة في الاتجاه السالب.

❖ كيف يمكن الحصول على موجة مرتحلة !!!



- ❖ يتم ذلك باستخدام حبل طويل مشدود مثبت طرفه البعيد في حائط رأسي بينما الطرف الآخر مشدود باليد، وعندما تُحرك اليد رأسياً إلى أعلى ولأسفل على شكل نبضة نلاحظ انتشار موجه على طول الحبل على هيئة نبضة بما يُعرف بالموجة المُرْتَحِلَة.
- ❖ إذاً يمكن تعريف "النبضة" بأنها اضطراب فردي لا يتكرر، بينما تُعرف "الموجة المُرْتَحِلَة" على أنها اضطراب فردي يتدرج من نقطة إلى أخرى.

❖ كيفية انتقال الموجات الميكانيكية :

❖ عندما يهتز المصدر بكيفية معينة تهتز جزيئات الوسط المحيط بنفس الكيفية، حيث ينتقل الإهتزاز أولاً من المصدر إلى جزيئات الوسط المجاورة أو المتصلة به ومنها إلى الجزيئات التي تليها، وهكذا ينتقل هذا الإهتزاز أو هذا الإضطراب في الوسط على هيئة موجات.

❖ أما الشغل الذي يبذله المصدر على الوسط ينتقل على هيئة طاقة وضع وطاقة حركة لجزيئات هذا الوسط.

❖ فمثلاً لو كان هناك وتر مثبت من أحد طرفيه ومتصل من الطرف الآخر بمصدر مهتز فإن الشغل الذي يبذله هذا المصدر على الوتر ينتقل على هيئة طاقة وضع وتمثل في قوة شد الوتر وطاقة حركة تتمثل في إهتزاز الوتر.

❖ ملحوظة: الموجات تنقل الطاقة خلال جزيئات الوسط دون أن تنقل هذه الموجات جزيئات الوسط من مواضعها.

❖ أنواع الموجات التي تحدث في الماء :

عند تحريك ماء في حوض بواسطة لوح من الخشب يحدث الأتي:

❖ تتحرك جزيئات الماء عند السطح إلى أعلى وإلى أسفل عمودياً على اتجاه إنتشار الموجة، وبالتالي تحدث على سطح الماء "موجات مستعرضة" وذلك لوجود قوي تماسك كبيرة بين جزيئات سطح الماء ناتجة عن قوى التوتر السطحي.

❖ تتحرك جزيئات الماء في قاع الحوض في نفس اتجاه إنتشار الموجة، أي يحدث في قاع الحوض "موجات طولية" وذلك لأن قوى التماسك بين الجزيئات منعقدة في باطن السائل.

❖ وعليه فإن الموجات التي تحدث في الماء تكون مستعرضة وطولية إلا أن الموجات المستعرضة هي السائدة.

❖ مقارنة بين نوعي الموجات الميكانيكية :

الموجات المستعرضة	الموجات الطولية
❖ وجه التشابه: جزيئات الوسط تهتز على جانبي موضع سكونها لمسافات قصيرة.	❖ وجه التشابه: جزيئات الوسط تهتز على جانبي موضع سكونها لمسافات قصيرة.
❖ أوجه الاختلاف:	❖ أوجه الاختلاف:
1 - تهتز فيها جزيئات الوسط في اتجاه عمودي على اتجاه إنتشار الموجة.	1 - تهتز فيها جزيئات الوسط في نفس اتجاه إنتشار الموجة.
2 - تتكون من قمم وقيعان.	2 - تتكون من تضاعطات وتخلخلات.
3 - طول الموجة عبارة عن المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليتين.	3 - طول الموجة عبارة عن المسافة بين مركزي تضاعطين متتاليتين أو مركزي تخلخلين متتاليتين.
4 - تحدث في الماء عند السطح.	4 - تحدث في الماء ولكن بعيداً عن السطح.
5 - تنتشر في الجوامد بسرعة أقل.	5 - تنتشر في الجوامد بسرعة كبيرة.

العلاقة بين التردد والطول الموجي وسرعة انتشار الموجات

♦ إذا إنتقلت موجة بسرعة v من مكان لآخر يبعد مسافة تعادل الطول الموجي λ فإن الموجة ستستغرق زمناً قدره الزمن الدوري T ، فحيث أن:

$$v = \frac{x}{t} \quad \text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} \text{ أي :}$$

♦ فإنه عندما تكون المسافة المقطوعة x عبارة عن الطول الموجي λ فإن الزمن المُستغرق t يصبح هو الزمن الدوري T ، أي:

$$\because x = \lambda \quad \Rightarrow \quad t = T$$

فبالتالي يكون :

$$v = \frac{x}{t} = \frac{\lambda}{T} \quad \Leftrightarrow \quad v = \frac{\lambda}{T}$$

لكن:

$$T = \frac{1}{\nu} \quad \Rightarrow \quad \boxed{v = \lambda \nu}$$

♦ وهذه العلاقة عامة لانتشار جميع أنواع الموجات سواء كان قطاراً من الموجات أو نبضة واحدة، ومنها نستنتج أنه خلال الزمن الدوري تنتقل الموجة مسافة تُعادل الطول الموجي.

♦ تعريف آخر للتردد: هو عدد الأطوال الموجية التي تقطعها الموجة المنتشرة في اتجاه معين في ثانية واحدة.

♦ ♦ تعليقات هامة ♦ ♦

1 - كلما زاد تردد الموجة قل الطول الموجي لها (بفرض ثبوت سرعة انتشار هذه الموجة) ؟
لأن التردد يتناسب عكسياً مع طول الموجة حسب العلاقة التالية:

$$v = \lambda \nu \quad \Rightarrow \quad \nu = \frac{v}{\lambda} = \frac{\text{const}}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\nu \propto \frac{1}{\lambda}}$$

2 - الموجات الكهرومغناطيسية لا تحتاج لوسط مادي لتنتقل فيه ؟

لأنها تتولد نتيجة إهتزاز مجالات كهربائية ومغناطيسية وليس نتيجة إهتزاز جزيئات الوسط كما في الموجات الميكانيكية.

الفصل الثاني

« الصوت »

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الأولى "الموجات" الفصل الثاني "الصوت"

الصوت

♦ مقدمة :

- كيفية سماع الصوت !

- 1 - تحدث الأصوات نتيجة إهتزاز الأجسام .
- 2 - تنتقل هذه الإهتزازات في الهواء أو في أي وسط مادي في جميع الإتجاهات علي شكل حركة موجية .
- 3 - تُكبر الأذن هذه الإهتزازات ثم تنقلها إلي المخ عن طريق العصب السمعي .
- 4 - يعمل المخ علي ترجمة هذه الإهتزازات إلي أصوات ونغمات .

♦ الخصائص العامة للموجات :

- 1 - الإنتشار في خطوط مستقيمة .
- 2 - الانعكاس .
- 3 - الانكسار .
- 4 - التداخل .
- 5 - الحيود .

أولاً : انعكاس الصوت

- 0 من الظواهر المألوفة أنه في حالة إحداث صوت عال علي بُعد مناسب من جبل أو حائط كبير فإن الصوت يتكرر سماعه . وهذا الصوت المسموع يشبه الصوت الأصلي وينشأ نتيجة إرتداد الصوت الأصلي أو انعكاسه عن سطح الجبل أو الحائط الكبير . ويبدو كأنه صادر من نقطة خلف هذا السطح .
- 0 وتُعرف هذه الظاهرة بـ " صدي الصوت " الذي يمكن تعريفه علي أنه " تكرر الصوت الناشئ عن الانعكاس " .

- 0 كما يمكن تعريف " انعكاس الصوت " علي أنه " إرتداد الموجات الصوتية إلي نفس جهة سقوطها (نفس الوسط) عندما تُقابل سطحاً عاكساً " .

♦ انعكاس الصوت في الهواء :

- 1 - تنتشر الموجات الصوتية في الهواء علي شكل كُرّات متحدة المركز من التضامّعات والتخلخلات مركزها المصدر الأصلي للصوت .
- 2 - عندما تُقابل هذه الموجات حاجزاً مستويّاً فإنها تنعكس وتكون الموجات المنعكسة أيضاً علي شكل كُرّات متحدة المركز من التضامّعات والتخلخلات وتبدو الموجات المنعكسة كأنها آتية من مصدر آخر يقع خلف الحاجز .

- 3 - يكون بُعد مصدر الموجات المنعكسة عن الحاجز مساوياً لبُعد المصدر الأصلي عنه .

♦ أي أن الصوت ينعكس تبعاً لقوانين الانعكاس التي تنص علي :

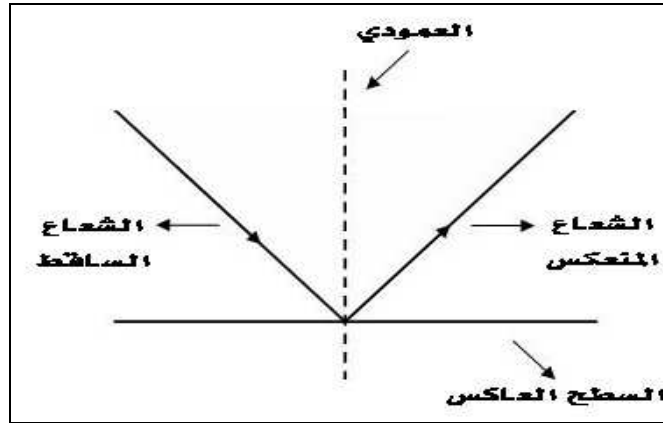
1 - زاوية السقوط = زاوية الانعكاس .

2 - الشعاع الصوتي الساقط والشعاع الصوتي المنعكس و العمود المقيم من نقطة السقوط علي

السطح العاكس تقع جميعها في مستوي واحد عمودي علي السطح العاكس .

مع ملاحظة أن :

- الشعاع الصوتي هو : المستقيم الذي يدل علي اتجاه انتشار الموجات الصوتية .
- زاوية السقوط هي : الزاوية المحصورة بين اتجاه الشعاع الصوتي الساقط والعمود المقيم من نقطة السقوط علي السطح العاكس .
- زاوية الانعكاس هي : الزاوية المحصورة بين اتجاه الشعاع الصوتي المنعكس والعمود المقيم من نقطة السقوط علي السطح العاكس .



ثانياً : انكسار الصوت

عند سقوط شعاع صوتي علي سطح يفصل بين وسطين فإن جزءاً منه ينعكس إلي نفس الوسط تبعاً لقانوني الانعكاس بينما ينتقل الجزء الآخر إلي الوسط الثاني منحرفاً (منكسراً) عن مساره المستقيم .

ويعتمد انكسار الصوت عند انتقاله من وسط إلي آخر علي سرعتي الصوت في هذين الوسطين . حيث أن " سرعة الصوت " هي " المسافة التي تقطعها موجات الصوت في الثانية " .

فبفرض أن سرعة الصوت في الوسط الأول هي v_1 وأن سرعة الصوت في الوسط الثاني هي v_2 فعندما ينتقل الشعاع الصوتي من الوسط الأول إلي الوسط الثاني فإنه ينكسر نتيجة لتغير سرعة الصوت وتكون النسبة بين سرعة الصوت في الوسط الأول إلي سرعة الصوت في الوسط الثاني مقدار ثابت لهذين الوسطين.

أي أن :

$$\frac{v_1}{v_2} = \text{const} \rightarrow 1$$

❖ ويفرض أن زاوية السقوط في الوسط الأول هي φ وأن زاوية الانكسار في الوسط الثاني هي θ فإن النسبة بين جيب زاوية السقوط في الوسط الأول إلى جيب زاوية الانكسار في الوسط الثاني نسبة ثابتة لهذين الوسطين .

❖ أي أن :

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \theta} = \text{const} \rightarrow 2$$

❖ من 1 و 2 ينتج أن :

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \varphi}{\sin \theta}$$

❖ وهذا يعني أنه عندما تكون سرعة الصوت في الوسط الأول v_1 أكبر من سرعة الصوت في الوسط الثاني v_2 تكون زاوية السقوط φ أكبر من زاوية الانكسار θ وبالتالي ينكسر الصوت مقترباً من العمود، والعكس صحيح.

❖ وبذلك يمكن تعريف " انكسار الصوت " بأنه " تغير اتجاه الشعاع الصوتي عندما يجتاز السطح الفاصل بين وسطين مختلفين في الكثافة " .

❖ كما نستنتج أنه :

❖ عندما ينتقل الصوت من وسط أقل كثافة إلى وسط أكبر كثافة فإن سرعته تقل وينكسر مقترباً من العمود.

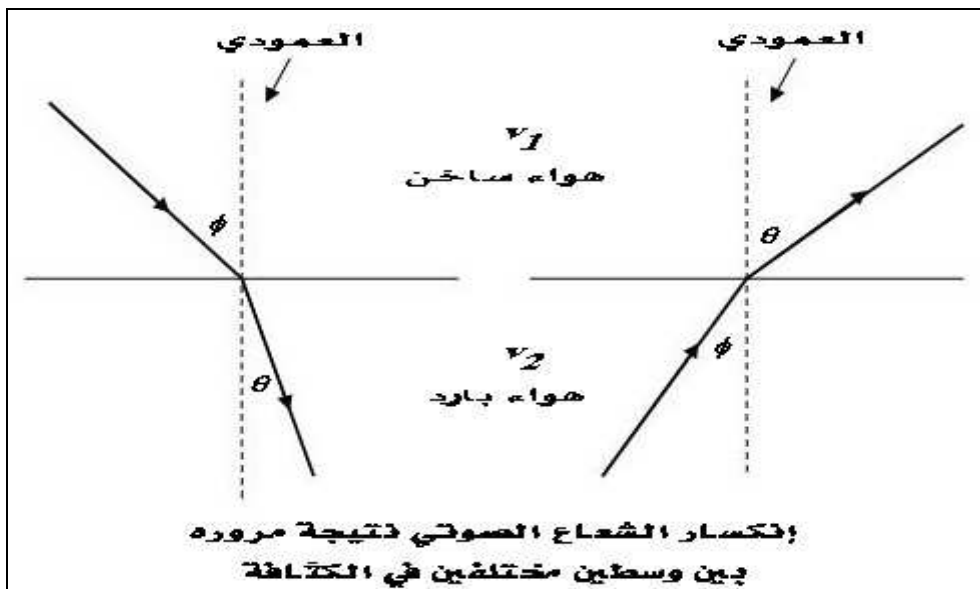
مثل: إنتقال الصوت من الهواء الساخن إلى الهواء البارد.

أو كإنتقال الصوت من الهواء إلى غاز ثاني أوكسيد الكربون.

❖ عندما ينتقل الصوت من وسط أكبر كثافة إلى وسط أقل كثافة فإن سرعته تزداد وينكسر مبتعداً عن العمود.

مثل: إنتقال الصوت من الهواء البارد إلى الهواء الساخن.

أو كإنتقال الصوت من الهواء إلى غاز الهيدروجين .



❖ ويجب ملاحظة أن:

☒ سرعة الصوت في الغازات تقل كلما زادت كثافتها (أي أن سرعة الصوت تتناسب تناسباً عكسياً مع كثافة الغاز)، بينما في حالة السوائل والأجسام الصلبة فإنها تتناسب طردياً مع الكثافة (فتزداد بزيادة الكثافة).

☒ إنكسار الموجات الصوتية يحدث بوضوح عند انتقالها بين وسطين الفرق بين سرعتي الصوت فيهما صغير.

ثالثاً : تداخل الصوت

❖ التداخل هو ظاهرة موجية تنشأ من تراكب موجتين (أو أكثر) لهما نفس التردد والسعة واتجاه الانتشار الأمر الذي ينتج عنه تقوية أو زيادة في شدة الموجة في بعض المناطق (تداخل بناء) وإنعدام أو ضعف في شدة الموجة في بعض المناطق (تداخل هدام).

❖ شروط حدوث التداخل بين حركتين موجيتين:

• أن يكون للحركتين الموجيتين نفس التردد والسعة.

• أن يكون خط انتشارهما واحد أو بين اتجاهيهما زاوية صغيرة.

❖ والشكل الموضح في الكتاب المدرسي ص 27 يعرض طريقة لبيان ظاهرة التداخل بين موجات الصوت التي تتكون من تضاعفات وتخلخلات، حيث يُبين مصدران S_1, S_2 يبعثان موجات لها نفس التردد والسعة ويمكن الحصول علي هذين المصدرين بتوصيل مضخمين صوت بنفس المصدر الكهربائي المتذبذب.

❖ ونلاحظ من الشكل :

- الأقواس المتصلة تمثل مواضع النهايات العظمي للتضاعفات C .

- الأقواس المتقطعة تمثل مواضع النهايات العظمي للتخلخلات R .

- المسافة بين أي قوسين متصلين متتاليين أو قوسين متقطعين متتاليين تساوي الطول الموجي.

❖ ونتيجة لتراكب موجتين لهما نفس التردد والسعة توجد بعض المناطق التي تلتقي فيها تضاعفات المصدر الأول مع تضاعفات المصدر الثاني أو تخلخلات المصدر الأول مع تخلخلات المصدر الثاني وجميعها يتوفر لها الشرط التالي:

" فرق المسار يساوي أعداد صحيحة من الأطوال الموجية أي فرق المسار $m\lambda$ حيث $m = 0, 1, 2, \dots$ "

- مما يؤدي إلي تقوية أو زيادة في شدة الموجة (تداخل بناء) بمعنى أنه لو وقفنا في مواضع تقاطع الأقواس المتصلة أو مواضع تقاطع الأقواس المتقطعة لسمعنا زيادة في شدة الصوت.

❖ كما توجد بعض المناطق التي تلتقي فيها تضاعفات المصدر الأول مع تخلخلات المصدر الثاني أو العكس (وهي مناطق تقاطع الأقواس المتصلة مع الأقواس المتقطعة) أي يكون:

" فرق المسار مساوياً لنصف موجة أو أعداد صحيحة ونصف موجة أي فرق المسار $(m + 1/2)\lambda$ "

- مما يؤدي إلي إنعدام أو ضعف في شدة الموجة (تداخل هدام) أي ضعف في شدة الصوت.

❖ ❖ ❖ والشكل التالي يوضح هذه الظاهرة وشروطها:



رابعاً : حيود الصوت

الحيود ظاهرة تحدث في نفس الوسط وهي عبارة عن تغير في مسار الموجة أو إنحنائها عند مرورها من فتحة ضيقة مقارنة لطولها الموجي أو عند ملامستها لحافة حاجز.

وحيود الصوت من الظواهر المألوفة فعلي سبيل المثال لو أنك تتكلم من غرفة مع شخص آخر في غرفة أخرى خلال فتحة في جدار أو باب فإنه ليس من الضروري أن يقف هذا الشخص أمام الفتحة مباشرة لسمع الصوت إذ يمكنه سماع الصوت بغض النظر عن المكان الذي يقف فيه داخل هذه الغرفة فقد تكون شدة الصوت المسموع أكثر وضوحاً أمام الفتحة مباشرة ولكن شدة الصوت تتغير من مكان لآخر في الغرفة الثانية . وانتشار الصوت في الغرفة الثانية خلف الفتحة (يكون في شكل مروحة أو علي شكل مخروط) ويرجع إلي حيود موجاته.

♦ ♦ ♦ الصوت حركة موجية ♦ ♦ ♦

♦ مما سبق يتضح أن الصوت لابد وأن يكون حركة موجية لأنه يتمتع بخصائص الموجات التي يمكن إيجازها في الآتي:

- 1 - قابل للانتشار في الوسط المادي في جميع الاتجاهات وفي خطوط مستقيمة.
- 2 - قابل للإنعكاس عند سقوطه علي سطح عاكس حيث تكون زاوية السقوط = زاوية الإنعكاس.
- 3 - قابل للإنكسار عند انتقاله من وسط إلي آخر نتيجة لإختلاف سرعته في الوسطين حيث يكون:
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \varphi}{\sin \theta}$$
- 4 - تتداخل الأصوات المتساوية في التردد والسعة وينتج عن التداخل تقوية في الشدة في بعض المواضع وإنعدام في الشدة في مواضع أخرى.
- 5 - يحيد الصوت عن مساره عند مروره في نفس الوسط من فتحة ضيقة مقارنة للطول الموجي.

♦ ♦ ♦ تراكب الموجات ♦ ♦ ♦

يمكن أن تتراكب الموجات بحيث تكون الموجة المحصلة هي مجموع شدة الموجات . وفي حالة التقارب في التردد والسعة فإن عملية التراكب تؤدي إلى نغمات متوافقة.

فإذا حركنا حبلاً مشدوداً بحيث تنطلق نبضة مثلاً نتيجة الحركة فإن هذه النبضة تستمر حتي تصل إلي الطرف البعيد من الحبل . فإذا كان هذا الطرف مربوطاً في حلقة قابلة للإنزلاق فإن الموجة المرتدة تكون موجبة مثل الموجة الساقطة ، أما إذا كان الطرف مثبتاً لا يمكنه الحركة فإن الموجة المرتدة تكون معكوسة (سالبة)، وعندما تلتقي الموجة الساقطة مع الموجة المرتدة فإنها تعطي في الحالة الأولى تداخلاً بناءً وتعطي في الحالة الثانية تداخلاً هداماً.

♦ ♦ ♦ الموجات الموقوفة ♦ ♦ ♦

تنشأ الموجات الموقوفة من تراكب أو تداخل حركتين موجيتين لهما نفس التردد والسعة لكنهما تنتشران في اتجاهين متضادين .

فمثلاً إذا كان لدينا قطاراً مستمر من الموجات المنتشرة علي حبل مشدود في اتجاه وقطار آخر مستمر من الموجات المنتشرة في الاتجاه العكسي فإن هذه الموجات تتداخل لتكون شكلاً معيناً لجسيمات الحبل يبدو وكأنه لا يتحرك إلي اليمين ولا إلي اليسار ولكنه يتحرك عمودياً علي الحبل .

♦ طرق الحصول علي الموجات الموقوفة في حبل أو وتر :

- بتحريك الحبل أو الوتر صعوداً وهبوطاً بشكل تبادلي من نهايته .
- تثبيت الحبل أو الوتر من طرف وتحريكه حركة توافقية بسيطة من الطرف الآخر .
- جذب الحبل من الوسط بحيث تنطلق الموجات في اتجاهين متضادين فترتدان ثم تتداخلان .

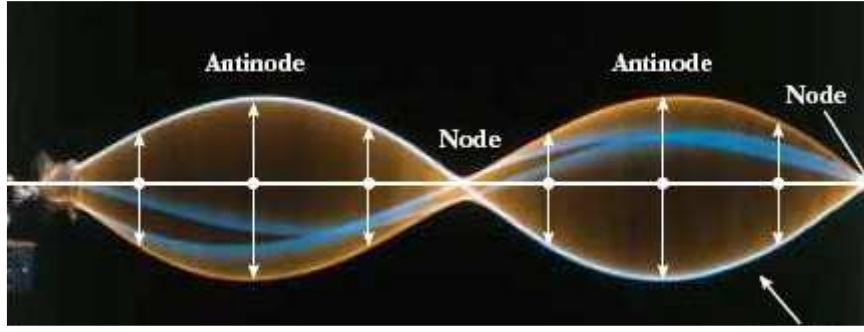
♦ ♦ ♦ تجربة ميلد ♦ ♦ ♦

♦ تعتبر تجربة ميلد من أهم التجارب التي توضح الموجات الموقوفة في الأوتار، ويستخدم في إجراءها الجهاز المبين في الكتاب المدرسي ص 34 وهو عبارة عن مصدر مهتز يتصل بخيط رقيق مرن يبلغ طوله ما بين المترين والثلاثة أمتار مثبت من أحد طرفيه ويمر طرفه الآخر فوق بكرة ملساء وينتهي بكفة توضع فيها أثقال مناسبة، وعندما يهتز المصدر ينتقل في الوتر قطار مستمر من الموجات حتي يصل إلي البكرة فيرتد عنها، وتتراكب الموجات الساقطة مع الموجات المنعكسة مكونةً الموجات الموقوفة وفيها ينقسم الخيط إلى:

- 1 - مناطق تكون فيها سعة الإهتزازة مساوية للصفر فتسمى كلاً منها بالعقدة .
- 2 - مناطق تكون فيها سعة الإهتزازة أكبر ما يمكن فتسمى كلاً منها بالبطن .

♦ وتقع البطون وكذلك العقد على مسافات متساوية.

- مما سبق يمكن تعريف "الموجة الموقوفة" بأنها "الموجة التي تحتوي علي عقد بينها بطون"، وتعرف "العقدة" بأنها "الموضع الذي تنعدم فيه سعة الإهتزازة في الموجة الموقوفة"، أما "البطن" فهي "الموضع الذي تبلغ فيه سعة الإهتزازة في الموجة الموقوفة نهاية عظمي".



♦ ويلاحظ من الشكل السابق أن :

1 - المسافة بين بطنين متتاليتين = نصف موجة $(\lambda / 2)$.

2 - المسافة بين عقدتين متتاليتين = نصف موجة $(\lambda / 2)$.

3 - المسافة بين عقدة ويطن متتاليتين = ربع موجة $(\lambda / 4)$.

♦ ♦ ♦ أي أن الطول الموجي للموجة الموقوفة هو "ضعف المسافة بين أي بطنين متتاليتين أو عقدتين متتاليتين" .

حساب سرعة الموجة المنتشرة في وتر

♦ إذا تأملنا حركة موجة علي وتر تنتشر إلي اليمين بسرعة v فيمكن إعتبار أن الموجة ساكنة بينما تتحرك جسيمات الوتر في الإتجاه المعاكس إلي اليسار بسرعة v . فإذا أخذنا جزء من الوتر من قمة الموجة علي هيئة قوس صغير من دائرة نصف قطرها R فيكون طول هذا القوس عبارة عن نصف القطر في الزاوية التي يحصرها أي :

$$l = R(2\theta) = 2R\theta \quad \Rightarrow \quad 2\theta = \frac{l}{R} \quad \rightarrow 1$$

كما هو مبين بالشكل الموجود في الكتاب المدرسي ص 37 .

♦ وبفرض أن كتلة هذا الجزء من الوتر هي M وكتلة وحدة الأطوال منه هي m حيث أن كتلة هذا الجزء M (كجم) = كتلة وحدة الأطوال m (كجم / متر) $\times$ طول هذا الجزء l (متر) .

$$M = ml \quad \Rightarrow \quad m = \frac{M}{l} \quad \rightarrow 2$$

وحيث أن هذا الجزء يتحرك علي دائرة فإنه يعاني من قوة مركزية تُعطي من العلاقة التالية :

$$F_c = \frac{Mv^2}{R} \quad \rightarrow 3$$

وهي تنشأ نتيجة قوة الشد في الوتر F_T . وبتحليل قوة الشد المماسية عند طرفي القوس علي يمين ويسار الجزء إلي مركبتها (الأفقية والرأسية) نلاحظ أن هناك قوة مقدارها $F_T \cos \theta$ إلي يمين الجزء M وقوة مساوية لها إلي اليسار فتُلَاشِي إحداها الأخرى . بينما تكون المركبة الرأسية لقوة الشد من اليمين هي $F_T \sin \theta$ ومثلها من اليسار لذلك فإن مجموع قوة الشد الرأسية هو قوة مركزية أي :

$$F_c = 2F_T \sin \theta$$

وحيث أن الزاوية θ صغيرة لذا يكون $\sin \theta \approx \theta$ وبالتالي يكون :

$$F_c = 2F_T \theta = F_T (2\theta) \Rightarrow F_c = F_T \left(\frac{l}{R} \right)$$

ومن 3 نحصل علي :

$$\frac{Mv^2}{R} = F_T \left(\frac{l}{R} \right) \Rightarrow v^2 = F_T \left(\frac{l}{M} \right)$$

ومن 2 يكون :

$$m = \frac{M}{l} \Rightarrow \frac{1}{m} = \frac{l}{M}$$

$$\Rightarrow v^2 = \frac{F_T}{m} \Leftrightarrow \boxed{v = \sqrt{\frac{F_T}{m}}} \rightarrow 4$$

حيث m هي كتلة وحدة الأطوال من الوتر و v هي سرعة انتشار الموجة و F_T هي قوة الشد في الوتر .

♦ ♦ ♦ ويلاحظ من العلاقة رقم 4 أنه كلما زاد الثقل المعلق (أي زادت قوة الشد في الوتر) كلما زادت سرعة انتشار الموجات الموقوفة في الوتر حيث :

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{m}} \Rightarrow v = \frac{1}{\sqrt{m}} \sqrt{F_T}$$

وعند ثبوت كتلة وحدة الأطوال m يكون المقدار $\frac{1}{\sqrt{m}}$ قيمة ثابتة وبالتالي يكون :

$$v \propto \sqrt{F_T}$$

أي أن سرعة انتشار الموجات الموقوفة تتناسب تناسباً طردياً مع الجذر التربيعي لقوة الشد في الوتر .
وحيث أن سرعة الموجة تتناسب طردياً أيضاً مع التردد حسب العلاقة $v = \lambda \nu$ لذا نجد أنه كلما زادت قوة الشد كلما زاد التردد وذلك لنفس طول الوتر .

♦ العوامل التي تتوقف عليها سرعة انتشار الموجات المستعرضة في الوتر :

1 - قوة شد الوتر F_T : حيث تزداد سرعة انتشار الموجة بزيادة قوة الشد عند ثبوت كتلة وحدة الأطوال من الوتر . أي :

$$v \propto \sqrt{F_T} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{F_{T1}}{F_{T2}}}$$

2 - كتلة وحدة الأطوال من الوتر m ، فحيث أن :

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{m}} \Rightarrow v = \frac{1}{\sqrt{m}} \sqrt{F_T}$$

وعند ثبوت قوة الشد في الوتر F_T يكون :

$$v \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$$

أي أن سرعة الانتشار للموجة تتناسب تناسباً عكسياً مع الجذر التربيعي لكتلة وحدة الأطوال . وبالتالي تقل سرعة انتشار الموجة بزيادة كتلة وحدة الأطوال عند ثبوت قوة الشد .

$$v \propto \frac{1}{\sqrt{m}} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

♦♦♦ إهتزاز الأوتار ♦♦♦

إذا طُرق وتر من منتصفه فإن أجزاء الوتر تهتز في اتجاهات عمودية علي طوله الذي يمثل خط إنتشار الموجة لذا يُعتبر إهتزاز الوتر إهتزازاً مُستعرضاً .

♦ كيفية إنتشار الموجة المستعرضة في الأوتار !

1 - عند طرق الوتر من منتصفه تحدث فيه موجات مستعرضة وهذه الأمواج تنتقل في جزاي الوتر حتي تصل إلي نهايتيه المثبتتين .

2 - تنعكس الأمواج المستعرضة عند النهايتين المثبتتين للوتر .

3 - تتراكب أو تتداخل الحركتين الموجيتين الساقطة والمنعكسة مكونة الموجات الموقوفة حيث تتكون دائماً عقدتين عند النهايتين المثبتتين .

وعندما يهتز وتر بهذه الكيفية فإنه يمكن أن تنشأ منه عدة نغمات .

♦♦♦ تعيين تردد نغمة صادرة من وتر ♦♦♦

• عندما يهتز وتر مشدود تحدث فيه أمواج موقوفة وينقسم الوتر أثناء إلي إهتزازه إلي عدد من القطاعات كل منها عبارة عن عقدتين وبطن .

$$\Leftarrow \text{طول القطاع} = \text{المسافة بين عقدتين متتاليتين} = \frac{\lambda}{2} \Leftarrow 1$$

• بفرض أن عدد القطاعات الناتجة في الوتر هو n وأن طول الوتر هو l إذاً يكون :

طول الوتر l = عدد القطاعات $n \times$ طول القطاع الواحد .

$$\Leftarrow \text{طول القطاع} = \frac{l}{n} \Leftarrow 2$$

• من 1 و 2 نحصل علي :

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{l}{n} \Rightarrow \lambda = \frac{2l}{n}$$

• وحيث أن سرعة إنتشار الموجات تُعطي من العلاقة :

$$v = \lambda \nu \Rightarrow v = \nu \frac{2l}{n} \rightarrow 3$$

• ولكن سرعة إنتشار الموجات المستعرضة في وتر يمكن تعيينها من العلاقة :

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{m}} \rightarrow 4$$

• من 3 و 4 نجد أن :

$$\nu \frac{2l}{n} = \sqrt{\frac{F_T}{m}} \Rightarrow \boxed{\nu = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{F_T}{m}}} \rightarrow 5$$

حيث ν هي تردد نغمة الوتر و l هي طوله و n هي عدد القطاعات التي ينقسم إليها الوتر .

◆ النغمات التي يُصدرها الوتر ◆

◆ عندما يهتز الوتر فإنه يُصدر نوعين من النغمات :

1 - النغمة الأساسية للوتر (التوافقية الأولى) :

وهي " عبارة عن النغمة التي يُصدرها الوتر عندما يهتز كله كقطعة واحدة " .

• خواص النغمة الأساسية للوتر :

1. يهتز الوتر كقطعة واحدة عندما يصدرها .
2. يتكون عند طرقي الوتر عقدتين وفي المنتصف بطن , أي أن عدد القطاعات التي يهتز بها الوتر $n = 1$.
3. يكون ترددها أقل تردد يمكن أن يهتز به الوتر . ويمكن حساب تردد النغمة الأساسية من :

$$v = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{F_T}{m}} \quad \text{at } n = 1 \quad \Rightarrow \quad v_1 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F_T}{m}}$$

2 - النغمات الفوقية للوتر :

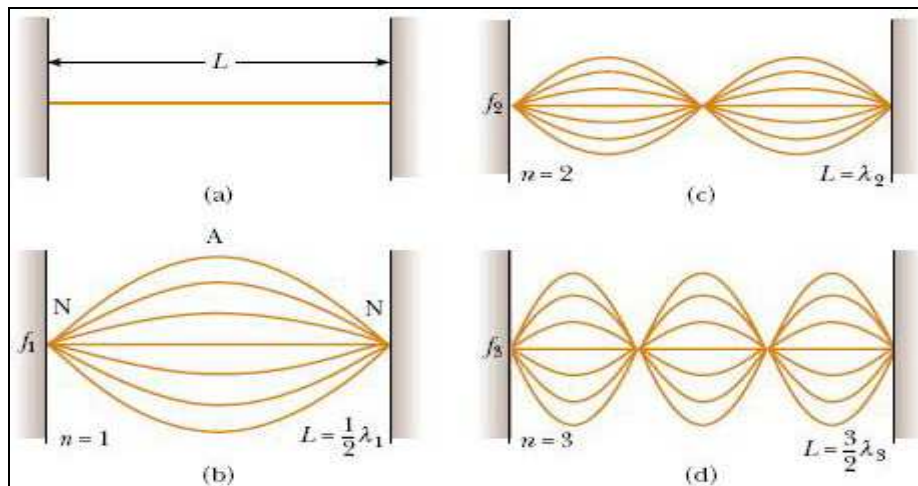
تُعرف " النغمة الفوقية لوتر مهتز " بأنها " النغمة التي يصدرها الوتر عندما يهتز علي هيئة قطاعين أو أكثر ويكون ترددها مضاعفاً صحيحاً لتردد النغمة الأساسية " .

أ - عندما يهتز الوتر علي هيئة قطاعين $n = 2$ فإنه يصدر نغمة تسمى بالنغمة الفوقية الأولى أو النغمة التوافقية الثانية ويكون ترددها ضعف تردد النغمة الأساسية . حيث :

$$\text{at } n = 2 \quad \Rightarrow \quad v_2 = \frac{2}{2l} \sqrt{\frac{F_T}{m}} \quad \Leftrightarrow \quad v_2 = 2v_1$$

ب - أما إذا اهتز الوتر علي هيئة 3 قطاعات $n = 3$ فإنه يصدر النغمة الفوقية الثانية أو التوافقية الثالثة ويكون ترددها 3 أمثال تردد النغمة الأساسية . حيث :

$$\text{at } n = 3 \quad \Rightarrow \quad v_3 = \frac{3}{2l} \sqrt{\frac{F_T}{m}} \quad \Leftrightarrow \quad v_3 = 3v_1$$



• وبذلك تكون النسبة بين تردد النغمة الأساسية لوتر والنغمات الفوقية له أي $v_3 : v_2 : v_1$ هي علي الترتيب 3 : 2 : 1 .

• ويمكن أن تتواجد هذه النغمات في آن واحد إذا جذب الوتر وترك يتذبذب وتسمى هذه النغمات أيضاً بالأنماط .

• أما إذا إتصل الوتر بمصدر مهتز له أحد الترددات المحددة للوتر فإن النمط الغالب وهو تردد المصدر هو الذي يسود .

♦ العلاقة بين تردد النغمات الفوقية والنغمة الأساسية لوتر مهتز :

بفرض أن تردد النغمة الأساسية لوتر هي v_1 وأن تردد النغمة الفوقية التي يصدرها الوتر عندما ينقسم إلى عدد n من القطاعات هو v_n فيكون : $v_n = nv_1$.

♦ جدول يوضح العلاقة بين النغمة الأساسية والنغمات الفوقية الصادرة عن وتر مهتز :

وجه المقارنة	الأساسية	الفوقية الأولى	الفوقية الثانية
الترتيب	1	2	3
عدد القطاعات	1	2	3
تردد النغمة	$v_1 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F_T}{m}}$	$v_2 = \frac{2}{2l} \sqrt{\frac{F_T}{m}}$	$v_3 = \frac{3}{2l} \sqrt{\frac{F_T}{m}}$
تردد النغمة	v_1	$2v_1$	$3v_1$
النسبة بين الترددات	1	2	3

♦ العوامل التي يتوقف عليها تردد النغمة الأساسية لوتر :

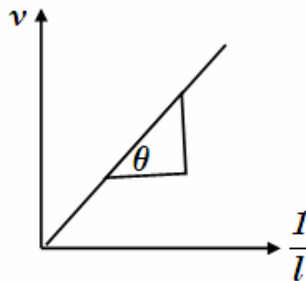
من معادلة تردد النغمة الأساسية التالية $v_1 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F_T}{m}}$ يمكن إستنتاج أن تردد النغمة الأساسية يتوقف علي العوامل التالية :

أ - طول الوتر l : فيتناسب تردد النغمة الأساسية تناسباً عكسياً مع طول الوتر وذلك عند ثبوت قوة الشد وكتلة وحدة الأطوال منه فكلما زاد طول الوتر قل التردد (أي يصبح الصوت غليظ) .

$$v = \left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{F_T}{m}} \right) \frac{1}{l} \Rightarrow v = \text{const} \frac{1}{l} \Leftrightarrow v \propto \frac{1}{l} \Leftrightarrow vl = \text{const}$$

$$\Rightarrow v_1 l_1 = v_2 l_2 \Leftrightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

♦ ويرسم العلاقة البيانية بين v علي المحور الرأسي و $\frac{1}{l}$ علي المحور الأفقي



تنتج علاقة خط مستقيم يمر بنقطة الأصل . ويُعطي الميل من العلاقة :

$$vl = v \div (1/l) = \tan \theta = \text{الميل}$$

وحيث أن سرعة الموجة هي $v = \lambda v$ والطول الموجي هو $\lambda = \frac{2l}{n}$ إذاً يكون :

$$v = \frac{2l}{n} v \Leftrightarrow \frac{vn}{2} = vl$$

وحيث أن $n = 1$ للنغمة الأساسية لذا يكون :

$$\frac{v}{2} = vl \Rightarrow \boxed{v = 2vl}$$

أي أن سرعة انتشار الموجة = $2 \times$ الميل .

ب - قوة شد الوتر F_T : حيث يزداد تردد الوتر بزيادة قوة الشد في الوتر عند ثبوت طول الوتر وكتلة وحدة الأطوال منه . أي :

$$v \propto \sqrt{F_T} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{F_{T1}}{F_{T2}}}$$

ج - كتلة وحدة الأطوال من الوتر m : فعند ثبوت قوة الشد F_T وطول الوتر l يتناسب تردد الوتر تناسباً عكسياً مع الجذر التربيعي لكتلة وحدة الأطوال منه . وبالتالي يقل تردد الوتر بزيادة كتلة وحدة الأطوال عند ثبوت قوة الشد وطول الوتر.

$$v \propto \frac{1}{\sqrt{m}} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

♦♦♦ تعليقات هامة ♦♦♦

- 1 - ينكسر الصوت عند انتقاله من وسط لآخر يختلف عنه في الكثافة .
ذلك نتيجة لتغير سرعة موجات الصوت عند انتقالها من وسط لآخر .
 - 2 - ينكسر الصوت مقترباً من العمود عند انتقاله من وسط أقل كثافة إلى وسط أكبر كثافة .
وذلك لأن سرعة الصوت في الوسط الأول (الأقل كثافة) v_1 أكبر من سرعة الصوت في الوسط الثاني (الأكبر كثافة) v_2 وبالتالي تكون زاوية السقوط ϕ أكبر من زاوية الانكسار θ فينكسر الصوت مقترباً من العمود .
 - 3 - إذا أصدر شخص صوتاً في الهواء فإن شخصاً آخر تحت سطح الماء لا يستطيع سماعه بوضوح .
ذلك لأن معظم الطاقة الصوتية الساقطة علي سطح الماء تنعكس ولا ينكسر منها وينفذ إلى الماء إلا جزء صغير جداً وذلك لوجود فرق كبير بين سرعتي الصوت في الهواء والماء .
 - 4 - تزداد سرعة انتشار الموجات المستعرضة في وتر بزيادة قوة الشد .
ذلك لأن سرعة انتشار الأمواج المستعرضة في الوتر تتناسب تناسباً طردياً مع الجذر التربيعي لقوة الشد
- $$v = \sqrt{\frac{F_T}{m}} \Rightarrow v \propto \sqrt{F_T}$$
- 5 - أقل تردد يصدره وتر مشدود يهتز هو تردد نغمته الأساسية .
لأنه من المعادلة $v = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{F_T}{m}}$ نلاحظ أن التردد v يعتمد علي عدد القطاعات n . ولما كان الوتر عندما يُصدر نغمته الأساسية فإنه يهتز كله كقطعة واحدة $n = 1$ وهو أقل عدد من القطاعات لذا يكون تردد النغمة الأساسية هو أقل تردد للوتر .
 - 6 - إذا تكلم شخص في غرفة فإن شخصاً آخر في الغرفة المجاورة يمكنه سماعه دون أن يقف الشخص الثاني أمام فتحة الباب .
لأن الأمواج الصوتية عندما تمر بحافة صلبة أو تسقط علي فتحة صغيرة فإنها تحيد عن اتجاهها الأصلي وينتشر الصوت في الغرفة الثانية كمروحة أو في شكل مخروط .

الفصل الثالث

«الضوء»

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الأولى "الموجات" الفصل الثالث "الضوء"

الضوء

❖ مقدمة :

ⓧ يُعتبر الضوء أحد صور الطاقة التي لا يستغني الإنسان عنها . وترجع أهميته لحياة الإنسان في أنه :

1 - ضروري لرؤية الأجسام التي حولنا .

2 - يساعدنا علي السير والقراءة ويساعد الطبيب عند فحص المريض أو إجراء العمليات الجراحية .

3 - يساعد الضوء النبات علي القيام بعملية البناء الضوئي التي تساعده علي النمو .

ⓧ ويختلف الضوء عن الصوت في أنه لا يحتاج إلي وسط مادي لينتشر فيه، فالضوء جزء من مدي واسع

من الموجات التي تسمى بالموجات الكهرومغناطيسية التي تنتشر جميعها في الفراغ بسرعة ثابتة c قدرها 3×10^8 م/ث.

ⓧ تتباين هذه الموجات فيما بينها في تردداتها لتعطي ما يسمى بالطيف الكهرومغناطيسي الذي يشمل

علي سبيل المثال موجات الراديو وموجات الأشعة تحت الحمراء وموجات الضوء المنظور وموجات

الأشعة فوق البنفسجية وموجات الأشعة السينية وموجات أشعة جاما .

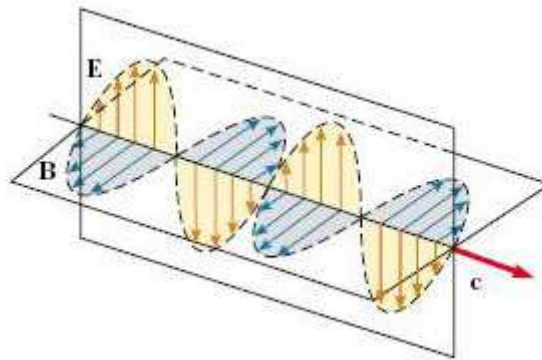
ⓧ وجميع هذه الموجات لها خواص مشتركة فهي تنتشر أو تنتقل في الفراغ (الفضاء) بنفس السرعة

كما أنها موجات مستعرضة.

ⓧ والموجات الكهرومغناطيسية تتكون من مجالات كهربية E (التي تمثلها الأسهم الصفراء) ومجالات

مغناطيسية B (التي تمثلها الأسهم الزرقاء) مهتزة بتردد ν ومتفقة في الطور ومتعامدة علي بعضها

البعض من ناحية ومتعامدة علي اتجاه إنتشارها من ناحية أخرى (كما في الشكل التالي).



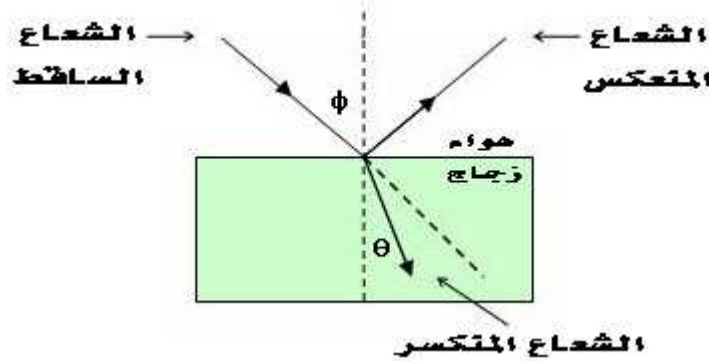
• إنتشار الضوء في خطوط مستقيمة :

ينتشر الضوء في الوسط المتجانس في خطوط مستقيمة في جميع الإتجاهات بدليل تكون الظل لأي جسم

يعترض طريق الأشعة الضوئية .

♦ ♦ ♦ إنعكاس الضوء وانكساره ♦ ♦ ♦

- ✗ ينتشر الضوء في جميع الاتجاهات في خطوط مستقيمة ما لم يصادفه وسط عائق. فإذا صادفه هذا الوسط العائق فإنه يعاني إنعكاساً أو انكساراً أو امتصاصاً بنسب مختلفة حسب طبيعة الوسط.
- ✗ فعند سقوط شعاع ضوئي على سطح يفصل بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية فإن جزءاً منه ينعكس والجزء الآخر ينكسر (نتيجة لإختلاف سرعة الضوء في الوسطين) مع إهمال الجزء الممتص.
- ✗ فمثلاً في الشكل التالي:



نجد أنه يحدث للشعاع الساقط إنعكاس وانكسار عندما يسقط على سطح يفصل بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية .

♦ ففي حالة الإنعكاس: يخضع الشعاع الضوئي للقانونين التاليين:

- 1 - زاوية السقوط = زاوية الإنعكاس.
- 2 - الشعاع الضوئي الساقط والشعاع الضوئي المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس تقع جميعها في مستوي واحد عمودي على السطح العاكس.

♦ أما في حالة الانكسار: فإنه يخضع للقانونين التاليين:

- 1 - الشعاع الضوئي الساقط والشعاع الضوئي المنكسر والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل تقع جميعها في مستوي واحد عمودي على السطح الفاصل.
- 2 - النسبة بين جيب زاوية السقوط φ في الوسط الأول إلى جيب زاوية الانكسار θ في الوسط الثاني نسبة ثابتة لهذين الوسطين وهي تساوي النسبة بين سرعة الضوء في الوسط الأول v_1 إلى سرعة الضوء في الوسط الثاني v_2 .

ويطلق على هذه النسبة اسم "معامل الانكسار النسبي من الوسط الأول إلى الوسط الثاني" ويرمز لها بالرمز n_2 حيث :

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \theta} = \frac{v_1}{v_2} = n_2 \rightarrow 1$$

• نتائج هامة:

- 1 - تُعد سرعة الضوء في الفراغ أو الفضاء أو الهواء c من الثوابت الكونية وهي تساوي 3×10^8 م / ث . وسرعة الضوء في الفراغ أو الهواء أكبر من سرعته في أي وسط مادي .

♦ معامل الإنكسار المطلق لوسط :

فبفرض أن سرعة الضوء في الفراغ هي c وأن سرعة الضوء في الوسط المادي هي v فمن المعادلة السابقة يكون :

$${}_1n_2 = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{at} \quad v_1 = c \quad \& \quad v_2 = v \quad \Rightarrow \quad {}_1n_2 = \frac{c}{v} = n$$

ويسمى معامل الإنكسار النسبي ${}_1n_2$ في هذه الحالة بـ "معامل الإنكسار المطلق للوسط" ويرمز له بالرمز n حيث :

$$\boxed{n = \frac{c}{v}} \quad \rightarrow 2$$

يُعرف "معامل الإنكسار المطلق لوسط" بأنه "النسبة بين سرعة الضوء في الهواء أو الفراغ إلى سرعة الضوء في هذا الوسط".

2 - من المعادلة رقم 2 يتضح أن :

$$n = \frac{c}{v} \Leftrightarrow v = \frac{c}{n} \Rightarrow v_1 = \frac{c}{n_1} \quad \& \quad v_2 = \frac{c}{n_2}$$

$$\Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{but} \quad {}_1n_2 = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \varphi}{\sin \theta}$$

$$\Rightarrow \boxed{{}_1n_2 = \frac{n_2}{n_1}} \quad \rightarrow 3$$

$$\Rightarrow \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \varphi}{\sin \theta} \Leftrightarrow \boxed{n_1 \sin \varphi = n_2 \sin \theta} \quad \rightarrow 4$$

وهو ما يُعرف بقانون "سنل" الذي ينص علي أن "معامل الإنكسار المطلق للوسط الأول في جيب زاوية السقوط يساوي معامل الإنكسار المطلق للوسط الثاني في جيب زاوية الإنكسار".

كما يُعرف "معامل الإنكسار النسبي" بأنه "النسبة بين سرعة الضوء في الوسط الأول إلى سرعة الضوء في الوسط الثاني" أو "النسبة بين جيب زاوية السقوط φ في الوسط الأول إلى جيب زاوية الإنكسار θ في الوسط الثاني" أو "النسبة بين معامل الإنكسار المطلق للوسط الثاني إلى معامل الإنكسار المطلق للوسط الأول" أي :

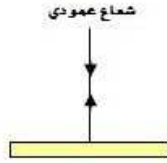
$${}_1n_2 = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \varphi}{\sin \theta} = \frac{n_2}{n_1}$$

ومن المعادلة رقم 3 يمكن إستنتاج نتيجة هامة هي :

$${}_1n_2 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{\frac{n_1}{n_2}} = \frac{1}{{}_2n_1} \Leftrightarrow {}_1n_2 = \frac{1}{{}_2n_1}$$

3 - يمكن إستخدام الإنكسار في تحليل حزمة ضوئية إلى مركباتها ذات الأطوال الموجية المختلفة حيث يختلف معامل الإنكسار المطلق تبعاً للطول الموجي ولذلك يتشتت الضوء الأبيض إلى مكوناته ويمكن ملاحظة ذلك في فقاعات الصابون .

4 - إذا سقط شعاع ضوئي علي سطح عاكس وكان عمودياً عليه فإنه ينعكس علي نفسه لأن كلاً من زاويتي السقوط والانعكاس تساوي صفر .

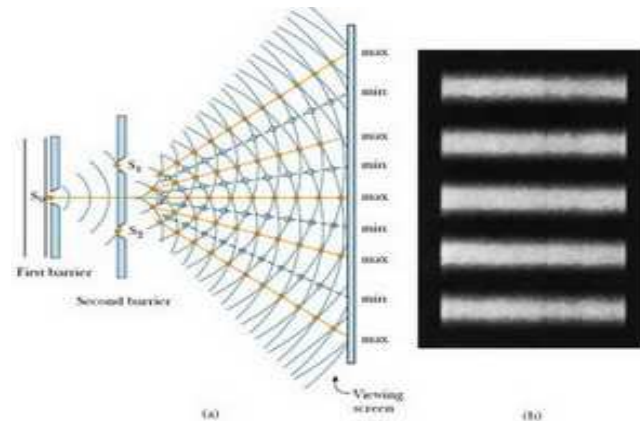


تعريف هامة

- 1 - إنعكاس الضوء هو " إرتداد الأشعة الضوئية إلي نفس الوسط عندما تُقابل سطحاً عاكساً " .
- 2 - الشعاع الساقط هو " الشعاع الذي يصل إلي السطح العاكس " .
- 3 - الشعاع المنعكس هو " الشعاع الذي يرتد عن السطح العاكس " .
- 4 - زاوية السقوط هي " الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المُقام من نقطة السقوط علي السطح العاكس " .
- 5 - زاوية الانعكاس هي " الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المُقام من نقطة السقوط علي السطح العاكس " .
- 6 - إنكسار الضوء هو " تغير إتجاه الشعاع الضوئي عندما يجتاز السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين " .
- 7 - الكثافة الضوئية لوسط هي " قدرة الوسط علي كسر الأشعة الضوئية عند نفاذها فيه " .
- 8 - السطح الفاصل هو " السطح الذي يفصل بين وسطين شفافين مختلفين في الكثافة الضوئية " .
- 9 - الشعاع المنكسر هو " المسار الجديد للشعاع الضوئي في الوسط الثاني بعد نفاذه من السطح الفاصل " .
- 10 - زاوية الإنكسار هي " الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والعمود المُقام من نقطة السقوط علي السطح الفاصل " .

♦♦♦ تداخل الضوء ♦♦♦

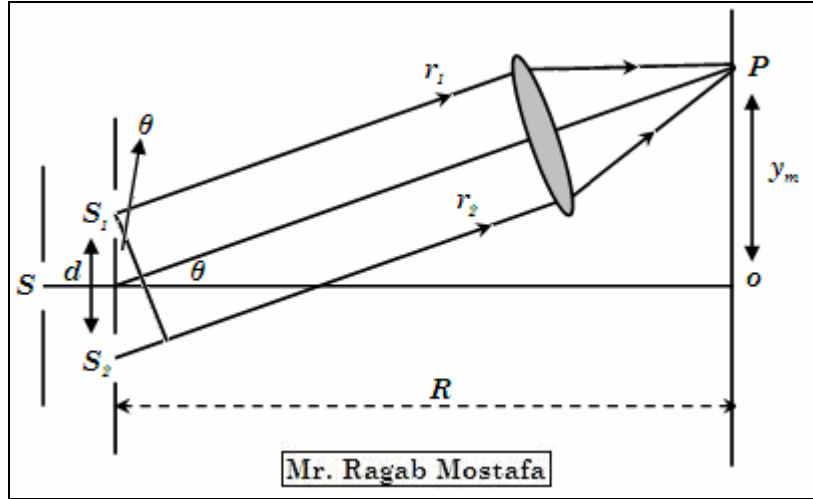
♦♦♦ أجري توماس ينج تجربة لدراسة ظاهرة التداخل في الضوء فيما يُعرف باسم " تجربة الشق المزدوج " وهي موضحة في الشكل التالي:



♦ حيث يتكون الجهاز المستخدم من مصدر ضوئي أحادي الطول الموجي يقع علي بُعد مناسب من حاجز به فتحة مستطيلة ضيقة S تمر خلالها موجات أسطوانية نحو حاجز آخر به فتحتان مستطيلتان ضيقتان S_1, S_2 تعملان كشق مزدوج .

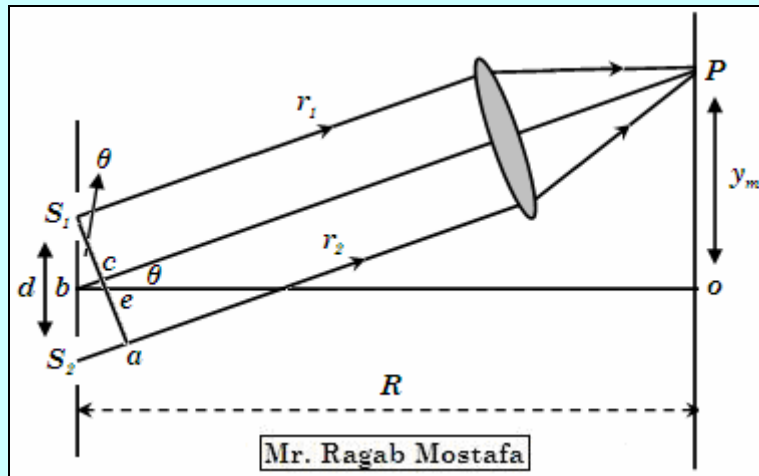
♦ وتقع الفتحتان S_1, S_2 على نفس صدر الموجة لذلك يكون للموجات التي تصل الفتحتين نفس الطور.

- ♦ وبالتالي تسلك الفتحتان المستطيلتان سلوك المصادر الضوئية المترابطة (وهي المصادر الضوئية التي تكون أمواجها متساوية في التردد والسعة ولها نفس الطور) حيث تنتشر الحركتان الموجيتان الصادرتان منهما علي شكل موجات أسطوانية خلف الحاجز متخذة طريقها نحو الحائل المعد لإستقبالها.
- ♦ وعلى هذا الحائل تتراكب أو تتداخل الحركتين الموجيتين القادمتين إليه من S_1, S_2 ، ونتيجة لهذا التراكب تظهر مجموعة التداخل التي تبدو كمجموعة من المناطق المستقيمة المتوازية وهي عبارة عن مناطق مضيئة تتخللها مناطق أخرى مظلمة فيما يُعرف بـ " هدب التداخل " .
- ♦ ♦ ♦ والشكل التالي يوضح أن فرق المسار يحدد هدب التداخل في تجربة ينج:



تفسير التداخل في تجربة ينج

- ♦ يمكن تفسير هدب التداخل في تجربة ينج على النحو التالي:
- إذا كان بُعد الحائل عن الشق المزدوج R كبيراً نسبياً بالمقارنة بالمسافة بين فتحتي الشق المزدوج d (أي $R \gg d$) فإنه يمكن اعتبار الشعاعين الصادرين من فتحتي الشق المزدوج في طريقهما إلي الحائل في حالة توازي (وهذا إفتراض صحيح) لذا يمكن إستخدام الشكل التالي:



- فإذا كانت θ هي زاوية ميل الشعاعين r_1, r_2 فإنه يمكن إسقاط العمود θ من الشعاع r_1 علي الشعاع r_2 لإيجاد فرق الطول (أو فرق المسار الضوئي بين الشعاعين أي $r_2 - r_1$ أو Δr) وهو في هذه الحالة S_1a :

إذاً في المثلث S_1aS_2 يكون :

$$\sin \theta = \frac{S_2a}{d}$$

أي أن :

$$\Delta r = r_2 - r_1 = S_2a = d \sin \theta \quad \Delta r = d \sin \theta \quad \rightarrow 1$$

حيث Δr هي فرق المسار الضوئي بين الشعاعين و d هي المسافة بين الفتحتين.

وإذا كان فرق المسار الضوئي مساوياً لعدد صحيح من الأطوال الموجية أي:

$$\Delta r = d \sin \theta = m\lambda \quad \Rightarrow \quad d \sin \theta = m\lambda \quad \rightarrow 1-1$$

فإن هذه الأشعة تتلاقى لتكون هدبة مضيئة.

أما إذا كان فرق المسار الضوئي بين الشعاعين مساوياً لنصف موجة أو أعداد صحيحة ونصف موجه أي:

$$\Delta r = d \sin \theta = (m + \frac{1}{2})\lambda \quad \Rightarrow \quad d \sin \theta = (m + \frac{1}{2})\lambda \quad \rightarrow 1-2$$

فإن هذه الأشعة تتلاقى لتكون هدبة مظلمة.

إيجاد المسافة بين هدبتين من نفس النوع علي الحائل

♦ نعود مرة أخرى إلي الشكل السابق:

" الفكرة في هذا الشكل هو كيفية إثبات أن الزاوية ($p\hat{b}o$) أو الزاوية ($c\hat{b}e$) مساوية للزاوية θ " فحيث أن الأشعة r_1, bp, r_2 متوازية وأن θ عمودي علي r_2 فإنه لابد أن يكون عمودياً علي bp أيضاً إذاً يوجد لدينا مثلثين قائمين هما S_1cb القائم في c والمثلث bce القائم في c أيضاً .
 - أولاً المثلث S_1cb فيه :

$$(b\hat{S}_1c) = \theta \quad (S_1\hat{c}b) = 90^\circ \quad \Rightarrow \quad (S_1\hat{b}c) = 90^\circ - \theta$$

لكن :

$$(S_1\hat{b}e) = 90^\circ \quad \text{and} \quad (S_1\hat{b}e) = (S_1\hat{b}c) + (c\hat{b}e)$$

$$\Rightarrow \quad (c\hat{b}e) = (S_1\hat{b}e) - (S_1\hat{b}c) = 90 - 90 + \theta$$

$$\therefore \quad (c\hat{b}e) = (p\hat{b}o) = \theta$$

ثانياً المثلث pbo فيه :

$$(p\hat{b}o) = \theta$$

$$\Rightarrow \quad \tan \theta = \frac{y_m}{R} \quad \rightarrow 2$$

وبالإضافة إلي الاعتبار السابق بأن $R \gg d$ يمكن اعتبار أن $d \gg \lambda$ وهذا صحيح لأنه من خلال التجارب العملية تكون R في حدود 1 متر والمسافة بين الفتحتين في الشق المزدوج d تكون عبارة عن كسر من المليمتر ويكون الطول الموجي λ في حالة الضوء المرئي عبارة عن كسر من الميكرومتر.

وتحت هذه الظروف.. تكون زاوية ميل الشعاعين θ صغيرة وبالتالي يمكن استخدام التقريب التالي:

$$\tan \theta \cong \sin \theta \cong \theta$$

وتوؤل المعادلة 2 إلى:

$$\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{y_m}{R} \Rightarrow \sin \theta = \frac{y_m}{R} \rightarrow 3$$

ومن المعادلة 1-1 يكون:

$$d \sin \theta = m\lambda \Rightarrow \sin \theta = \frac{m\lambda}{d} \rightarrow 4$$

من 3 و 4 نحصل على:

$$\frac{y_m}{R} = \frac{m\lambda}{d} \quad y_m = \frac{m\lambda}{d} R \rightarrow 5$$

وذلك للهذب المضيئة، أما بالنسبة للهذب المظلمة فإنها تصبح على الصورة:

$$y_m = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d} R \rightarrow 6$$

حيث m تسمى بـ "رتبة الهدبة".

من 5 و 6 يتبين أن المسافة بين أي هدبتين متتاليتين من نفس النوع Δy تتعين من العلاقة:

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

حيث λ هو طول موجة الضوء الأحادي اللون المستخدم و R هي المسافة بين الشق المزدوج والحائل المعد لإستقبال الهدب و d المسافة بين S_1, S_2 .

لذلك تستخدم تجربة ينج لتعيين الطول الموجي لأي ضوء أحادي اللون.

♦♦♦ حيود الضوء ♦♦♦

- من المعروف أن أشعة الضوء تسير في خطوط مستقيمة . وعلي هذا الأساس إذا سقط ضوء أحادي اللون علي فتحة دائرية ضيقة من حاجز فإننا نتوقع تكون بقعة دائرية مضيئة محددة علي الحائل الموجود خلف الفتحة.

- بدراسة هذه البقعة المضيئة التي تسمى بـ " قرص آيري " وجد أنها تتكون من هدب مضيئة بينها هدب مظلمة كالتى تتكون عند حدوث التداخل.

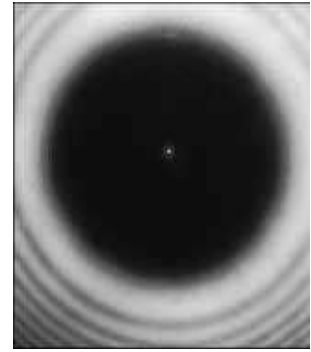
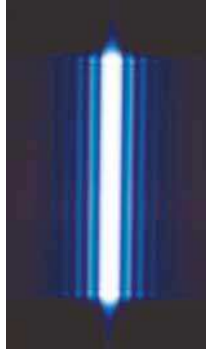
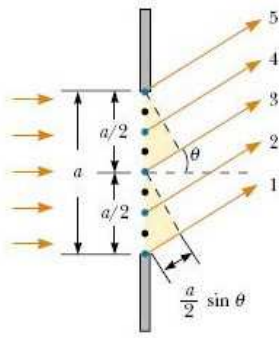
♦ تفسير ما حدث

1 - عندما يمر الضوء بالقرب من حافة جسم أو من خلال فتحة ضيقة مقارنة بطوله الموجي فإن مسار الضوء ينحني ويسير في إتجاه جديد، وهذا الإنحناء للضوء حول الأركان يسمى "الحيود".

2 - موجات الضوء التي تحيد عن إتجاهها الأصلي بعد نفاذها من الفتحة تتداخل أو تتراكب مع بعضها وتتكون مجموعة الحيود علي الحائل الموجود خلف الفتحة أي تظهر الهدب المضيئة والمظلمة.

♦ من ذلك يمكن تعريف الحيود بأنه " ظاهرة موجية تنشأ عن تغير مسار موجات الضوء نتيجة مرورها خلال فتحة مناسبة أو ملامستها لحافة صلبة مما يؤدي إلي تراكم الموجات وتكون هدب مضيئة وهدب مظلمة ".

أي أن الحيود يظهر بوضوح إذا كان الطول الموجي مقارباً لأبعاد فتحة الحائل والعكس صحيح . كما يجب ملاحظة أن شكل مجموعة الحيود يختلف باختلاف شكل الفتحة التي يحيد منها الضوء .



♦♦♦ الضوء حركة موجية ♦♦♦

مما سبق يتضح أن الضوء لا بد وأن يكون حركة موجية لأنه يتمتع بخصائص الموجات التي يمكن إيجازها في الآتي :

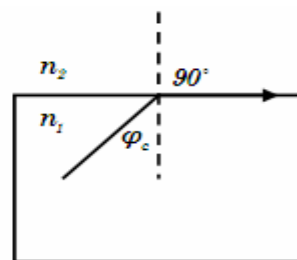
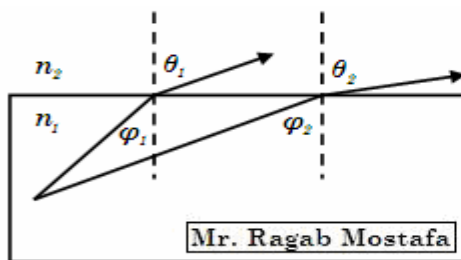
- 1 - قابل للإنتشار في الوسط المادي في جميع الإتجاهات وفي خطوط مستقيمة.
- 2 - قابل للإنعكاس عند سقوطه على سطح عاكس وفقاً لقانوني الإنعكاس.
- 3 - قابل للإنكسار عند إنتقاله من وسط إلى آخر وفقاً لقانوني الإنكسار.
- 4 - يتداخل الضوء وينشأ عن التداخل تقوية في الشدة في بعض المواضع وإنعدام في الشدة في مواضع أخرى.
- 5 - يحيد الضوء عن مساره عند مروره خلال فتحة ضيقة مقاربة لطوله الموجي.

♦♦♦ الزاوية الحرجة ♦♦♦

⊗ عندما ينتقل شعاع ضوئي من وسط أكبر كثافة ضوئية (مثل الماء أو الزجاج) إلى وسط أقل كثافة ضوئية مثل الهواء فإن الشعاع الضوئي ينكسر مبتعداً عن العمود . ومع زيادة قيمة زاوية السقوط في الوسط الأول (الأكبر كثافة ضوئية) تزداد قيمة زاوية الإنكسار في الوسط الثاني (الأقل كثافة ضوئية) فيقترب الشعاع المنكسر تدريجياً من السطح الفاصل بين الوسطين.

⊗ وعندما تبلغ زاوية السقوط φ قيمة معينة في الوسط الأكبر كثافة ضوئية فإن الشعاع يخرج موازياً لـ (أو منطبقاً على) السطح الفاصل أي تبلغ زاوية الإنكسار أكبر قيمة لها وهي 90° وتسمى زاوية السقوط في هذه الحالة بـ "الزاوية الحرجة φ_c ".

⊗ إذا يمكن تعريف " الزاوية الحرجة φ_c " بأنها " زاوية سقوط في الوسط الأكبر كثافة ضوئية تقابلها زاوية إنكسار في الوسط الأقل كثافة ضوئية مقدارها 90° " .



• ما معني أن الزاوية الحرجة للماء = 49° ؟

معني ذلك أنه إذا سقط شعاع ضوئي من الماء إلي الهواء وكانت زاوية السقوط في الماء 49° فإن الشعاع الضوئي يخرج منطبقاً علي السطح الفاصل بينهما أي تكون زاوية الانكسار في الهواء 90° .

♦ العلاقة بين الزاوية الحرجة ومعامل الانكسار !

بفرض أن معامل الانكسار المطلق للوسط الأكبر كثافة ضوئية هو n_1 وأن معامل الانكسار المطلق للوسط الأقل كثافة ضوئية هو n_2 . وأن زاوية السقوط في الوسط الأول (الأكبر) هي الزاوية الحرجة φ_c فإن زاوية الانكسار في الوسط الثاني (الأقل) تكون 90° .
فبتطبيق قانون سنل يكون:

$$n_1 \sin \varphi = n_2 \sin \theta \Rightarrow n_1 \sin \varphi_c = n_2 \sin 90^\circ \Rightarrow n_1 \sin \varphi_c = n_2$$

حيث أن $\sin 90^\circ = 1$ وبالتالي يكون:

$$\sin \varphi_c = \frac{n_2}{n_1} =_1 n_2$$

أي أن معامل الانكسار النسبي من الوسط الأول الأكبر إلي الوسط الثاني الأقل كثافة = جيب الزاوية الحرجة.

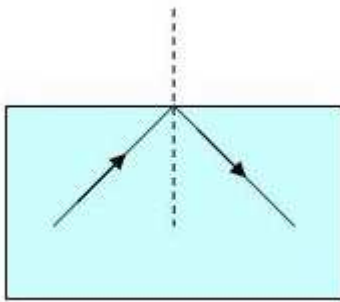
وعندما يكون الوسط الثاني الأقل كثافة ضوئية هو الهواء يكون:

$$n_2 = 1 \Rightarrow \sin \varphi_c = \frac{1}{n_1} \Leftrightarrow n_1 = \frac{1}{\sin \varphi_c}$$

حيث أن n_1 هو معامل الانكسار المطلق للوسط الأكبر كثافة ضوئية.

أي أن: معامل الانكسار المطلق للوسط = مقلوب جيب الزاوية الحرجة له.

♦♦♦ الانعكاس الكلي ♦♦♦



إذا إنتقل شعاع ضوئي من وسط أكبر كثافة ضوئية إلي وسط أقل كثافة ضوئية وكانت زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة فإن الشعاع لا ينفذ إلي الوسط الأقل كثافة بل يرتد إلي نفس الوسط الأول الأكبر بحيث تكون زاوية السقوط = زاوية الانعكاس ويُقال أن الشعاع الضوئي انعكس انعكاساً كلياً (في نفس الوسط) وذلك علي خلاف أي زاوية سقوط أخرى أقل من الزاوية الحرجة حيث ينفذ جزء وينعكس الآخر .

♦♦♦ تطبيقات علي الانعكاس الكلي ♦♦♦

١ .. الألياف الضوئية أو البصرية .

الليفة الضوئية عبارة عن أنبوبة من مادة شفافة (الزجاج الشفاف أو البلاستيك) تنثني في أي هيئة .
عندما يدخل الضوء من أحد طرفي الليفة فإنه يُعاني انعكاسات كلية متتالية (حيث تكون زاوية السقوط علي أي جزء من الجدار أكبر من الزاوية الحرجة) حتي يخرج من الطرف الآخر .

.. إستخدامات الألياف الضوئية)

- أ - نقل الضوء إلي أماكن يعيب الوصول إليها مثل الأجزاء الداخلية للمعدة .
 - ب - نقل الضوء دون فقد يذكر .
 - ج - تستخدم في الفحوص الطبية مثل المناظير الطبية التي تستخدم في التشخيص .
 - د - تستخدم الألياف الضوئية مع أشعة الليزر في إجراء العمليات الجراحية والاتصالات التليفونية .
- ## .. كيفية عمل الليفة الضوئية)

إذا كان لدينا أنبوبة مجوفة ونظرنا من أحد طرفيها لنرى جسماً مضيئاً في الطرف الآخر فإنه يمكن رؤيته . أما إذا حدث إنشاء للأنبوبة المجوفة فلا يمكن رؤية الجسم المضيئ .

وفي هذه الحالة كيف يمكن رؤيته ؟

إذا وضعنا مرآيا عاكسة عند مواضع سقوط الشعاع الضوئي فإننا نستطيع في هذه الحالة رؤية الجسم المضيئ . وبالمثل يمكن إستخدام الألياف الضوئية عند سقوط الشعاع الضوئي بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة فإنه تحدث انعكاسات كلية متتالية ليخرج الشعاع بكامل طاقته من الصنف الآخر رغم إنشاء الأنبوبة .

!! .. المنشور العاكس .

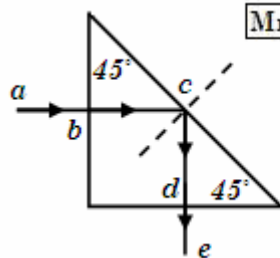
نظراً لأن الزاوية الحرجة بين الزجاج الذي معامل إنكساره المطلق 1.5 والهواء حوالي 42° فإن منشوراً ثلاثياً من الزجاج قائم الزاوية ومتساوي الساقين (أي زواياه $45^\circ, 45^\circ, 90^\circ$) يستخدم في تغيير مسار حزمة ضوئية بمقدار 90° أو 180° . ومثل هذا المنشور يستخدم في الغواصات وفي مناظير الميدان .

- تغيير مسار الشعاع الضوئي بمقدار 90° .

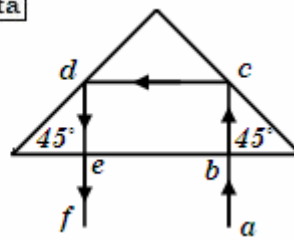
إذا سقط شعاع ضوئي عمودياً علي أحد وجهي الزاوية القائمة مثل الشعاع ab في الشكل الأول فإنه ينفذ علي إستقامته ثم يسقط علي الوجه المقابل للزاوية بزاوية سقوط 45° (وهي أكبر من الزاوية الحرجة من الزجاج إلي الهواء) لذا ينعكس إنعكاساً كلياً وينفذ في الإتجاه de . وبذلك يتغير مسار الشعاع الضوئي بزاوية قدرها 90° ويستفاد من ذلك في إضاءة الأدوار التي تنخفض مستوياتها عن سطح الأرض .

- تغيير مسار الشعاع الضوئي بمقدار 180° .

في الشكل الثاني إذا سقط الشعاع الضوئي ab عمودياً علي الضلع المقابل للزاوية القائمة فإنه ينعكس إنعكاساً كلياً مرتين متتاليتين عند c, d لأن زاوية السقوط تكون 45° أي أكبر من الزاوية الحرجة وبالتالي يخرج الشعاع في الإتجاه ef . وبذلك يتغير مساره 180° .



1 - تغيير الإتجاه 90° درجة.



2 - تغيير الإتجاه 180° درجة.

♦♦♦ تعليقات هامة ♦♦♦

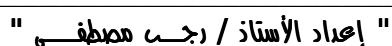
- 1 - يُفضل المنشور العاكس عن السطح المعدني العاكس أو المرآة المستوية .
ذلك لسببين : ♦ لأن الضوء ينعكس في المنشور إنعكاساً كلياً وبالتالي لايسبب فقد يذكر من شدة الضوء الساقط عليه . ومن النادر أن يتواجد السطح المعدني العاكس الذي تبلغ كفاءته 100% .
♦ ♦ يتعرض السطح المعدني العاكس والمرآة إلي التلف بكثرة الإستعمال ولا يحدث ذلك في المنشور .
- 2 - تُغطي أوجه المنشور العاكس التي يدخل منها أو يخرج منها الضوء بغشاء رقيق من مادة غير عاكسه معامل إنكسارها أقل من معامل إنكسار الزجاج مثل الكريوليت (فلوريد الألومنيوم وفلوريد الماغنسيوم) .
وذلك لتجنب فقد أي نسبة أو أي جزء من شدة الضوء عند دخوله أو خروجه من المنشور .

!!! .. السراب .

- السراب ظاهرة طبيعية تحدث في الصحراء أو الطرق المرصوفة وقت الظهيرة وتري فيها صور الأجسام البعيدة كما لو كانت منعكسة علي سطح ماء . كما تبدو الطرق المرصوفة كما لو كانت مغطاه بالماء .
♦ تفسير حدوثه :
- 1 - وقت الظهيرة في فصل الصيف ترتفع درجة حرارة الأرض والرمال التي عليها فتسخن طبقات الهواء المجاورة لها أكثر من البعيدة ومعني ذلك أن درجة الحرارة تقل كلما إرتفعنا إلي أعلي .
 - 2 - تقل كثافة طبقات الهواء الملاصقة لسطح الأرض عن كثافة الطبقات التي تعلوها أي أنه كلما إرتفعنا إلي أعلي تزيد كثافة طبقات الهواء العليا أكبر من التي تحتها .
 - 3 - الأشعة الصادرة من جسم بعيد (قمة شجرة مثلاً) تنتقل من طبقة عليا إلي طبقة تحتها فتتكسر مبتعدة عن العمود .
 - 4 - يستمر إنكسار الأشعة الضوئية نتيجة إنتقالها بين طبقات الهواء وتزداد زاوية السقوط تدريجياً حتي تصبح أكبر من الزاوية الحرجة لطبقة معينة فينعكس الشعاع الضوئي إنعكاساً كلياً متخذاً مساراً منحنياً إلي أعلي حتي يصل إلي العين فتري العين صورة وهمية لقمة النخلة علي إمتداد الأشعة الواصلة إليها . ولذلك تبدو صور الأجسام كما لو كانت منعكسه علي سطح الماء . فيظن الناظر أن هناك ماء .

♦♦♦ الإنحراف في المنشور الثلاثي ♦♦♦

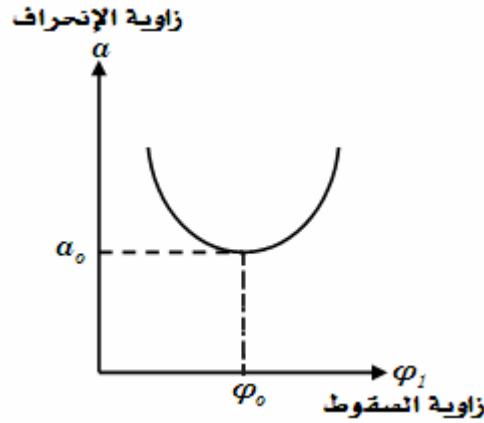
- المنشور الثلاثي : عبارة عن كتلة من الزجاج الشفاف لها قاعدتان متوازيتان كل منهما علي شكل مثلث ويصل بين القاعدتين ثلاثة أوجه كل منهم علي شكل مستطيل .
وعند إستخدام المنشور الثلاثي يوضع علي إحدي قاعدتيه المثلثتين ونُسقط الضوء علي أحد أوجه المنشور .
- مسار الشعاع الضوئي في المنشور الثلاثي :
- عندما يسقط الشعاع الضوئي ab علي الوجه xy للمنشور الثلاثي المبين بالشكل فإن هذا الشعاع ينكسر في الإتجاه bc مقترباً من العمود لأنه ينتقل من وسط أقل كثافة إلي وسط أكبر كثافة وتكون زاوية السقوط هي φ_1 وزاوية الإنكسار هي θ_1 .



وبالتالي يكون:

$$\Rightarrow \boxed{a = \varphi_1 + \theta_2 - A} \rightarrow 4$$

أي أن زاوية الانحراف a في منشور ثلاثي زاوية رأسه A تتوقف على زاوية السقوط φ_1 . ويمكن عملياً بيان أن زاوية الانحراف تتناقص تدريجياً مع إزداد زاوية السقوط حتي تصل زاوية الانحراف إلى حد معين يُعرف بـ " النهاية الصغرى للانحراف " بعده تأخذ زاوية الانحراف في الإزداد تدريجياً مع إزداد زاوية السقوط . كما في الشكل التالي:



• خواص وضع النهاية الصغرى للانحراف :

- 1 - زاوية السقوط = زاوية الخروج أي أن : $\varphi_1 = \theta_2$.
 - 2 - زاوية الانكسار = زاوية السقوط الثانية أي أن : $\theta_1 = \varphi_2$.
 - 3 - الشعاع المنكسري يكون موازياً لقاعدة المنشور .
- ويمكن تعريف " وضع النهاية الصغرى للانحراف في منشور ثلاثي " بأنه " الحالة التي تكون فيها زاوية الانحراف أصغر ما يمكن كما أن زاوية السقوط = زاوية الخروج " .

♦ العلاقة بين زاوية النهاية الصغرى للانحراف a_o وزاوية رأس المنشور A ومعامل الانكسار n :
 عند وضع النهاية الصغرى للانحراف يكون :

$$\varphi_1 = \theta_2 = \varphi_o \quad \theta_1 = \varphi_2 = \theta_o \quad a = a_o$$

وبالتعويض في المعادلات 3 و 4 نحصل على :

$$A = \theta_1 + \varphi_2 = 2\theta_o \Leftrightarrow A = 2\theta_o \Rightarrow \theta_o = \frac{A}{2}$$

$$a_o = \varphi_1 + \theta_2 - A = 2\varphi_o - A \Leftrightarrow a_o = 2\varphi_o - A \Rightarrow \varphi_o = \frac{a_o + A}{2}$$

وحيث أن معامل الانكسار للمنشور يُعطي من العلاقة :

$$n = \frac{\sin \varphi_1}{\sin \theta_1}$$

وفي وضع النهاية الصغرى للانحراف يكون :

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

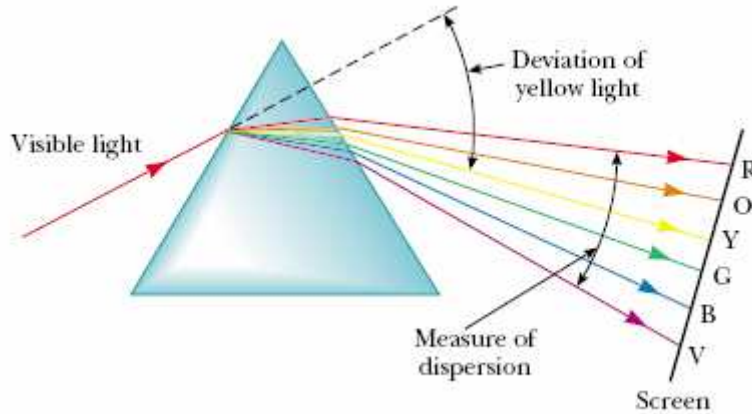
وبالتعويض عن قيم φ_o, θ_o نحصل على :

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

- ما معني أن زاوية النهاية الصغرى للانحراف في منشور ثلاثي = 38° ؟
- معني ذلك أن أصغر زاوية بين إمتدادي الشعاعين الساقط والخارج من المنشور الثلاثي = 38° وعندئذ تكون زاوية السقوط مساوية لزاوية الخروج .

♦♦♦ تفريق الضوء بواسطة المنشور الثلاثي ♦♦♦

- من المعادلة السابقة يتبين أن تغير معامل الإنكسار يتبعه تغير في قيمة زاوية النهاية الصغرى للانحراف، فزيادة معامل الإنكسار تزداد زاوية النهاية الصغرى للانحراف والعكس صحيح (علاقة طردية).
- ونظراً لأن معامل الإنكسار يتوقف علي الطول الموجي (معامل الإنكسار يتناسب تناسباً عكسياً مع الطول الموجي) فإن زاوية النهاية الصغرى للانحراف تتوقف بدورها علي الطول الموجي.
- لذلك إذا أسقطنا حزمة من الضوء الأبيض علي منشور ثلاثي في وضع النهاية الصغرى للانحراف فإن الضوء الخارج من المنشور يتفرق إلي ألوان الطيف المعروفة وهي علي الترتيب (الأحمر - البرتقالي - الأصفر - الأخضر - الأزرق - النيلي - البنفسجي)، كما في الشكل التالي:



ومن الشكل نلاحظ أن :

- 1 - أشعة الضوء البنفسجي أصغر الألوان في الطول الموجي فيكون معامل إنكسارها كبير لذا تكون أكثر الأشعة انحرافاً .
- 2 - أشعة الضوء الأحمر أكبر الألوان في الطول الموجي فيكون معامل إنكسارها صغير لذا تكون أقل الأشعة انحرافاً .

♦♦♦ المنشور الرقيق ♦♦♦

المنشور الرقيق هو منشور ثلاثي من الزجاج زاوية رأسه صغيرة (لا تتجاوز 10 درجات).

- شروط المنشور الرقيق :

- 1 - ألا تزيد زاوية رأسه عن 10 درجات .
 - 2 - ألا تزيد زاوية السقوط عن 10 درجات .
- ♦ الانحراف في المنشور الرقيق :

المنشور الرقيق يكون دائماً في وضع النهاية الصغرى للانحراف لذا يحسب معامل إنكساره من العلاقة :

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

وحيث أن زاوية الرأس وزاوية السقوط صغيرة فإنه يمكن أن نستعمل العلاقة التالية :

$$\sin \theta \cong \theta$$

وذلك حسب القانون الذي ينص علي أنه إذا كانت الزاوية صغيرة فإن :

قيمة الزاوية بالتقدير الدائري = جيب هذه الزاوية = ظل هذه الزاوية أو

$$\tan \theta \cong \sin \theta \cong \theta$$

$$\text{أي أن : } \sin \left(\frac{A}{2} \right) \cong \frac{A}{2} \quad \text{و} \quad \sin \left(\frac{a_o + A}{2} \right) \cong \frac{a_o + A}{2}$$

وبالتالي يكون :

$$n = \frac{\frac{a_o + A}{2}}{\frac{A}{2}} = \frac{a_o + A}{A} \Rightarrow \boxed{n = \frac{a_o + A}{A}}$$

$$\Rightarrow An = a_o + A \Rightarrow \boxed{a_o = A(n - 1)}$$

ومن هذه المعادلة يلاحظ أن العوامل التي تتوقف عليها زاوية النهاية الصغرى للانحراف α_o هي :

1 - زاوية رأس المنشور A .

2 - معامل إنكسار مادة المنشور n .

♦♦♦ قوة التفريق اللوني للمنشور الرقيق ♦♦♦

عند سقوط ضوء أبيض علي منشور رقيق فإنه يخرج متفرقاً إلي ألوان الطيف السبعة المعروفة تبعاً لاختلاف أطوالها الموجية .

وتكون زاوية انحراف الشعاع الأزرق $(a_o)_b$ أكبر من زاوية انحراف الشعاع الأحمر $(a_o)_r$ حيث :

$$(a_o)_b = A(n_b - 1) \quad \text{و} \quad (a_o)_r = A(n_r - 1)$$

و n_b معامل إنكسار مادة المنشور للضوء الأزرق . و n_r معامل إنكسار مادة المنشور للضوء الأحمر .

وتسمى الزاوية المحصورة بين الشعاع الأزرق والشعاع الأحمر بـ "الإنفراج الزاوي بينهما" أي أن :

$$\text{الإنفراج الزاوي} = (a_o)_b - (a_o)_r = A(n_b - n_r) \rightarrow 1$$

تعريف "الإنفراج الزاوي بين الشعاعين الأزرق والأحمر" هو "الزاوية المحصورة بين الشعاعين الأزرق والأحمر عند خروجهما من المنشور" .

- ما معني أن الإنفراج الزاوي في منشور رقيق = 0.096 درجة ؟

معني ذلك أن الزاوية المحصورة بين الشعاعين الأزرق والأحمر عند خروجهما من المنشور = 0.096 درجة .

وحيث أن الضوء الأصفر هو الذي يتوسط الضوئين الأزرق والأحمر فإنه يمكن تعيين زاوية انحرافه في المنشور الرقيق من المعادلة :

$$(a_o)_y = A(n_y - 1) \rightarrow 2$$

وبقسمة المعادلة 1 على المعادلة 2 ينتج أن :

$$\frac{(a_o)_b - (a_o)_r}{(a_o)_y} = \frac{n_b - n_r}{n_y - 1}$$

وهذا المقدار يسمى بـ " قوة التفريق اللوني " ويرمز له بالرمز ω_a .
 أي أن :

$$\omega_a = \frac{(a_o)_b - (a_o)_r}{(a_o)_y} = \frac{n_b - n_r}{n_y - 1}$$

ومن العلاقة السابقة يلاحظ أن قوة التفريق اللوني لا تتوقف على زاوية رأس المنشور أي أنه خاصية مميزة لمادته .

وتُعرف " قوة التفريق اللوني " بأنها " النسبة بين الإنفراج الزاوي بين الشعاعين الأزرق والأحمر وزاوية انحراف الضوء الأصفر " .

كما يُعرف " معامل الإنكسار المتوسط للمنشور " بأنه " معامل إنكسار مادة المنشور للضوء الأصفر " .

♦♦♦ تعليقات هامة ♦♦♦

1 - معامل الإنكسار المطلق لوسط أكبر دائماً من الواحد الصحيح ؟
 لأن سرعة الضوء في الفراغ أو الهواء أكبر من سرعة الضوء في أي وسط آخر، وحيث أن معامل الإنكسار المطلق يُعطي من العلاقة $n = \frac{c}{v}$ إذاً لابد أن يكون أكبر من الواحد الصحيح.

2 - معامل الإنكسار النسبي بين وسطين يمكن أن يكون أقل من الواحد الصحيح ؟
 ذلك لأن معامل الإنكسار النسبي بين وسطين يُعطي من العلاقة $n_2 = \frac{n_2}{n_1}$ فإذا كان معامل الإنكسار المطلق للوسط الثاني أقل من معامل الإنكسار المطلق للوسط الأول مثل حالة إنتقال الشعاع الضوئي من وسط أكبر كثافة ضوئية (الماء) إلي وسط أقل كثافة (الهواء) فإن معامل الإنكسار النسبي بين الوسطين يكون أقل من الواحد الصحيح.

3 - يستخدم المنشور العاكس في تغيير مسار الشعاع الضوئي بمقدار 90 أو 180 درجة ؟
 انظر ص 12 .

4 - يمكن إستخدام الألياف الضوئية في نقل الضوء وتوجيهه إلي الأماكن التي يصعب الوصول إليها من الجهاز الهضمي ؟

لأنه : أ - عندما يدخل الضوء من أحد طرفي الليفة فإنه يُعاني إنعكاسات كلية متتالية (حيث تكون زاوية السقوط على أي جزء من الجدار أكبر من الزاوية الحرجة) حتي يخرج من الطرف الآخر.

ب - يمكن أن تنتهي الليفة الضوئية على أي هيئة.

5 - عندما يكون المنشور في وضع النهاية الصغرى للانحراف تكون زاوية الانكسار الأولى θ_1 مساوية لزاوية السقوط الثانية φ_2 ؟

لأن معامل الانكسار لمادة المنشور يُعطي من العلاقة $n = \frac{\sin \varphi_1}{\sin \theta_1} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \varphi_2}$ وفي وضع النهاية الصغرى للانحراف تكون زاوية السقوط $\varphi_1 =$ زاوية الخروج θ_2 وبالتالي تكون زاوية الانكسار الأولى θ_1 مساوية لزاوية السقوط الثانية φ_2 .

6 - يتحلل الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف السبعة بعد مروره في منشور ثلاثي في وضع النهاية الصغرى للانحراف ؟

لأن لكل لون زاوية انحراف خاصة به ويكون الضوء البنفسجي هو الأكبر في زاوية الانحراف بينما الضوء الأحمر هو أقلها في زاوية الانحراف .

7 - زاوية انحراف الضوء البنفسجي أكبر من زاوية انحراف الضوء الأحمر بعد مرور الضوء الأبيض من منشور ثلاثي في وضع النهاية الصغرى للانحراف ؟

لأن زاوية الانحراف للضوء تتناسب طردياً مع معامل الانكسار الذي يتناسب عكسياً مع الطول الموجي للضوء . ولما كان الضوء البنفسجي هو أقل الألوان في الطول الموجي لذا كان معامل انكساره كبير وزاوية انحرافه كبيرة .

الوحدة الثانية

"خواص الموائع"

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الفصل الرابع

«خواص الموائع الساكنة»

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الثانية " الموائع " الفصل الرابع " خواص الموائع الساكنة "

خواص الموائع الساكنة

♦ مقدمة :

تُعرف " الموائع " بأنها " المواد التي تتميز بقدرتها علي الإنسياب ولا تتخذ شكلاً محدداً " .
وبالتالي تشمل الموائع السوائل والغازات . فالسوائل ليس لها شكل محدد بل تأخذ شكل الإناء الحاوي لها
أي يكون لها حجم معين وتقاوم أي ضغط يقع عليها . أما الغازات فليس لها شكل محدد أيضاً كما أنها لا
تأخذ شكل الإناء الحاوي لها فحسب بل تشغله تماماً وتتميز بأنها قابلة للانضغاط .

♦♦♦ الكثافة ♦♦♦

تعتبر كثافة المادة من الخواص الفيزيائية المميزة لتلك المادة .

- وتُعرف " كثافة المادة " بأنها " كتلة وحدة الحجم من هذه المادة " . ويرمز لها بالرمز ρ .
 - تقدير الكثافة : إذا كانت m كتلة المادة و V حجمها فإن كثافتها تُعطي من العلاقة التالية :
- $$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{kg} / \text{m}^3 \quad \text{أي أن} \quad \text{الكثافة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}} .$$
- وحدة الكثافة : عندما تكون الكتلة m مقدرة بالكيلوجرام kg والحجم V مقدراً بالمتر المكعب m^3
فإنه الكثافة تقدر بوحدة كجم / م^3 (kg / m^3) .
 - ♦ ما معني أن كثافة الماء = 1000 كجم / م^3 ؟
 - معني ذلك أن كتلة المتر المكعب من الماء = 1000 كجم .
 - التغير في الكثافة : يرجع التغير في الكثافة من عنصر إلي آخر لما يلي :
- 1 - التغير في الوزن الذري .
 - 2 - الاختلاف في المسافات البينية بين الذرات أو الجزيئات .

♦♦♦ الكثافة النسبية ♦♦♦

تُعرف " الكثافة النسبية لمادة " بأنها " النسبة بين كثافة المادة إلي كثافة الماء في نفس درجة الحرارة " أي :

$$\text{الكثافة النسبية لمادة} = \frac{\text{كثافة المادة في درجة حرارة معينة}}{\text{كثافة الماء في نفس درجة الحرارة}} = \frac{\text{كثافة المادة}}{\text{كثافة الماء}} \quad \text{عند نفس درجة الحرارة}$$

وبصفة عامة يكون :

$$\text{الكثافة النسبية لمادة} = \frac{\text{كتلة حجم معين من المادة في درجة حرارة معينة}}{\text{كتلة نفس الحجم من الماء في نفس درجة الحرارة}}$$

ومنها يكون :

$$\text{كثافة المادة} = \text{الكثافة النسبية للمادة} \times \text{كثافة الماء}$$

والكثافة النسبية ليس لها وحدة لأنها نسبة بين كميتين متماثلتين .

♦ ما معني أن الكثافة النسبية للألومنيوم = 2.7 ؟

معني ذلك أن النسبة بين كثافة الألومنيوم إلي كثافة الماء في نفس درجة الحرارة = 2.7 .

♦ ♦ ♦ تطبيقات الكثافة ♦ ♦ ♦

يفيد قياس الكثافة في :

1 - الإستدلال علي مدي شحن البطارية :

فعندما تُفرغ الشحنة الكهربائية من البطارية تقل كثافة المحلول الإلكتروليتي (حمض الكبرتيك المخفف) نتيجة إستهلاكه في التفاعل مع ألواح الرصاص لتكوين كبريتات الرصاص، وعند إعادة شحن البطارية تتحرر الكبريتات من ألواح الرصاص لتعود مرة أخرى إلي المحلول فتزداد الكثافة.

2 - الإستدلال علي زيادة إفراز الأملاح والإصابة ببعض الأمراض:

فحيث أن كثافة الدم وهو في الحالة الطبيعية ما بين 1040 إلي 1060 كجم / م³ فإذا نقصت كثافة الدم عن هذا المعدل دل ذلك علي نقص تركيز خلايا الدم وبالتالي الإصابة بمرض فقر الدم (الأنيميا).
كما أن الكثافة المعتادة للبول هي 1020 كجم / م³ فإذا زادت عن هذه القيمة دل ذلك علي زيادة إفراز الأملاح.

♦ ♦ ♦ الضغط ♦ ♦ ♦

يُعرف " الضغط عند نقطة " بأنه " القوة المتوسطة المؤثرة عمودياً علي وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة " .

أي أنه إذا أثرت قوة F عمودياً علي سطح مساحته A فإن الضغط P الواقع علي هذا السطح يتعين من العلاقة :

$$P = \frac{F}{A} \quad N / m^2$$

ونظراً لأن القوة F مقدرة بالنيوتن N والمساحة A مقدرة بالمترا المربع m^2 فإن الوحدة التي يُقاس بها الضغط P هي نيوتن / م² (N / m^2) .

♦ ما معني أن الضغط عند نقطة من سطح = 5×10^5 نيوتن / م² ؟

معني ذلك أن القوة المتوسطة المؤثرة عمودياً علي وحدة المساحات من السطح المحيطة بتلك النقطة = 5×10^5 نيوتن .

♦ ♦ ♦ الضغط عند نقطة في باطن سائل وقياسه ♦ ♦ ♦

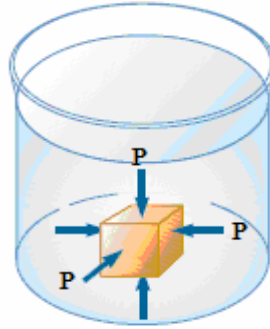
إذا دفعت قطعة من الفلين تحت سطح الماء ثم تُركت فإنها ترتفع إلي سطح الماء مرة أخرى الأمر الذي يوضح أن الماء يدفع قطعة الفلين المغمورة بقوة إلي أعلى هذه القوة تنشأ عن فرق ضغط الماء علي هذه القطعة (الشكل التالي).

كما يجب ملاحظة الآتي :

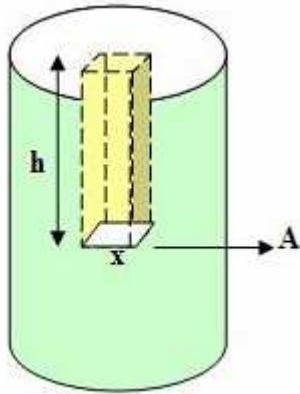
1 - عند نقطة في باطن سائل يؤثر الضغط في أي إتجاه .

2 - إتجاه القوة المؤثرة علي سطح معين يكون عمودياً علي هذا السطح .

- 3 - الضغط علي جسم ما هو نفسه الضغط الذي يؤثر علي حجم ما من السائل مساوياً لحجم الجسم .
4 - توجد قوتان تؤثران علي هذا الحجم من السائل هما قوة الوزن لأسفل وقوة ضغط السائل المحيط به عليه .



♦ ♦ ♦ تقدير الضغط عند نقطة في باطن سائل :



- 1 - بفرض أن لدينا لوح x أفقي مساحته $A \text{ m}^2$ ثابت علي عمق $h \text{ m}$ تحت سطح سائل كثافته $\rho \text{ kg / m}^3$ ، ومن الممكن إعتبار أن هذا اللوح يعمل كقاعدة لعمود من السائل إرتفاعه $h \text{ m}$.
2 - فبالتالي يمكن إعتبار أن القوة التي يؤثر بها السائل علي اللوح x مساوية لوزن عمود السائل الذي إرتفاعه $h \text{ m}$ ومساحة قاعدته $A \text{ m}^2$.
3 - ولأن السائل غير قابل للإنضغاط، فإن القوة الناتجة عن ضغط السائل لابد وأن تتزن مع وزن عمود السائل الذي إرتفاعه $h \text{ m}$.
4 - وحيث أن : قوة الوزن = الكتلة × عجلة الجاذبية أو $F_g = mg$
الكتلة = الكثافة × الحجم أو $m = \rho V$
الحجم = مساحة القاعدة × الإرتفاع أو $V = Ah$

إذا يكون :

$$F_g = mg = \rho Vg = \rho Ahg \quad \Leftrightarrow \quad F_g = \rho Ahg$$

وبالتالي يتعين ضغط السائل P علي اللوح x من العلاقة :

$$P = \frac{F_g}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} = h\rho g \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{P = h\rho g} \quad \text{N / m}^2$$

أي أن الضغط عند نقطة في باطن سائل = عمق النقطة × كثافة السائل × عجلة الجاذبية.
تعريف "الضغط عند نقطة في باطن سائل" "يُقدر بوزن عمود السائل الذي قاعدته وحدة المساحات وإرتفاعه البُعد الرأسى بين النقطة وسطح السائل" .

♦ مامعني أن الضغط عند نقطة في باطن سائل = 5×10^5 نيوتن / م^2 ؟

معني ذلك أن عمود السائل الذي قاعدته وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة وإرتفاعه البُعد الرأسى بين النقطة وسطح السائل يكون وزنه = 5×10^5 نيوتن .

• العوامل التي يتوقف عليها الضغط عند نقطة في باطن سائل :

- يُلاحظ من المعادلة السابقة أن عجلة الجاذبية g مقدار ثابت وبالتالي يتوقف الضغط علي عاملين هما :
1 - عمق النقطة h (علاقة طردية) .
2 - كثافة السائل ρ (علاقة طردية) .

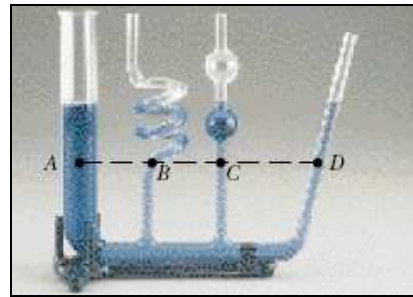
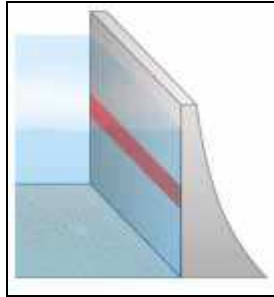
♦♦♦ ملحوظة هامة :

فحيث أن سطح السائل الخالص يتعرض للضغط الجوي الذي يرمز له بالرمز P_a إذا يكون الضغط الكلي عند نقطة في باطن سائل عبارة عن الضغط الجوي وضغط عمود السائل أي أن:

$$P = P_a + h\rho g$$

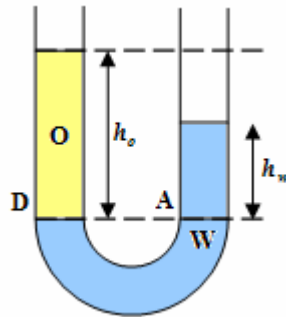
ومن العلاقة السابقة يمكن أن نستنتج ما يلي:

- 1 - جميع النقاط التي تقع في مستوي أفقي واحد أي لها نفس العمق في سائل يكون لها نفس الضغط.
- 2 - السائل الذي يملأ إناء متعدد الأجزاء (الأواني المستطرقة) يرتفع في هذه الأجزاء بنفس المقدار وفي آن واحد بغض النظر عن الأشكال الهندسية لها بشرط أن تكون القاعدة أفقية.
- 3 - حيث أن الضغط يزداد بزيادة العمق لذا تُبنى السدود بحيث يزداد سمك السد عند قاعدته ليتحمل الضغط المتزايد بزيادة العمق.



♦♦♦ إيزان السوائل في الأنبوبة ذات الشعبتين ♦♦♦

- إذا كان لدينا أنبوبة ذات شعبتين علي شكل حرف U تحتوي علي كمية مناسبة من الماء كثافته ρ_w ثم صبنا فوق وليكن في الفرع الأيسر مقدار مناسب من الزيت كثافته ρ_o ومنتظر حتى يستقر السائلان.
- وحيث أن الماء والزيت لا يمتزجان فبالتالي نلاحظ وجود سطح فاصل بينهما ويكون سطحهما الخالصان علي إرتفاعين مختلفين عن السطح الفاصل (المستوى AD كما بالشكل) وليكن إرتفاع الماء هو h_w وإرتفاع الزيت هو h_o .



♦ من الشكل السابق نلاحظ أن النقطتين A, D في مستوى أفقي واحد:

إذا يكون : ضغط الماء عند A = ضغط الزيت عند D

أي أن : $P_o + h_o\rho_o g = P_o + h_w\rho_w g$

$$P_o + h_o\rho_o g = P_o + h_w\rho_w g \Rightarrow h_o\rho_o = h_w\rho_w$$

$$\Rightarrow \frac{\rho_o}{\rho_w} = \frac{h_w}{h_o}$$

وبقياس كلاً من h_o, h_w يمكن تعيين الكثافة النسبية للزيت $\frac{\rho_o}{\rho_w}$.

♦ ويلاحظ من المعادلة السابقة أن الكثافة تتناسب تناسباً عكسياً مع الارتفاع (العمق) عند ثبوت الضغط أي أن:

$$\rho \propto \frac{1}{h}$$

♦ ♦ ♦ الضغط الجوي ♦ ♦ ♦

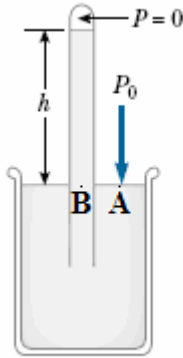
♦ لقياس الضغط الجوي قام تورشيللي باختراع البارومتر الزئبقي، حيث أخذ أنبوبة زجاجية طولها حوالي 1 متر وملائها تماماً بالزئبق ثم نكسها في حوض به زئبق فلاحظ أن سطح الزئبق في الأنبوبة قد إنخفض إلى مستوي معين بحيث كان الارتفاع العمودي له 0.76 متر تقريباً، وبديهي أن الحيز الموجود فوق سطح الزئبق في الأنبوبة يكون خالياً إلا من قليل من بخار الزئبق الذي يمكن إهمال ضغطه، ويسمى هذا الحيز باسم " فراغ تورشيللي " (أي أن الضغط داخل فراغ تورشيللي = صفر).

♦ ♦ ♦ ملحوظة:

لا يظهر فراغ تورشيللي إلا إذا كان الطول الرأسي للأنبوبة البارومترية أكبر من 76 سم.

♦ ♦ ♦ تقدير قيمة الضغط الجوي:

إذا أخذنا نقطة مثل B التي تقع في مستوى أفقي واحد مع السطح الخالص للزئبق في الحوض (الشكل المقابل) فإن:



الضغط عند النقطة A = الضغط الجوي P_o

الضغط عند النقطة B = ضغط عمود الزئبق + الضغط في فراغ تورشيللي.

$$h\rho g + \text{صفر} =$$

وحيث أن النقطتين A, B في مستوى أفقي واحد فبالتالي يكون:

الضغط عند النقطة A = الضغط عند النقطة B إذاً:

$$h\rho g = P_o \text{ الضغط الجوي}$$

$$\Rightarrow \boxed{P_o = h\rho g}$$

أي أن الضغط الجوي = الضغط الناشئ عن وزن عمود الزئبق في البارومتر الذي قاعدته وحدة المساحات وارتفاعه h .

تعريف "الضغط الجوي المعتاد" هو "يكافئ الضغط الناشئ عن وزن عمود من الزئبق إرتفاعه 0.76 متر ومساحة مقطعه 1 متر مربع في درجة حرارة صفر سيلزيوس".

والضغط الجوي المعتاد هو ضغط الهواء مقاساً عند سطح البحر ويساوي 0.76 متر زئبق.

♦ ♦ ♦ تقدير قيمة الضغط الجوي عددياً:

فحيث أن كثافة الزئبق عند صفر درجة سليزية = 13595 كجم / م³.

وعجلة الجاذبية الأرضية = 9.81 م / ث².

$$\Rightarrow P_o = h\rho g = 0.76 \times 13595 \times 9.81 = 1.013 \times 10^5 \quad N / m^2$$

♦ ♦ الوحدات التي يُقاس بها الضغط:

توجد عدة وحدات يُقاس بها الضغط منها:

1 - نيوتن / م²: وهي الوحدة المستخدمة في النظام الدولي لقياس الضغط.

$$P_o = 1.013 \times 10^5 \quad N / m^2$$

2 - الباسكال : وهي تكافئ نيوتن / م² .

$$P_o = 1.013 \times 10^5 \quad Pascal$$

$$1Pascal = 1N / m^2$$

3 - البار : وهي تكافئ 10⁵ باسكال (نيوتن / م²) .

$$P_o = 1.013 \quad Bar$$

$$1Bar = 10^5 \quad Pascal = 10^5 \quad N / m^2$$

4 - التور : وهي يُكافئ 1 ملليمتر زئبق . أي أن :

$$P_o = 0.76mHg = 760mmHg = 760Torr$$

$$1Torr = 1mmHg$$

♦ ♦ ♦ وبصفة عامة يكون :

$$P_o = 1.013 \times 10^5 \quad N / m^2 = 1.013 \times 10^5 \quad Pascal = 1.013 \quad Bar = 0.76mHg = 760Torr$$

♦ ما معني أن الضغط الجوي = 1.013×10^5 باسكال أو = 1.013 بار ؟

معني ذلك أن الضغط الجوي يُعادل الضغط الناشئ عن عمود من الزئبق وزنه 1.013×10^5 نيوتن ومساحة قاعدته 1 متر² .

♦ ما معني أن ضغط غاز محبوس = 3 ضغط جوي ؟

معني ذلك أن القوة التي يؤثر بها الغاز المحبوس علي وحدة المساحات من سطح ما = $3 \times 1.013 \times 10^5$ نيوتن (3.013×10^5 نيوتن).

♦ ♦ ♦ ملحوظة هامة : يقل الضغط الجوي كلما إرتفعنا عن سطح البحر، فالضغط عند قمة جبل مرتفع يكون أقل منه عند سطح البحر.

♦ العلاقة البيانية بين الضغط عند نقطة في باطن سائل P وبُعد النقطة عن السطح h .

1 - إذا كان سطح السائل غير معرض للهواء الجوي:

يكون : $P = h\rho g$ وحيث أن المقدار ρg ثابت للسائل فإن : $P \propto h$.

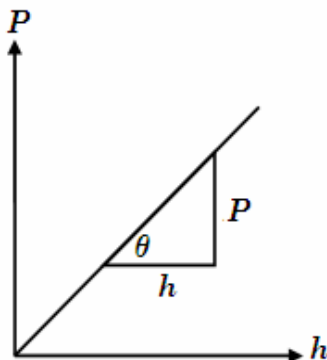
والمعادلة السابقة تُمثل علاقة خط مستقيم يمر بنقطة الأصل ميله ρg

أي أن :

$$\rho g = \frac{P}{h} = \text{ميل المستقيم}$$

ومنها تكون :

$$g \div \rho = \text{ميل الخط المستقيم} = \text{كثافة السائل}$$



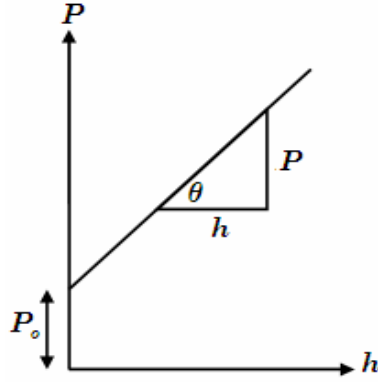
2 - إذا كان سطح السائل معرض للهواء الجوي:

يكون : $P = P_o + h\rho g$ وهذه المعادلة تمثل علاقة خط مستقيم أيضاً ولكنه لا يمر بنقطة الأصل حيث يقطع جزءاً من محور الصادات مقداره P_o . ويكون ميل الخط المستقيم هو : ρg أي أن :

$$\text{ميل الخط المستقيم} = \rho g = \frac{P}{h}$$

ومنها تكون :

$$\text{كثافة السائل } \rho = \text{ميل الخط المستقيم} \div g$$



❖❖❖ المانومتر ❖❖❖

- المانومتر هو جهاز يُستخدم لقياس ضغط غاز محبوس في إناء أو لقياس الفرق بين ضغط الغاز المحبوس والضغط الجوي.

- تركيبه: المانومتر عبارة عن أنبوبة ذات شعبتين (فرعين) إحداهما قصيرة والأخرى طويلة تحتوي علي كمية من سائل مناسب كثافته معروفة وتصل الشعبة القصيرة بمستودع الغاز المطلوب قياس ضغطه.

- استخدام المانومتر في قياس ضغط غاز محبوس:

عندما يوصل الفرع القصير بمستودع الغاز المحبوس فإنه:

1 - إذا كان ضغط الغاز المحبوس أكبر من الضغط الجوي فإن السائل ينخفض في الفرع القصير ويرتفع في الفرع الآخر إلى ارتفاع h .

وبأخذ نقطتين في مستوي أفقي واحد في السائل وليكن النقطتين A, B فإن:

الضغط عند النقطة A (ضغط الغاز المحبوس P) = الضغط عند النقطة B (الضغط الجوي P_a + ضغط عمود السائل الذي إرتفاعه h). أي أن :

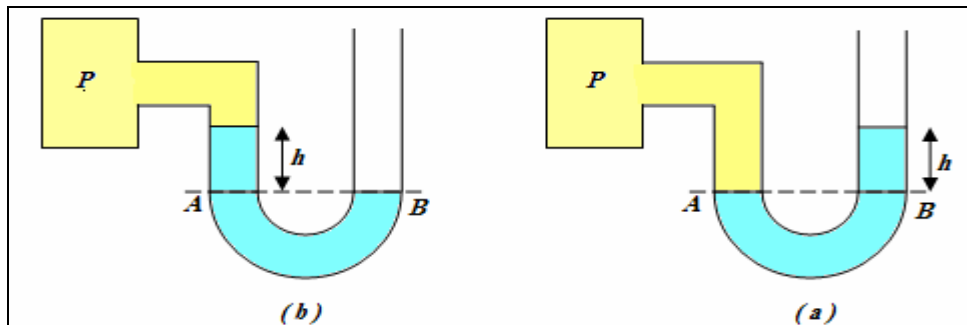
$$P = P_a + h\rho g \quad \text{at} \quad P > P_a$$

2 - إذا كان ضغط الغاز المحبوس أقل من الضغط الجوي فإن السائل ينخفض في الفرع الخالص ويرتفع في الفرع القصير إلى ارتفاع h .

وبأخذ نقطتين في مستوي أفقي واحد في السائل وليكن النقطتين A, B فإن :

الضغط عند النقطة A (ضغط الغاز المحبوس P + ضغط عمود السائل الذي إرتفاعه h) = الضغط عند النقطة B (الضغط الجوي P_a). أي أن :

$$P_a = P + h\rho g \quad \Rightarrow \quad P = P_a - h\rho g \quad \text{at} \quad P < P_a$$



وفي كثير من التطبيقات العملية لا يكون من المفيد قياس ضغط الغاز في المستودع وإنما يكون من المفيد قياس فرق الضغط فقط أي :

$$\Delta P = P - P_a = h\rho g \quad \text{at} \quad P > P_a$$

$$\Delta P = P_a - P = h\rho g \quad \text{at} \quad P < P_a$$

ومن هذه العلاقة يمكن بمعرفة كثافة السائل ρ في المانومتر وفرق الارتفاع h بين سطحي السائل في شعبيته وكذلك عجلة الجاذبية g يمكن حساب فرق الضغط ΔP .

♦ ♦ ♦ تطبيقات علي الضغط ♦ ♦ ♦

1 - يعتبر إنسياب الدم خلال الجسم في العادة إنسياباً هادئاً . أما إذا كان إنسياب الدم مضطرباً فإنه يكون مصحوباً بضجيج ، ويعتبر هذه الشخص مريضاً . ويمكن الإحساس بهذا الضجيج من خلال سماعة الطبيب عند وضعها علي الشريان وهذا يحدث عند قياس ضغط الدم . حيث توجد في العادة قيمتان للضغط هما :

أ - الضغط الانقباضي : وفيه يكون ضغط الشريان في أقصى قيمة له . ويحدث عندما تتقلص عضلة القلب فيندفع الدم من البطين الأيسر إلي الأورطي ومن هناك إلي الشرايين .

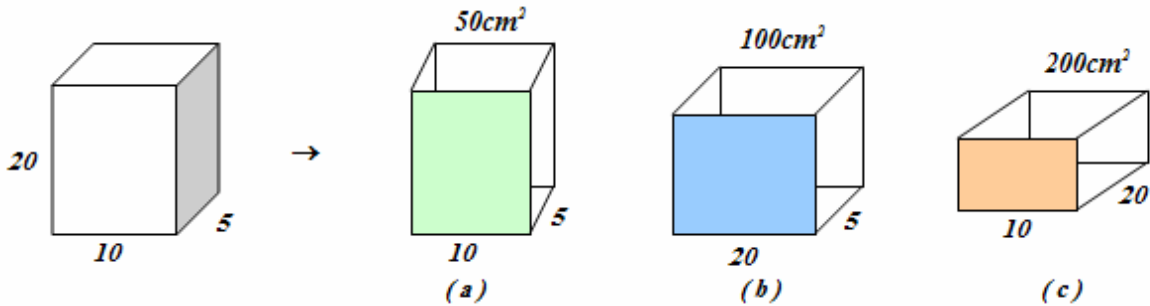
ب - الضغط الانبساطي وفيه يقل ضغط الدم بالشريان إلي أقل ما يمكن عند انبساط عضلة القلب . وفي الإنسان المتمتع بصحة جيدة يكون الضغط الانقباضي 120 تور والضغط الانبساطي 80 تور .

2 - يملئ إطار السيارة بالهواء تحت ضغط عالي لتكون مساحة التماس مع الطريق أقل ما يمكن . أما إذا ملئ الإطار تحت ضغط منخفض فإن مساحة التماس بين الإطار والطريق تزداد الأمر الذي يؤدي إلي زيادة الاحتكاك وسخونة الإطار .

♦ ♦ ♦ أمثلة :

1 - متوازي مستطيلات صلب أبعاده (5cm, 10cm, 20cm) كثافته مادته $5000 \text{ kg} / \text{m}^3$ وضع علي مستوي أفقي . إحسب أقصى وأقل ضغط له . " عجلة الجاذبية الأرضية = $10 \text{ m} / \text{s}^2$ " الحل :

فكرة المثال هي أن متوازي المستطيلات الذي أبعاده (5cm, 10cm, 20cm) له ثلاثة وجوه مختلفة المساحة يمكن أن يوضع علي أي منها كما في الشكل التالي :



وحيث أن الضغط يتناسب عكسياً مع المساحة عند ثبوت القوة المؤثرة . لذا يكون :

♦ أقصى ضغط عند يوضع الجسم علي الوجه ذو المساحة الأقل أي الوجه الذي مساحته 50 cm^2 إذا :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{V\rho g}{A} = \frac{5 \times 10 \times 20 \times 10^{-6} \times 5000 \times 10}{5 \times 10 \times 10^{-4}} = 10^4 \text{ N / m}^2$$

♦ أقل ضغط عند يوضع الجسم علي الوجه ذو المساحة الأكبر أي الوجه الذي مساحته 200 cm^2 إذاً :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{V\rho g}{A} = \frac{5 \times 10 \times 20 \times 10^{-6} \times 5000 \times 10}{10 \times 20 \times 10^{-4}} = 2500 \text{ N / m}^2$$

2 - أستخدم مانومتر زئبقي لقياس ضغط غاز داخل مستودع . فكان سطح الزئبق في الفرع الخالص أعلي من سطحه في الفرع المتصل بالمستودع بمقدار 36 cm . فما قيمة ضغط الغاز بوحدة cmHg و atm و N / m^2 .
 $1P_a = 1 \text{ atm} = 0.76 \text{ mHg} = 1.013 \times 10^5 \text{ N / m}^2$.

الحل :

أولاً : بوحدة cmHg :

(الفكرة : من تعريف الضغط الجوي يكون $1P_a = 76 \text{ cmHg}$ حيث يكافئ الضغط الجوي الضغط الناشئ عن وزن عمود من الزئبق إرتفاعه 76 سم وبالتالي يكافئ الضغط عموماً الضغط الناشئ عن وزن عمود من الزئبق إرتفاعه $h \text{ سم}$ سواء كان أكبر أو أقل من 76 سم) .

وبالعودة إلي الشكل رقم 1 في المانومتر وبفرض أن السائل زئبق يلاحظ أن الضغط عند النقطة B عبارة عن الضغط الجوي (76 سم زئبق) بالإضافة إلي ضغط عمود الزئبق الذي إرتفاعه 36 سم . إذاً يكون :

$$P = P_a + h = 76 + 36 = 112 \text{ cmHg}$$

ثانياً : بوحدة $1P_a = 1 \text{ atm}$ يكون :

$$\therefore 1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} \Rightarrow \frac{1}{76} \text{ atm} = \text{cmHg}$$

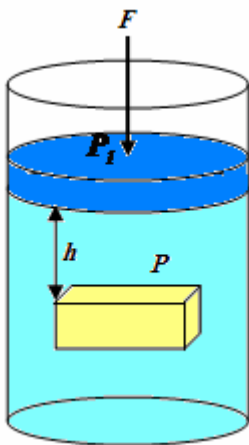
$$\therefore P = 112 \text{ cmHg} \Rightarrow P = 112 \text{ cmHg} = 112 \times \frac{1}{76} \text{ atm} = \frac{112}{76} \text{ atm} = 1.474 \text{ atm}$$

ثالثاً : بوحدة N / m^2 :

$$\therefore 1P_o = 1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ N / m}^2$$

$$\Rightarrow P = 1.474 \text{ atm} = 1.474 \times 1.013 \times 10^5 \text{ N / m}^2 = 1.493 \text{ N / m}^2$$

♦♦♦ قاعدة باسكال ♦♦♦



إذا أخذنا أحد السوائل في إناء زجاجي كالمبين بالشكل مزود بمكبس في أعلاه، فإن الضغط عند نقطة في باطنه علي عمق h هو :

$$P = P_1 + h\rho g$$

حيث P_1 هو الضغط عند سطح السائل (تحت المكبس مباشرة) وهو ناتج عن الضغط الجوي والضغط الناشئ عن وزن المكبس .

وإذا زدنا الضغط بمقدار ΔP (وذلك بوضع ثقل إضافي علي المكبس) نلاحظ عدم تحرك المكبس إلي الداخل (وذلك لعدم قابلية السائل للانضغاط) .

لكن الضغط عند سطح السائل (تحت المكبس مباشرة) سيزداد بدوره بمقدار ΔP وبالتالي يزداد الضغط عند النقطة بنفس المقدار (ΔP) لتصبح قيمته :

$$P = P_1 + h\rho g + \Delta P$$

فإذا زاد الضغط إلى حد معين يمكن أن ينكسر الإناء .

ولقد قام العالم الفرنسي "باسكال" بصياغة هذه النتيجة فيما يُعرف بـ "مبدأ أو قاعدة باسكال" والتي تنص على أنه "عندما يؤثر ضغط على سائل محبوس في إناء فإن الضغط ينتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل كما ينتقل إلى جدران الإناء المحتوي على السائل" .

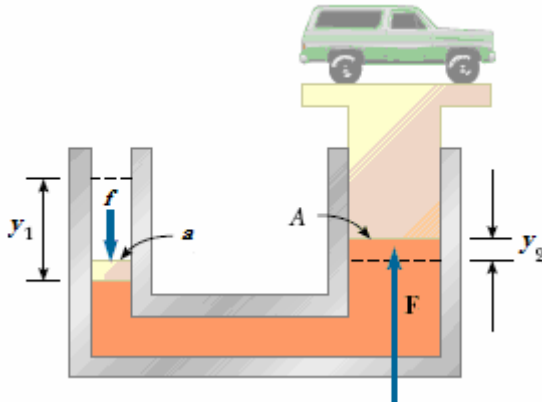
♦♦ تطبيقات قاعدة باسكال :

- 1 - الفرامل الهيدروليكية في السيارات .
- 2 - كراسي أطباء الأسنان .
- 3 - مكبس رفع السيارات (المكبس الهيدروليكي) .

♦♦♦ المكبس الهيدروليكي ♦♦♦

الغرض منه : رفع أثقال كبيرة باستخدام قوي صغيرة ويُبني عمله على قاعدة باسكال .
تركيبه : يتركب في أبسط صوره من : إسطوانتين رأسيّتين مساحة مقطع الأولى صغيرة ومساحة مقطع الثانية كبيرة ويسد كلا منهما مكبس سداً محكماً .
تتصل الأسطوانتين من أسفل بأنبوبة أفقية وتُملأ الأسطوانتين والأنبوبة بسائل مناسب .

شرح عمله :



- 1 - بفرض أن مساحة الأسطوانة الأولى هو a وأن مساحة الثانية هو A . فإذا أثّرنا على المكبس الصغير بقوة f فإن الضغط على المكبس الصغير يكون :

$$P = \frac{f}{a}$$

- 2 - ينتقل هذا الضغط بتمامه إلى كل نقطة في السائل فيتأثر المكبس الكبير بقوة تعمل على رفعه إلى أعلى .

ولإعادة المكبس إلى موضعه الأصلي نؤثر عليه من أعلى بقوة F وعندئذ يكون الضغط على المكبس الكبير هو :

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

- 3 - وعند إتزان المكبس في مستوي أفقي واحد يكون الضغط على المكبس الكبير مساوياً للضغط على المكبس الصغير ومساوياً P أي أن :

$$P = \frac{f}{a} = \frac{F}{A} \Rightarrow \frac{f}{a} = \frac{F}{A} \Leftrightarrow \boxed{F = \frac{f}{a} A}$$

ومنها يمكن معرفة مقدار القوة الكبيرة F التي يمكن رفعها بواسطة قوة صغيرة f .

♦♦ ومن العلاقة السابقة يمكن اشتقاق ما يُسمى بـ "الفائدة الآلية η " للمكبس الهيدروليكي والتي تُعرف بأنها :

- النسبة بين القوة الضاغطة الكلية على المكبس الكبير والقوة الضاغطة الكلية على المكبس الصغير .

- النسبة بين مساحة مقطع المكبس الكبير إلى مساحة مقطع المكبس الصغير .
- أي أن الفائدة الآلية (الميكانيكية) للمكبس الهيدروليكي η تُعطي من العلاقة :

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a}$$

❖ ما معنى أن الفائدة الآلية لمكبس هيدروليكي = 100 ؟

معني ذلك أن النسبة :

- بين القوة الضاغطة الكلية على المكبس الكبير و القوة الضاغطة الكلية على المكبس الصغير = 100 .
- بين مساحة مقطع المكبس الكبير إلى مساحة مقطع المكبس الصغير = 100 .

❖ الشغل المبذول بواسطة كلاً من المكبسين :

1 - بفرض أننا أثّرنا على المكبس الصغير بقوة قدرها f نيوتن . فإن المكبس الصغير يتحرك مسافة قدرها y_1 إلى أسفل .

2 - وحيث أن الضغط ينتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل فإن المكبس الكبير سوف يتأثر بقوة قدرها F نيوتن وعندئذ يتحرك مسافة قدرها y_2 إلى أعلى .

3 - إذاً يكون الشغل المبذول بواسطة المكبس الصغير هو : fy_1 حيث (الشغل = القوة × المسافة) .

والشغل المبذول بواسطة المكبس الكبير هو : Fy_2

4 - وطبقاً لقانون بقاء الطاقة يكون :

الشغل المبذول بواسطة المكبس الصغير = الشغل المبذول بواسطة المكبس الكبير أي أن :

$$fy_1 = Fy_2 \Rightarrow \frac{F}{f} = \frac{y_1}{y_2} \Rightarrow F = \frac{y_1}{y_2} f \Leftrightarrow y_1 = \frac{F}{f} y_2$$

ومنها يمكن تعيين المسافة التي يتحركها أحد المكبسين بمعرفة المسافة التي تحركها المكبس الآخر .

❖ وبصفة عامة تُعطي الفائدة الآلية من العلاقة :

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} = \frac{y_1}{y_2}$$

❖ قاعدة أرشميدس وقانون الطفو ❖ ❖

❖ لاحظ أرشميدس عدداً من الظواهر المألوفة في الحياة منها ما يلي :

- 1 - إمكانية رفع جسم بسهولة عندما يكون مغموراً تحت سطح الماء بينما يكون من الصعب رفعه في الهواء .
- 2 - طفو قطعة من الفلين عند غمرها في الماء .

3 - يغوص مسمار من الحديد في الماء بينما تطفو سفينة كبيرة من الحديد عليه .

❖ وقد فسر أرشميدس ما حدث في الحالات السابقة بأن الجسم عندما يُغمر تحت سطح سائل ما فإن

الجسم يؤثر على السائل بقوة إلى أسفل . وبالتالي فإن السائل سيؤثر على الجسم بقوة إلى أعلى تسمى بـ

"قوة دفع السائل على الجسم" . ولقد وجد أرشميدس أن قوة دفع السائل على الجسم = وزن السائل المزاح .

❖ تنص "قاعدة أرشميدس" على أن "الجسم المغمور كلياً أو جزئياً في مائع (سائل أو غاز) يكون

مدفوعاً بقوة إلى أعلى هذه القوة تُعادل وزن حجم المائع الذي يزيحه الجسم كلياً أو جزئياً على الترتيب" .

♦ ♦ إستنتاج قاعدة أرشميدس نظرياً :

1 - نفرض أن لدينا سائل كثافته ρ ساكن في وعاء . ونختل إسطوانة منتظمة من هذا السائل حجمها V_{ol} ومساحة قاعدتها A وارتفاعها h كما بالشكل :

2 - يتأثر هذا الجزء من السائل بقوي من جميع الإتجاهات (قوي جانبية وقوي من أسفل ومن أعلي) .

3 - هذا الجزء من السائل كأي جزء آخر في حالة إتزان (أي ثابت في مكانه لا يحرك في أي إتجاه) فتكون القوي المؤثرة عليه هي :

أ - القوي الأفقية (الممثلة بالأسهم الحمراء) : وهذه تُلَاشي بعضها البعض (لأن كلاً منها عبارة عن قوتان متقابلتان متساويتان في المقدار ومتضادتين في الإتجاه) .

ب - القوي الرأسية : وهي تتكون من قوتين :

الأولي : تؤثر من أعلي إلي أسفل وهي عبارة عن وزن هذا الحجم من السائل أي :

قوة وزن هذا الجزء من السائل = حجمه $\times$ كثافته $\times$ عجلة الجاذبية .
أو :

$$(F_g)_l = V_{ol} \rho g$$

والثانية : تؤثر من أسفل إلي أعلي وتنشأ عن فرق الضغط بين

السطحين السفلي a والعلوي b لهذا الحجم من السائل وتُسمى بـ " قوة الدفع علي أسطوانة السائل " ويُرمز لها بالرمز F_b أي أن :

$$F_b = \Delta P A$$

$$\therefore \Delta P = P_a - P_b = h_1 \rho g - h_2 \rho g = (h_1 - h_2) \rho g = h \rho g \quad : \quad h = h_1 - h_2$$

$$\Rightarrow \boxed{F_b = h \rho g \times A = V_{ol} \rho g} \quad : \quad V_{ol} = hA$$

وحيث أن الأسطوانة متزنة (أي لا تتحرك إلي أعلى ولا إلي أسفل) فإن :

قوة دفع السائل = وزن أسطوانة السائل . أو :

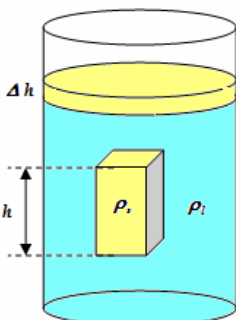
$$\boxed{F_b = V_{ol} \rho g = (F_g)_l}$$

♦ ♦ ما معني أن قوة دفع سائل لجسم طاف = 20 نيوتن ؟

معني ذلك أن وزن الجسم الطاف فوق سطح السائل = 20 نيوتن .

أو وزن السائل المزاح بواسطة الجسم = 20 نيوتن .

♦ العلاقة بين وزن الجسم في الهواء ووزنه وهو مغمور في سائل .



إذا إستبدلنا أسطوانة السائل السابقة بأسطوانة من مادة صلبة لها نفس الشكل والحجم كثافتها ρ_s فإننا نجد أن السائل يُزاح مسافة قدرها Δh . ويكون وزن الأسطوانة الصلبة هو :

$$(F_g)_s = V_{ol} \rho_s g$$

وقوة دفع السائل هي :

$$F_b = V_{ol} \rho_l g$$

وبالتالي تكون القوة المحصلة المؤثرة علي الأسطوانة الصلبة هي :

$$F = F_b + (-F_g)_s$$

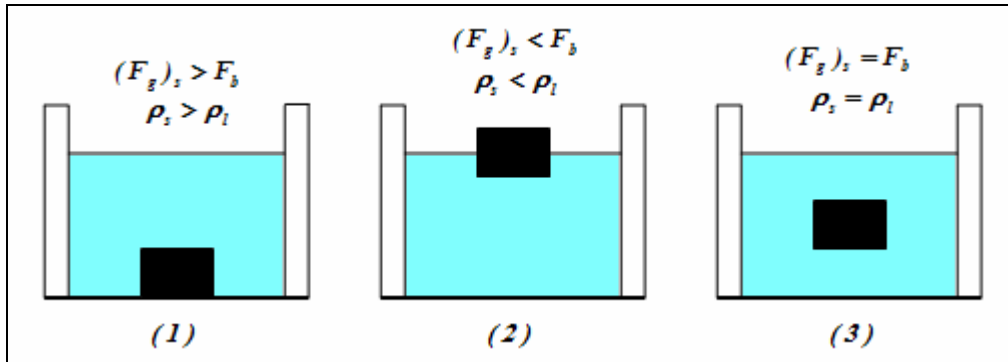
حيث F هو مجموع (محصلة) القوي المؤثرة علي الجسم، كما أفترض أن إتجاه F_b إلي أعلى لذا يكون موجباً وإلتجاه المخالف (إتجاه $(F_g)_s$) يكون بالسالب.

$$F = F_b - (F_g)_s = V_{ol} \rho_l g - V_{ol} \rho_s g$$

$$F = (\rho_l - \rho_s) V_{ol} g$$

وتبعاً للمعادلة السابقة يمكن أن يكون الجسم المغمور في إحدى الحالات الثلاث التالية :

- 1 - يغوص الجسم إلي القاع : عندما يكون وزن الجسم أكبر من قوة الدفع أي $(F_g)_s > F_b$ ويحدث عندما تكون كثافة الجسم أكبر من كثافة السائل $\rho_s > \rho_l$ (محصلة القوة إلى أسفل).
- 2 - يطفو الجسم علي سطح السائل : عندما يكون وزن الجسم أقل من قوة الدفع أي $(F_g)_s < F_b$ ويحدث عندما تكون كثافة الجسم أصغر من كثافة السائل $\rho_s < \rho_l$ (محصلة القوة إلى أعلى).
- 3 - يبقى الجسم معلقاً في السائل : عندما يكون وزن الجسم مساوياً لقوة الدفع أي $(F_g)_s = F_b$ ويحدث عندما تكون كثافة الجسم مساوية لكثافة السائل $\rho_s = \rho_l$ (محصلة القوة = صفر).



♦ ♦ ♦ الوزن الظاهري في السائل ♦ ♦ ♦

إذا عُلِق جسم في ميزان زنبركي ثم غُمر بالكامل في سائل بحيث لا يُلامس قاع الإناء فإن وزنه وهو مغمور في السائل $(F_g)'_s$ يقل عن وزنه في الهواء $(F_g)_s$ بمقدار قوة دفع السائل F_b أي أن :

الوزن الظاهري للجسم المغمور = وزنه في الهواء - قوة دفع السائل عليه . أو :

$$(F_g)'_s = (F_g)_s - F_b$$

ومنها تكون قوة الدفع عبارة عن :

$$F_b = (F_g)_s - (F_g)'_s$$

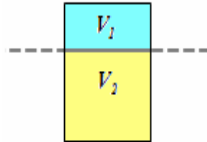
♦ تطبيقات علي الطفو ♦

- 1 - تقنية المعالجة بالماء : فيُعاني بعض المرضى من مشكلة رفع أو تحريك أطرافهم بسبب ضرر أو مرض بالعضلات أو المفاصل الأمر الذي يحتاج إلي العلاج الطبيعي . لذا يغمر المريض جسمه في الماء فينعدم وزنه تقريباً وتقل بذلك القوة والمجهود اللازم لتحريك أطرافه وأداء تمارين العلاج الطبيعي .

- 2 - تجارب إنعدام الوزن : حيث تجري بعض تجارب إنعدام الوزن في حاويات مملوءة بسائل يُضبط تركيزه بحيث تتزن قوة الدفع مع الوزن .
- 3 - طفو الغواصات : حيث تحتوي الغواصة علي فراغات كبيرة وعندما تمتلئ هذه الفراغات بالهواء تطفو الغواصة . وتغوص عندما تملئ الفراغات بالماء . ونفس الشئ تقريباً في الأسماك .
- 4 - سترة الغطس : فيغير الغواص الضغط في السترة التي يرتديها عند الغطس إلي أعماق كبيرة ليتحكم في قوة الطفو .

♦♦♦ ملاحظات هامة جداً ♦♦♦

- 1 - في حالة الجسم المغمور كلياً في سائل يكون :
 $\triangleleft$ حجم السائل المزاح = حجم الجسم كله .
 $\triangleleft$ وتكون قوة الدفع مساوية لـ " حجم الجسم المغمور $\times$ كثافة السائل $\times$ عجلة الجاذبية .
- 2 - في حالة الجسم الطافي فوق سطح سائل يكون :



$\triangleleft$ حجم الجسم كله V = حجم الجزء الطافي V_1 + حجم الجزء المغمور V_2 . أو :

$$V = V_1 + V_2$$

- $\triangleleft$ حجم السائل المزاح = حجم الجزء المغمور فقط .
 $\triangleleft$ وتكون قوة الدفع مساوية لـ " حجم الجزء المغمور فقط $\times$ كثافة السائل $\times$ عجلة الجاذبية .
 - 3 - إذا غُمرت أجسام متساوية في الحجم من معادن مختلفة الكثافة في سائل واحد فإن النقص في وزنها يكون متساوياً وذلك لأن النقص في الوزن (عبارة عن الوزن في الهواء - الوزن وهو مغمور) الذي هو عبارة عن قوة الدفع التي تساوي حجم الجسم المغمور $\times$ كثافة السائل $\times$ عجلة الجاذبية . أو :
- $$F_b = (F_g)_s - (F_g)'_s = V\rho_l g$$
- 4 - إذا طفا جسم قوة عدة سوائل مختلفة الكثافة (مثل الماء والجليسرين) فإن قوة دفع الماء علي الجسم تكون مساوية لقوة دفع الجليسرين علي نفس الجسم وذلك لأن كلا منهما تساوي وزن الجسم الطافي .
 - 5 - إذا إنتقلت سفينة من الماء المالح إلي الماء العذب فإن قوة دفع الماء علي السفينة لا تتغير لأن قوة الدفع تساوي وزن السفينة .

♦♦♦ تعليقات هامة ♦♦♦

- 1 - جميع النقط الواقعة في مستوي أفقي واحد في سائل متجانس تكون متساوية في الضغط ؟
 لأن جميع هذه النقط علي عمق واحد من سطح السائل كما أن كثافة السائل المتجانس متساوية في جميع النقط لذا يكون الضغط متساوياً فيها لأن : $P = h\rho g$.

- 2 - تُبني السدود بحيث يكون سمكها من أسفل أكبر من سمكها في الأعلى ؟
لأن الضغط يزداد بزيادة العمق وبالتالي تكون القوة الضاغطة علي جسم السد من أسفل أكبر منها من أعلى الأمر الذي يفرض أن يكون السد أكبر سمكاً في أسفل .
- 3 - عندما يؤثر ضغط علي سائل محبوس في إناء فإن الضغط ينتقل بتمامه إلي جميع أجزاء السائل ؟
لأن السوائل غير قابلة للانضغاط لذا فأي زيادة في الضغط علي سائل تجعل جزيئات السائل يدفع بعضها البعض بقوة فينتقل الضغط إلي جميع أجزاء السائل .
- 4 - لا يتأثر إرتفاع الزئبق في البارومتر بمساحة مقطع الأنبوبة ؟
لأن الضغط يُقدر بالقوة المؤثرة عمودياً علي وحدة المساحات وهي تتوقف علي إرتفاع الزئبق في البارومتر وكثافته فقط حيث $P = h\rho g$.
- 5 - يُستخدم الزئبق كمادة بارومترية بدلاً من الماء ؟
فحيث أن إرتفاع السائل في البارومتر يتناسب عكسياً مع كثافته وحيث أن كثافة الزئبق 13.6 مرة قدر كثافة الماء لذا عند إستخدام الماء في البارومتر يكون إرتفاع عمود الماء كبيراً حوالي 10.33 متراً بينما في حالة الزئبق يكون إرتفاع عمود الزئبق 0.76 متر فقط .
- 6 - يُحفظ الزئبق في أواني سميكة الجدران ؟
لأن كثافة الزئبق كبيرة جداً مقارنةً مع باقي السوائل لذا تكون القوة الضاغطة الناشئة عنه كبيرة جداً.
- 7 - لا يمكن تطبيق قاعدة باسكال علي السوائل ؟
♦ يرجع ذلك لعدة أسباب هي :
- ◁ الغاز قابل للانضغاط فيتغير حجمه بتأثير الضغط الواقع عليه .
- ◁ عند إحداث ضغط علي المكبس الصغير فإن جزءاً من الشغل المبذول علي وحدة الحجم منه يُستهلك في إنقاص حجم الغاز .
- ◁ نتيجة لذلك تنقص قيمة الشغل المبذول علي وحدة الحجم من المكبس الكبير فيكون الضغط الناتج عند المكبس الكبير أقل من الضغط المؤثر علي المكبس الصغير .
- 8 - يستطيع المكبس الهيدروليكي رفع أثقال كبيرة بوضع أثقال صغيرة علي المكبس الصغير ؟
فحيث أن الضغط ينتقل بتمامه إلي جميع أجزاء السائل . إذاً يكون الضغط علي المكبس الكبير مساوياً للضغط علي المكبس الصغير أي أن : $\frac{f}{a} = \frac{F}{A}$ ولما كانت مساحة المكبس الكبير A أكبر بكثير من مساحة المكبس الصغير a فلا بد أن تكون القوة الكلية المؤثرة علي المكبس الكبير F أكبر من القوة الكلية المؤثرة علي المكبس الصغير f .
- 9 - في المكبس الهيدروليكي تكون الفائدة الآلية دائماً أكبر من الواحد الصحيح ؟
لأن : $\eta = \frac{f}{a} = \frac{F}{A}$ ولما كانت مساحة المكبس الكبير A أكبر بكثير من مساحة المكبس الصغير a وأيضاً القوة الكلية المؤثرة علي المكبس الكبير F أكبر من القوة الكلية المؤثرة علي المكبس الصغير f لذا تكون الفائدة الآلية للمكبس أكبر دائماً من الواحد الصحيح .

10 - عند إستخدام مانومتر لقياس فرق ضغط صغير بين غاز محبوس في إناء والضغط الجوي يُفضل وضع ماء بالمانومتر بدلاً من الزئبق ؟

❖ ذلك للأسباب التالية :

◁ بما أن $P = h\rho g$ فإنه عندما يكون الضغط P ثابتاً ينتاسب فرق إرتفاع عمودي الزئبق في الفرعين عكسياً مع الكثافة أي أن : $h \propto \frac{1}{\rho}$.

◁ وحيث أن كثافة الزئبق أكبر من كثافة الماء بمقدار 13.6 مرة لذا يكون الفرق بين إرتفاع عمودي الزئبق في الفرعين صغيراً وبالتالي فإن أي خطأ في قراءة هذا الفرق يحدث خطأ كبيراً في الضغط.

◁ أما في حالة الماء يكون الفرق بين إرتفاع عمودي الماء في الفرعين كبيراً وبالتالي يكون الخطأ النسبي في القراءة صغيراً وبذلك يمكن قياس فرق الضغط بدقة.

11 - لا تصل كفاءة المكبس الهيدروليكي إلي 100 % ؟

❖ يرجع ذلك للأسباب التالية :

◁ وجود قوي إحتكاك بين المكابس وجدران الإناء .

◁ وجود فقاعات هوائية في السائل مما يسبب إستهلاك شغل في إنضغاط هذه الفقاعات .

12 - يمكن للغواص أن يغوص إلي عمق أكبر في ماء النهر عن ماء البحر ؟

حيث أن الغواص يتحمل ضغط متساوي في الحالتين وحيث أن كثافة ماء البحر أكبر من كثافة ماء النهر لذا يغوص الغواص لعمق أكبر في النهر عنه في البحر لأن $h \propto \frac{1}{\rho}$ عند ثبوت الضغط .

الفصل الخامس

« خواص الموائع المتحركة »

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الثانية " الموائع " الفصل الخامس " خواص الموائع المتحركة "

خواص الموائع المتحركة

❖ مقدمة :

نتحول الآن من دراسة الموائع الساكنة إلى دراسة الموائع المتحركة.
وعند دراسة الموائع المتحركة ينبغي أن نُميز بين نوعين أساسيين من السريان هما:
- السريان الهادئ (المستقر) .
- السريان المضطرب .

أولاً : السريان الهادئ .

- يحدث عندما يسري المائع في الأنبوبة بسرعات صغيرة بحيث تنزلق طبقاته المتجاورة بطريقة إنسيابية ناعمة، لذا يُسمى هذا النوع من السريان بـ "السريان الطبقي أو الإنسيابي".
- ويتميز هذا النوع من الإنسياب بأن كل كمية صغيرة من المائع تتخذ مساراً متصلاً معيناً يسمى بـ "خط الإنسياب" وبالتالي إذا تتبعنا مسارات أجزاء المائع المختلفة في الأنبوبة فإنه يمكن تصور تحركه (أي المائع) برسم مجموعة من خطوط الإنسياب.
- تعريف " خط الإنسياب " : هو المسار الذي يتخذه أي جزء من السائل أثناء سريانه داخل الأنبوبة سرياناً مستقراً (هادئاً).

❖ ❖ خصائص (مميزات) خطوط الإنسياب:

- 1 - لا تتقاطع خطوط الإنسياب.
 - 2 - المماس عند أي نقطة علي خط الإنسياب يحدد اتجاه السرعة اللحظية لكل كمية صغيرة من المائع عند تلك النقطة.
 - 3 - خطوط الإنسياب تخيلية (افتراضية) تُتخذ مقياساً لسرعة ومعدل سريان المائع.
- ❖ ❖ ويطلق علي عدد خطوط الإنسياب التي تمر عمودياً علي وحدة المساحات عند نقطة بـ "معدل سريان المائع عند تلك النقطة" أو "كثافة خطوط الإنسياب عند تلك النقطة".
ويحدد معدل السريان عند نقطة "سرعة سريان المائع عند تلك النقطة".
- ❖ ❖ وفي السريان الهادئ يُلاحظ أن خطوط الإنسياب تتزاحم (أي تزداد كثافة خطوط الإنسياب) عند السرعات الكبيرة وتقل وتتباعد عند السرعات المنخفضة، أي أن سرعة سريان المائع عند نقطة في الأنبوبة تتناسب تناسباً عكسياً مع كثافة خطوط الإنسياب.

❖ شروط السريان الهادئ :

يُقال أن المائع ينساب إنسياباً مستقراً في أنبوبة عندما تتوفر فيه الشروط التالية:

- 1 - أن يكون معدل سريان المائع ثابتاً علي طول مساره : أي أن تكون كمية المائع التي تدخل الأنبوبة من أحد طرفيها مساوية لكمية المائع التي تخرج من طرفها الأخر في نفس الزمن.

- 2 - أن لا تتوقف سرعة المائع عند أي نقطة علي الزمن: أي أن تبقي سرعة سريان المائع عند أي نقطة في الأنبوبة ثابتة ولا تتغير مع الزمن.
- 3 - أن يكون السريان غير دوار: أي لا توجد به دوامات.
- 4 - أن لا توجد قوي احتكاك بين طبقات المائع.
- 5 - أن يملأ المائع الأنبوبة تماماً.

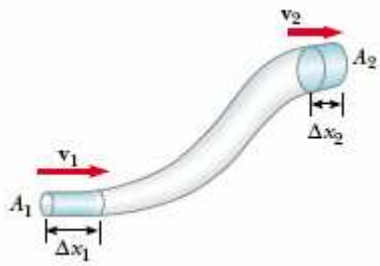
ثانياً : السريان المضطرب :



- ويحدث عندما تزداد سرعة المائع عن حد معين أو عن قيمة معينة . ويتميز هذا النوع من السريان بوجود دوامات صغيرة دائرية.
- مثل: إنتقال غاز ما من حيز صغير إلي حيز كبير أو من ضغط عالي إلي ضغط أقل حيث يتحرك حركة دوامية .

♦ معدل السريان ومعادلة الإستمرارية .

- لكي ندرك ما نعنية بـ "معادلة الإستمرارية"، نتصور أنبوبة تحتوي علي مائع معين ونفترض أن سريان المائع في الأنبوبة سريان هادئ (وبالتالي تنطبق عليه الشروط السريان الهادئ السابقة).



- فإنه بأخذ مستويين عموديين علي خطوط الإنسياب عند مقطعين مختلفين (كما بالشكل التالي) مساحة مقطع المستوي الأول هي A_1 ومساحة مقطع المستوي الثاني هي A_2 .

♦ ♦ فبالتالي يكون حجم المائع الذي ينساب خلال مساحة معينة في وحدة الزمن أو معدل الإنسياب الحجمي الذي يُرمز له بالرمز Q_V

خلال المساحة A_1 عبارة عن : مساحة المقطع $A_1 \times$ المسافة التي يتحركها المائع Δx_1 ، أي أن:
معدل الإنسياب الحجمي $[Q_V]_{A_1} = \text{مساحة المقطع } A_1 \times \text{المسافة التي يتحركها المائع } \Delta x_1$.
وحيث أن :

$$\text{المسافة التي يتحركها المائع } \Delta x_1 = \text{سرعة المائع } v_1 \times \text{الفترة الزمنية } t .$$

وحيث أن الفترة الزمنية المستغرقة هي وحدة الزمن أي أن : الفترة الزمنية $t = 1$.

$$\Leftarrow \text{المسافة التي يتحركها المائع } \Delta x_1 = \text{سرعة المائع } v_1$$

$$\& \text{ معدل الإنسياب الحجمي } [Q_V]_{A_1} = \text{مساحة المقطع } A_1 \times \text{سرعة المائع } v_1$$

$$[Q_V]_{A_1} = A_1 \times v_1$$

ومنها يمكن بيان معدل الإنسياب الكتلي الذي يُرمز له بالرمز Q_m وهو عبارة عن كتلة المائع التي تنساب خلال مساحة معينة في وحدة الزمن.

إذاً يكون :

$$\text{معدل الإنسياب الكتلي } Q_m = \text{معدل الإنسياب الحجمي } Q_V \times \text{كثافة المائع } \rho .$$

أي أن :

$$Q_m = \rho Q_V$$

ويكون معدل الإنسياب الكتلي خلال المساحة A_1 هو :

$$[Q_m]_{A_1} = \rho [Q_V]_{A_1} = \rho A_1 \times v_1$$

وبالمثل بالنسبة للمساحة A_2 يكون معدل الإنسياب الكتلي هو :

$$[Q_m]_{A_2} = \rho [Q_V]_{A_2} = \rho A_2 \times v_2$$

وحيث أن معدل السريان الكتلي يبقى ثابتاً في حالة السريان الهادئ (وطبقاً لقانون بقاء الكتلة)، فبالتالي يكون:

$$[Q_m]_{A_1} = [Q_m]_{A_2}$$

$$\rho A_1 \times v_1 = \rho A_2 \times v_2$$

$$\boxed{A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2} \Leftrightarrow \boxed{\frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1}}$$

وهذه هي "معادلة الإستمرارية"، ومنها نستنتج أن:

- 1 - سرعة المائع عند أي نقطة في الأنبوبة تتناسب تناسباً عكسياً مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة، وعلى هذا ينساب المائع ببطء شديد في الأنبوبة عندما تكون مساحة مقطعها كبير والعكس صحيح.
- 2 - سرعة المائع عند أي نقطة في الأنبوبة تتناسب طردياً مع كثافة خطوط الإنسياب (معدل الإنسياب الحجمي أو الكتلي).

♦ ♦ وبصفة عامة : يكون معدل الإنسياب الحجمي Q_V للمائع خلال زمن قدره T ثانية هو:

$$[Q_V]_{A_1} = A_1 \times v_1 \times T$$

وبالتالي يكون معدل الإنسياب الكتلي Q_m خلال نفس الزمن هو:

$$[Q_m]_{A_1} = \rho A_1 \times v_1 \times T$$

♦ ♦ ملاحظات هامة:

◁ إذا تفرع المائع أو السائل المار في الأنبوبة إلى عدة فروع عددها n فرع ومتساوية في مساحة المقطع فإن:

$$A_1 \times v_1 = n A_2 \times v_2$$

◁ أما إذا كانت الفروع غير متساوية في مساحة المقطع يكون:

$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 + A_3 \times v_3 + \dots\dots\dots$$

مما سبق نتبين أن معدل الإنسياب للمائع إما أن يكون معدل إنسياب حجمي Q_V ووحدته m^3 / sec وإما أن يكون معدل إنسياب كتلي Q_m ووحدته kg / sec ، وكلاهما مقدار ثابت لأي مساحة مقطع.

♦ ♦ ♦ أمثلة محلولة :

1 - تدخل أنبوبة مياه قطرها 2 سم منزلاً وسرعة سريان الماء بها 0.1 م / ث ، ثم يصبح قطرها 1 سم .
 ومع العلم أن كثافة الماء 1000 كجم / سم³ . فاحسب :

(أ) سرعة الماء في الجزء الضيق .

(ب) كمية الماء (حجمه وكتلته) التي تنساب كل دقيقة خلال أي مقطع من مقاطع الأنبوبة .

- المعطيات :

$$\begin{aligned} 2r_1 = 0.02m \quad r_1 = 0.01m &\Rightarrow A_1 = \pi r_1^2 = \pi \times (0.01)^2 m^2, \quad v_1 = 0.1m/s \\ 2r_2 = 0.01m \quad r_2 = 0.005m &\Rightarrow A_2 = \pi r_2^2 = \pi \times (0.005)^2 m^2 \end{aligned}$$

- الحل :

$$\therefore A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 \quad (i)$$

$$\begin{aligned} \pi r_1^2 \times v_1 &= \pi r_2^2 \times v_2 & \pi (0.01)^2 \times (0.1) &= \pi (0.005)^2 \times v_2 \\ v_2 &= \frac{\pi (0.01)^2 \times (0.1)}{\pi (0.005)^2} = 0.4m/s \end{aligned}$$

(ب) معدل الإنسياب الحجمي في وحدة الزمن :

$$Q_V = A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 = \pi (0.001)^2 \times (0.1) = \pi (0.005)^2 \times (0.4) = 3.14 \times 10^{-5} m^3 / s$$

ويكون معدل الإنسياب الحجمي خلال دقيقة :

$$Q_V \times 60 = 3.14 \times 10^{-5} \times 60 = 188.4 \times 10^{-5} m^3 / min$$

وبالتالي يكون معدل الإنسياب الكتلي في وحدة الزمن هو :

$$Q_m = Q_V \times \rho = A_1 \times v_1 \times \rho = A_2 \times v_2 \times \rho$$

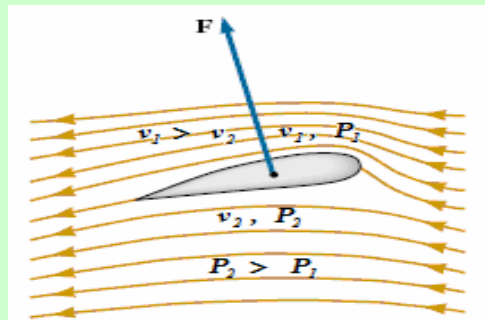
$$Q_m = \pi (0.001)^2 \times (0.1) \times 1000 = \pi (0.005)^2 \times (0.4) \times 1000 = 3.14 \times 10^{-2} kg / s$$

ومعدل الإنسياب الكتلي خلال دقيقة :

$$Q_m \times 60 = 3.14 \times 10^{-2} \times 60 = 1.884 kg$$

♦ لماذا تطير الطائرة ولا تسقط ؟

يتميز جناح الطائرة بأطراف حادة ممتدة كما أن تقوس سطحه العلوي يزيد علي تقوس السطح السفلي .
 ويتسبب هذا التكوين في أن تكون سرعة إنسياب طبقات الهواء علي السطح العلوي v_1 أكبر منها علي
 السطح السفلي v_2 كما يتضح من الشكل المقابل .



كما يوضح الشكل أيضاً تزاخم خطوط الإنسياب أعلي الجناح وبالتالي يزداد مقدار سرعة الإنسياب عنه في حالة الإنسياب الحر (حالة عدم وجود الطائرة) كما يكون الضغط أعلي الجناح P_1 أقل من الضغط في حالة الإنسياب الحر، أما عند قاع الجناح (السطح السفلي) فتقل سرعة الإنسياب عن سرعته في الحالة الحرة وبالتالي يزداد الضغط P_2 عنه في الحالة الحرة. ونتيجة لفرق الضغط بين السطحين السفلي والعلوي للجناح تنشأ قوة تؤثر الي أعلي F تسمى بقوة رفع الطائرة، وتسمى هذه العملية كلها بـ "ظاهرة برنولي".

تطبيق علي معادلة الإستمرارية

" سريان الدم في الشرايين والشعيرات المتفرعة منها "

♦ نفرض أن شرياناً رئيسياً مساحة مقطعة A_1 وسرعة سريان الدم فيه v_1 ، وأن هذا الشريان قد تفرع إلى شعيرات متماثلة عددها n وسرعة الدم في كل شعيرة هي v_2 :

عندئذ يكون: معدل الدم المُنسب في الشريان الرئيسي = معدل الدم المُنسب في مجموعة الشعيرات المتفرعة

$$A_1 \times v_1 = nA_2 \times v_2 \quad \text{أي أن:}$$

ولما كانت مساحة مقطع الشريان الرئيسي أقل من مجموع مساحات مقاطع الشعيرات المتفرعة .

$$A_1 < nA_2 \quad \text{أي أن:}$$

$$v_1 > v_2 \quad \text{فلا بد أن تكون:}$$

أي أن سرعة الدم في الشعيرات المتفرعة أبطي بكثير من سرعة الدم في الشريان الرئيسي.

♦ الأمر الذي يؤدي إلى:

1 - إتاحة الفرصة لحدوث عملية تبادل غازي الأكسجين و ثاني أوكسيد الكربون بين الشعيرات والأنسجة.

2 - إتاحة الفرصة لتزويد الأنسجة بالمواد الغذائية اللازمة، وهنا تتجلى قدرة الله سبحانه وتعالى.

2 - تكون السرعة المتوسطة لتدفق الدم في الأورطي لشخص بالغ هي 0.33 م / ث حيث أن نصف قطر الأورطي 0.7 سم، ومن الأورطي يتوزع الدم علي عدد من الشرايين الرئيسية نصف قطر كلاً منها 0.35 سم، فإذا كان عدد الشرايين الرئيسية 30 فاحسب سرعة الدم فيها.

- المعطيات :

$$A_1 = \pi r_1^2 = \pi (0.007)^2 m^2, \quad v_1 = 0.33 m / s$$

$$A_2 = \pi r_2^2 = \pi (0.0035)^2 m^2, \quad n = 30$$

- الحل :

حيث أن الشرايين الرئيسية لها نفس مساحة المقطع فإن:

$$A_1 \times v_1 = nA_2 \times v_2$$

$$\pi r_1^2 \times v_1 = n \times \pi r_2^2 \times v_2 \quad \pi (0.007)^2 \times (0.33) = 30 \times \pi (0.0035)^2 \times v_2$$

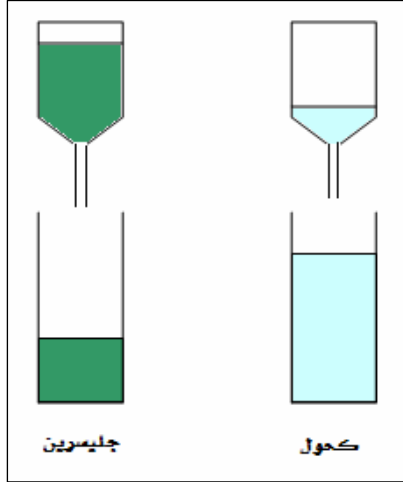
$$v_2 = \frac{\pi (0.007)^2 \times (0.33)}{30 \times \pi (0.0035)^2} = 0.044 m / s$$

أي أن سرعة الدم في الشرايين الرئيسية 0.044 m/s وبالتالي تكون سرعة الدم في الشعيرات الدموية صغيرة جداً كما سبق أن أشرنا.

♦ اللزوجة .

يمكن إدراك معني اللزوجة من التجارب التالية:

• التجربة الأولى:



نُعلق قمعين متماثلين كلاً في حامل، ثم نضع أسفل كلاً منهما كأساً فارغاً، ونصب في أحد القمعين حجماً معيناً من الكحول وفي الآخر حجماً مماثلاً من الجليسرين، ونلاحظ سرعة إنسياب كلاً من السائلين !!!

الملاحظة: نجد أن سرعة إنسياب الكحول أكبر من الجليسرين أو بعبارة أخرى تكون قابلية الكحول للإنسياب أكبر من قابلية الجليسرين لذلك .

الاستنتاج: يمكن الحكم علي لزوجة مائع ما بمعرفة قابلية هذا المائع للإنسياب، فكلما زادت قابلية المائع للإنسياب قلت لزوجته والعكس صحيح.

• التجربة الثانية:

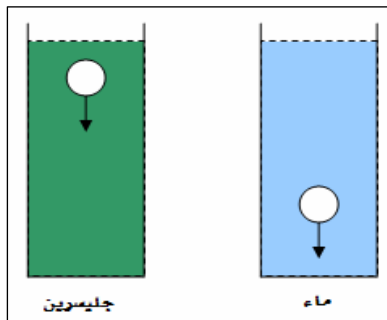
نضع حجمين متساويين أحدهما من الماء والآخر من العسل في كأسين متماثلين من الزجاج. نقلب كلاً من السائلين بشكل دائري وبسرعة واحدة بواسطة ساق من الزجاج ونلاحظ في أي من السائلين تكون حركة الساق أسهل !!! ثم نخرج الساق ونترك السائلين حتي يسكنا ونلاحظ أيهما يسكن أولاً !!! .

الملاحظة: ♦ تتحرك الساق في الماء بسهولة أكبر عن الجليسرين.

♦ يسكن العسل وتقف حركته قبل الماء.

الاستنتاج: العسل أكبر لزوجة من الماء لأنه يقاوم حركة الساق بدرجة أكبر من الماء.

• التجربة الثالثة:



نُسقط كرتين متماثلتين من الزجاج في مخبرين طويلين متماثلين أحدهما به ماء والآخر به جليسرين . نعين بواسطة ساعة إيقاف الزمن الذي تستغرقه كل كرة لتصل إلي قاع المخبار .

الملاحظة: تصل الكرة إلي قاع المخبار خلال الماء في زمن أقل من الزمن الذي تستغرقه الكرة لتصل إلي قاع المخبار خلال الجليسرين.

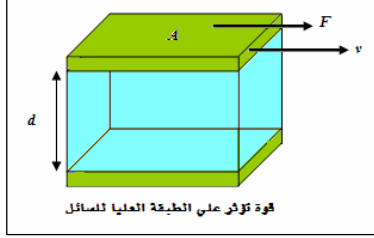
الاستنتاج: الجليسرين يقاوم حركة الأجسام خلاله بمقدار أكبر من مقاومة الماء.

♦ ♦ ♦ ممن التجارب السابقة يمكن إستخلاص ما يلي:

1 - بعض السوائل مثل الماء والكحول تكون قابليتها للإنسياب أو الحركة كبيرة في حين تكون مقاومتها لحركة الأجسام فيها صغيرة فيُقال أن هذه السوائل أقل لزوجة.

2 - بعض السوائل مثل العسل والجليسرين تكون قابليتها للإنسياب أو الحركة صغيرة في حين تكون مقاومتها لحركة الأجسام فيها كبيرة فيقال أن هذه السوائل أكبر لزوجة.

♦ ♦ ♦ تدرج السرعة بين طبقات سائل ينساب:



1 - نتصور كمية من سائل محصور بين لوحين مستويين أحدهما

سفلي ساكن والآخر علوي يتحرك بسرعة v .

2 - نتصور السائل مكوناً من عدة طبقات رقيقة.

3 - طبقة السائل الملاصقة للوح السفلي الساكن تبدو ساكنة عديمة

الحركة وتكون سرعة طبقة السائل السفلي = صفر.

4 - طبقة السائل الملاصقة للوح العلوي تتحرك بنفس

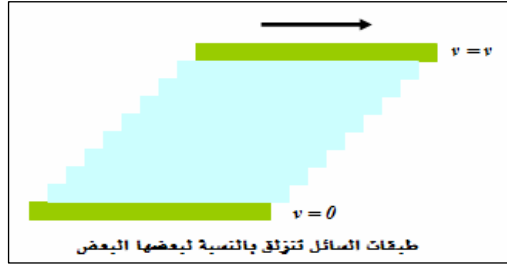
سرعة اللوح العلوي v .

5 - تتحرك طبقات السائل بين اللوحين بسرعات تتدرج

من الصفر إلى v في الاتجاه من اللوح الساكن إلى اللوح

المتحرك، حيث تكون كل طبقة أقل من سرعة الطبقة التي

تعلوها.



♦ ♦ ♦ تفسير خاصية اللزوجة:

يرجع الاختلاف النسبي في السرعة بين طبقات السائل إلى ما يلي:

1 - توجد قوى احتكاك بين السطح المستوي للوح السفلي وطبقة السائل الملاصقة له تنشأ بسبب قوى

الإلتصاق بين جزيئات السطح السفلي الصلب وجزيئات طبقة السائل الملاصقة له، وتعمل هذه القوى على

إعاقة إنسياب طبقة السائل فتبدو عديمة الحركة وتكون سرعتها = صفر.

2 - طبقة السائل الملاصقة للوح العلوي تتأثر أيضاً بقوى إلتصاق تجعلها تتحرك بنفس سرعة اللوح

العلوي v .

3 - نتيجة لقوى التماسك بين جزيئات السائل تعمل كل طبقة على مقاومة حركة الطبقة التي

تعلوها لأنها أسرع منها بينما تعمل على زيادة سرعة الطبقة التي تحتها لأنها أبطأ منها،

لذا ينشئ بين طبقات السائل قوى شبيهة بقوى الإحتكاك تعوق قابلية السائل للإنسياب وقدرته على

الحركة مما ينشأ عنه فرق نسبي في السرعة بين كل طبقة والتي تجاورها، ويسمى هذا النوع من السريان

بـ "السريان الطبقي أو اللزج".

مما سبق يمكن تعريف "اللزوجة" بأنها "خاصية للمادة تتسبب في وجود قوى مقاومة أو إحتكاك بين طبقات

السائل تعوق إنزلاقها فوق بعضها البعض كما أنها تقاوم حركة الأجسام فيها".

♦ ♦ ♦ معامل اللزوجة :

نلاحظ من الشكل السابق أنه لكي تحتفظ طبقة السائل الملامسة للوح العلوي المتحرك بسرعة ثابتة قدرها v لابد وأن تؤثر عليها قوة قدرها F تكون مماسية لطبقة السائل تسمى بـ "قوة اللزوجة"، وقد وجد أن قوة اللزوجة تتوقف علي عدة عوامل هي:

1 - مساحة اللوح المتحرك A : حيث تتناسب قوة اللزوجة طردياً مع مساحة اللوح المتحرك أي أن $F \propto A$.

2 - فرق السرعة بين طبقتين من السائل v : حيث تتناسب قوة اللزوجة طردياً مع فرق السرعة بين طبقتين من السائل أي أن $F \propto v$.

3 - المسافة الفاصلة بين اللوحين d : فتتناسب قوة اللزوجة عكسياً مع المسافة الفاصلة بين اللوحين حيث $F \propto \frac{1}{d}$.

مما سبق نجد أن :

$$F \propto \frac{Av}{d} \Rightarrow \boxed{F = \eta_{vs} \frac{Av}{d}}$$

حيث η_{vs} هو ثابت التناسب ويسمى بـ "معامل اللزوجة لسائل" ويعطي من العلاقة:

$$\boxed{\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av}} \Leftrightarrow \boxed{\eta_{vs} = \frac{F}{A(v/d)}}$$

ويسمى المقدار v/d بـ "منحدر السرعة عند أي طبقة" وهو "النسبة بين سرعة طبقة السائل v وبُعدها عن الطبقة الساكنة d "

♦ ♦ تعريف "معامل اللزوجة لسائل": "يساوي عددياً القوة المماسية المؤثرة علي وحدة المساحات من السائل وينتج عنها فرق في السرعة مقداره الوحدة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما الوحدة".

♦ ♦ وحدة قياس معامل اللزوجة:

من المعادلة السابقة يكون:

$$\eta_{vs} = \frac{kg.m / sec^2 m}{m^2 (m / sec)} = kg / m.sec = N.sec / m^2$$

أي أن وحدة قياس معامل اللزوجة هي $kg / m.sec$ أو $N.sec / m^2$.

♦ ♦ ♦ العوامل التي تتوقف عليها لزوجة سائل :

1 - نوع مادة السائل: فكل سائل لزوجة معينة وهي تختلف من سائل لآخر.

2 - درجة حرارة السائل: حيث تقل لزوجة السائل بارتفاع درجة حرارته.

♦ ♦ ♦ ما معني أن لزوجة الجليسرين عند 20 درجة سيليزية = 0.8 كجم / م . ث ؟

معني ذلك أنه عند 20 درجة سيليزية تكون القوة المماسية المؤثرة علي وحدة المساحات من سطح الجليسرين والتي ينتج عنها فرق في السرعة مقداره 1 م / ث بين طبقتين من الجليسرين المسافة العمودية بينهما 1 م مساوية 0.8 نيوتن.

♦ ♦ ♦ مثال :

صفحة مستوية مساحتها 10^{-2} م^2 معزولة عن صفحة أخرى كبيرة بطبقة من سائل سمكها 2 مم ومعامل لزوجته 4 كجم / م . ث ، فإذا أثرت قوة مقدارها 2.5 نيوتن علي الصفحة الأولى فأوجد السرعة التي تتحرك بها؟

- المعطيات:

$$A = 10^{-2} \text{ م}^2 \quad d = 2 \times 10^{-3} \text{ م} \quad \eta_{vs} = 4 \text{ كجم} / \text{ م. ث} \quad F = 2.5 \text{ ن}$$

- الحل:

$$\therefore \eta_{vs} = \frac{Fd}{Av}$$
$$\Rightarrow v = \frac{Fd}{A\eta_{vs}} = \frac{2.5 \times 2 \times 10^{-3}}{10^{-2} \times 4} = 0.125 \text{ م} / \text{ ث}$$

♦ تطبيقات على اللزوجة.

♦ ♦ ♦ للزوجة تطبيقات كثيرة منها:

1 - التزييت والتشحيم.

أسبابه : عند دوران الآلات المعدنية تتولد قوى احتكاك كبيرة بين أجزائها المتلامسة وينشأ عن ذلك تولد كميات كبيرة من الحرارة تسبب تمدد بعض أجزاء الآلة وتآكلها.
الغرض من التزييت:

◁ إنقاص كمية الحرارة المتولدة أثناء الاحتكاك.

◁ حماية أجزاء الآلة من التآكل.

لذلك يجب تزييت وتشحيم الآلات من وقت لآخر.

♦ مميزات الزيت اللازم للتشحيم:

◁ أن تكون لزوجته كبيرة حتي يظل ملتصقاً بأجزاء الآلة ولا ينساب بسرعة أثناء الحركة المستمرة لتلك الأجزاء.

◁ يُستعمل لنفس الآلة في الصيف زيتاً أكبر لزوجة مما يُستعمل لها في الشتاء لأن لزوجة الزيت تقل بارتفاع درجة الحرارة .

2 - توفير إستهلاك الوقود في السيارة.

◁ عند السرعات الصغيرة نسبياً والمتوسطة للسيارة: تكون مقاومة الهواء للأجسام المتحركة فيه والناجمة عن لزوجته متناسب طردياً مع سرعة الأجسام المتحركة.

◁ عند زيادة سرعة السيارة عن حد معين أو عندما تبلغ السيارة سرعتها القصوى: فإن الشغل الكلي المبذول بواسطة الآلة والمستمد من الوقود المستهلك يُستغل معظمه ضد مقاومة الهواء للسيارة أثناء حركتها خلاله، حيث أنه في هذه الحالة لا تتناسب مقاومة الهواء الناتجة عن لزوجته مع سرعة الأجسام المتحركة بل تتناسب مع مربع السرعة مما يؤدي إلي زيادة كبيرة في إستهلاك الوقود، وبالتالي يلجأ قائد السيارة الخبير إلى الحد من سرعتها لتوفير إستهلاك الوقود.

3 - إختبار سرعة ترسيب الدم في الطب.

ويقصد بهذا الإختبار "قياس السرعة النهائية لسقوط كرات الدم الحمراء خلال سائل البلازما".

◁ فائدة إختبار سرعة الترسيب:

فحيث أن السرعة النهائية لسقوط كرات الدم الحمراء خلال سائل البلازما تتناسب طردياً مع مربع نصف قطر كرة الدم، لذا يستطيع الطبيب معرفة ما إذا كان حجم الكرات طبيعياً أو غير طبيعي بقياس سرعة الترسيب.

◁ أمثلة :

- في بعض الأمراض مثل الحمى الروماتيزمية وروماتزم القلب تتلاصق كرات الدم الحمراء مع بعضها فيزيد حجمها وتزداد تبعاً لذلك سرعة الترسيب.
- وفي بعض أمراض فقر الدم (الأنيميا) واليرقان (الصفراء) تتكسر كرات الدم الحمراء ويقل حجمها وبالتالي تقل سرعة الترسيب.

♦ ♦ تعليقات هامة ♦ ♦

1 - سرعة الدم في الشعيرات المتفرعة بطيئة جداً؟

وذلك لأن مجموع مساحات مقاطع الشعيرات يكون أكبر من مساحة مقطع الشريان الرئيسي لذا تكون سرعة الدم في الشعيرات المتفرعة بطيئة جداً تبعاً لمعادلة الإستمرارية، الأمر الذي يؤدي إلى:
◁ إتاحة الفرصة لحدوث عملية تبادل غازي الأكسجين و ثاني أوكسيد الكربون بين الشعيرات والأنسجة.

◁ إتاحة الفرصة لتزويد الأنسجة بالمواد الغذائية اللازمة، وهنا تتجلى قدرة الله سبحانه وتعالى.

2 - بعض السوائل لزوجتها كبيرة؟

لأنه ينشئ بين طبقات السائل قوي شبيهه بقوي الإحتكاك تعوق قابلية السائل للإنسياب وقدرته علي الحركة.

3 - يختار زيت تزييت الآلات المعدنية بحيث تكون لزوجته كبيرة؟

حتى يظل ملتصقاً بأجزاء الآلة ولا ينساب بسرعة أثناء الحركة المستمرة لتلك الأجزاء.

4 - لا يُستخدم الماء في عملية التزييت؟

لأن لزوجته صغيرة وسرعان ما ينساب بعيداً عن أجزاء الآلة لضعف إلتصاقه بها أثناء حركتها.

5 - زيادة سرعة السيارة عن حد معين يسبب زيادة كبيرة في إستهلاك الوقود؟

لأنه في هذه الحالة لا تتناسب مقاومة الهواء الناتجة عن لزوجته مع سرعة الأجسام المتحركة بل تتناسب مع مربع السرعة مما يؤدي إلي زيادة كبيرة في إستهلاك الوقود لبذل شغل كافٍ ضد مقاومة الهواء.

6 - إختبار سرعة ترسيب الدم يساعد الطبيب علي معرفة ما إذا كان حجم كرات الدم طبيعياً أو غير طبيعي؟

لأن السرعة النهائية لسقوط كرات الدم الحمراء خلال البلازما تتناسب طردياً مع مربع نصف قطر كرة الدم.

الوحدة الثالثة

"الحرارة"

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

المجلد السادس

«قوانين الغارات»

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الثالثة " الحرارة " الفصل السادس " قوانين الغازات "

قوانين الغازات

❖ مقدمة:

✕ نظراً لضعف قوي التماسك بين جزيئات الغاز وكبر المسافات الجزيئية فإن جزيئات الغاز تتحرك حركة عشوائية مستمرة تسمى بـ "الحركة البراونية" نسبةً إلى عالم النبات الإنجليزي "براون"، فقد وضع براون بعض جزيئات حبوب اللقاح في الماء وتتبع حركتها بواسطة ميكروسكوب فلاحظ أن حبوب اللقاح المعلقة في الماء تتأثر بحركة جزيئات الماء فتتحرك حركة عشوائية.

✕ كذلك إذا نظرنا من خلال الميكروسكوب إلى كمية من الدخان محبوسة فإننا نجد أن دقائق الكربون التي يحتوي عليها الدخان تتحرك بنفس الحركة العشوائية "البراونية" المستمرة.

❖ تفسير الحركة البراونية:

✕ يمكن تفسير الحركة في التجربة السابقة كما يلي:

- 1 - تتحرك جزيئات الهواء في جميع الاتجاهات بطريقة عشوائية وبسرعات مختلفة.
- 2 - تصطدم هذه الجزيئات مع بعضها البعض كما تتصادم مع دقائق الكربون.
- 3 - عندما يكون عدد تصادمات جزيئات الهواء مع أحد جوانب دقيقة الكربون في لحظة معينة أكبر من عدد التصادمات مع الجانب المقابل فإنها (أي دقيقة الكربون) تتحرك في اتجاه معين لمسافة قصيرة، وبالمثل تتحرك باقي دقائق الكربون نتيجة تصادمها مع جزيئات الهواء بجوانبها وتكون حركتها حركة عشوائية.

❖ الإستنتاج:

نستنتج من ذلك أن:

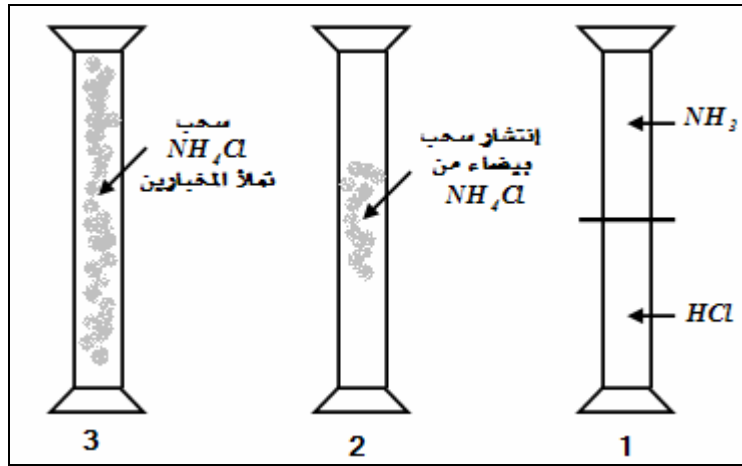
جزيئات الغاز تتحرك بحرية تامة حركة عشوائية، فهي في أثناء حركتها تتصادم مع بعضها كما تتصادم مع جدران الإناء الذي يحتوي على الغاز.

إذن يمكن تعريف "الحركة البراونية" على أنها "الحركة العشوائية المستمرة التي تتحرك بها جزيئات المائع (غاز أو سائل) وهي في أثناء حركتها تتصادم مع بعضها كما تتصادم مع جدران الإناء الحاوي لها".

❖ إنتشار الغازات.

لتوضيح كيفية إنتشار الغازات يمكن إجراء تجربة بسيطة هي:

- ✕ التجربة: ننكس مخباراً مملؤً بغاز النشادر فوق مخبار آخر مملؤً بغاز كلوريد الهيدروجين.
- ✕ الملاحظة: نشاهد تكون دخان أبيض كثيف عند فوهتي المخبارين لا يلبث أن يملأهما، وهذا يدل على أن غاز النشادر الأقل كثافة إنتشر إلى أسفل كما أن غاز كلوريد الهيدروجين الأكبر كثافة قد إنتشر إلى أعلى وتفاعل كلاً منهما كيميائياً مع الآخر الأمر الذي أدى إلى تكون الدخان الأبيض الذي هو عبارة عن كلوريد الأمونيوم، كما في الشكل التالي:



♦ الإستنتاج:

يوجد بين جزيئات الغاز مسافات بينية تسمى بـ "المسافات الجزيئية" تكون كبيرة مما يساعد على إنتشار كل غاز خلال الآخر.

< من كل ما سبق نستنتج أن الغازات تتميز بأن جزيئاتها:

1 - تتحرك حركة عشوائية وتصدم مع بعضها البعض كما تتصادم مع جدران الإناء الحاوي لها محدثةً ضغطاً على كل جدار.

2 - يوجد بينها مسافات فاصلة كبيرة تسمى بـ "المسافات الجزيئية"، فعند تعرض الغاز للضغط تتقارب الجزيئات فيقل الحجم الذي يشغله الغاز وبالتالي فإن الغازات قابلة للإنضغاط.

♦ قوانين الغازات .

♦ من المعروف أن المسافات الجزيئية في كل الأجسام الصلبة والسوائل صغيرة لذا فإن قابليتها للإنضغاط صغيرة جداً لدرجة يمكن إهمالها، بينما يختلف الوضع بالنسبة للغازات فالمسافات الجزيئية كبيرة لذا فالغازات لها قابلية عالية للإنضغاط.

♦ ولإجراء دراسة تامة حول سلوك غاز ما ينبغي أن نأخذ في الإعتبار وجود ثلاثة متغيرات هي:

1 - الحجم . 2 - الضغط . 3 - درجة الحرارة .

♦ ولإيجاد العلاقة بين هذه المتغيرات يجب أن نبحث في العلاقة بين متغيرين فقط مع تثبيت المتغير الثالث، لذا سيتم البحث في العلاقة بين:

1 - حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته (قانون بويل).

2 - حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه (قانون شارل).

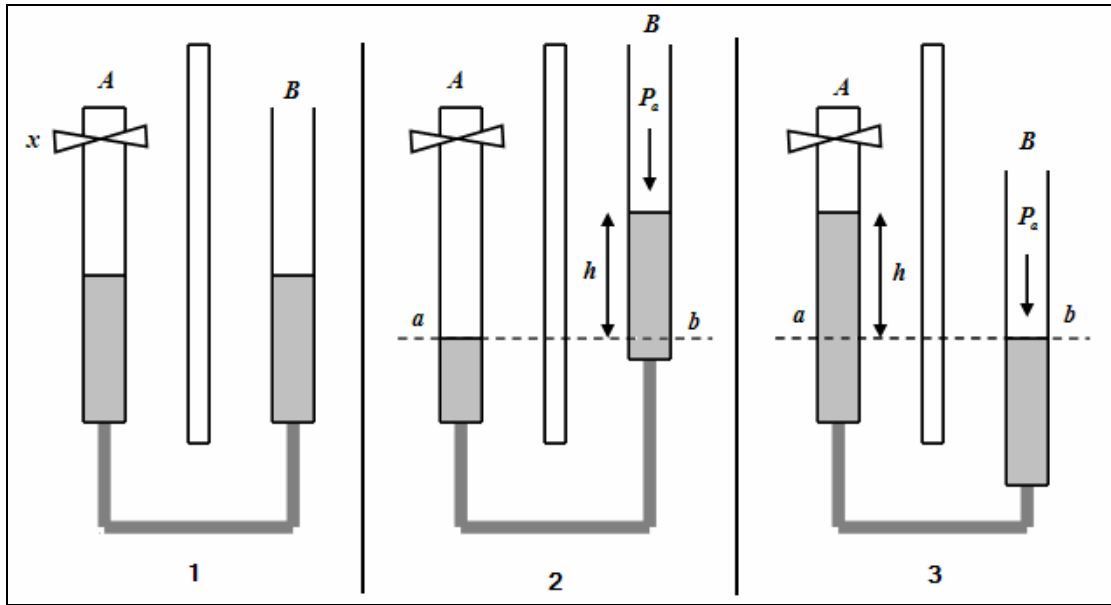
3 - ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط).

أولاً : العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة الحرارة (قانون بويل)

♦ وجد بويل أنه إذا زاد الضغط الواقع على مقدار معين من غاز إلى الضعف فإن حجمه يقل إلى النصف بشرط ثبوت درجة حرارة الغاز.

وينص قانون "بويل" على أنه "عند ثبوت درجة الحرارة يتناسب حجم كمية معينة من غاز تناسباً عكسياً مع ضغطها".

♦ ولتحقيق قانون بويل عملياً نستخدم الجهاز المبين بالشكل التالي:



ويتركب من أنبوبتين من الزجاج إحداهما A مثبتة ومدرجة إلى سنتيمترات مكعبة ويبدأ صفرتدرجها من أعلى وتنتهي بمحبس أو صنبور x والآخرى B مفتوحة من أعلى والأنبوبتين متصلتان بأنبوبة من المطاط (لسهولة الحركة).

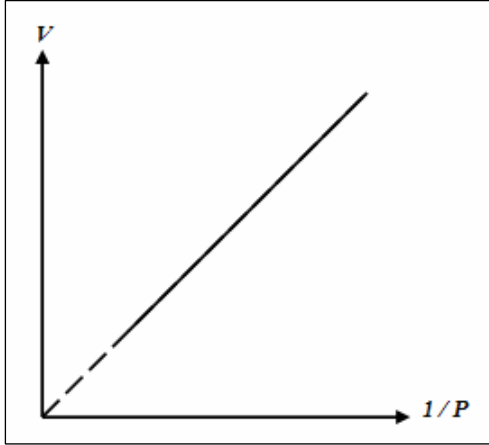
♦ خطوات العمل:

- 1 - نفتح الصنبور x ونصب زئبقاً في الأنبوبة B حتي تمتلئ كلاً من الأنبوبتين إلى نصفها تقريباً ويكون سطحا الزئبق في الفرعين في مستوي أفقي واحد.
- 2 - نقفل الصنبور x فنحبس كمية معينة من الهواء داخل الأنبوبة A ونعين حجم هذه الكمية المعينة من الهواء وليكن $(V_{ol})_1$ وضغطها P_1 ويكون الضغط في هذه الحالة هو الضغط الجوي P_o .
- 3 - نحرك الأنبوبة B إلى أعلى ونثبتها في وضع معين فنشاهد إرتفاع سطح الزئبق في كلاً من الأنبوبتين ولكن سطح الزئبق في الأنبوبة B يكون أعلى منه في الأنبوبة A كما في الشكل 2 ونعين حجم الهواء المحبوس وليكن $(V_{ol})_2$ وضغطه P_2 وكما درسنا سابقاً ومن الشكل يكون الضغط P_2 مساوياً $P_o + h$ حيث h هو الفرق بين إرتفاعي سطحي الزئبق في الأنبوبتين.
- 4 - نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل ونعين $(V_{ol})_3$ و P_3 بنفس الكيفية.

5 - نحرك الأنبوبة B إلى أسفل فينخفض سطح الزئبق فيها حتى يصبح أقل من مستواه في الأنبوبة A كما في الشكل 3 ونعين حجم الهواء المحبوس وليكن $(V_{ol})_4$ وضغطه P_4 وكما درسنا سابقاً ومن الشكل يكون الضغط P_4 مساوياً $P_a - h$.

6 - نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل ونعين $(V_{ol})_5$ و P_5 بنفس الكيفية.

7 - نرسم العلاقة البيانية بين حجم الغاز V_{ol} على المحور الرأسي (الصادي y) ومقلوب ضغط الغاز



$\frac{1}{P}$ على المحور الأفقي (السيني x) فنحصل على خط مستقيم يمر بامتداده بنقطة الأصل كما في الشكل المقابل. وهذا يثبت أن حجم الغاز V_{ol} يتناسب عكسياً مع ضغطه P عند ثبوت درجة الحرارة أي أن:

$$V_{ol} \propto \frac{1}{P}$$

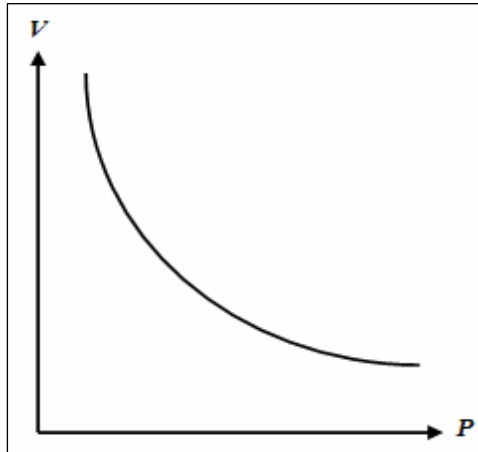
ومن العلاقة السابقة نلاحظ أن :

$$V_{ol} \propto \frac{1}{P} \Rightarrow V_{ol} = \frac{const.}{P} \Rightarrow \boxed{V_{ol}P = const.}$$

وبالتالي يمكن إعادة صياغة قانون بويل على النحو الآتي:

"عند ثبوت درجة الحرارة يكون حاصل ضرب $(V_{ol}P)$ لكمية معينة من غاز مقداراً ثابتاً".

$$V_{ol}P = const. \Rightarrow (V_{ol})_1 P_1 = (V_{ol})_2 P_2 \Rightarrow \frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{P_2}{P_1}$$



♦ ♦ ♦ ملحوظة هامة :

عند رسم العلاقة البيانية بين حجم الغاز V_{ol} على المحور الرأسي وضغط الغاز P على المحور الأفقي نحصل على المنحني المبين بالشكل المقابل . ومنه نلاحظ أنه كلما زاد ضغط الغاز قل حجمه أي أن حجم الغاز يتناسب تناسباً عكسياً مع ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة وهي نفس النتيجة التي حصلنا عليها عند رسم العلاقة البيانية بين حجم الغاز V_{ol} ومقلوب ضغط الغاز $\frac{1}{P}$.

مثال : كتلة من غاز حجمها 600 سم³، إوجد حجمها إذا نقص ضغطها بمقدار الربع مع ثبوت درجة الحرارة؟

$$(V_{ol})_1 = 600 \text{ cm}^3 \quad \diamond \quad P_1 = P \quad \diamond \quad P_2 = \frac{3}{4} P$$

الحل :

$$\Rightarrow 600 \times P = (V_{ol})_2 \times \frac{3}{4} P \Rightarrow (V_{ol})_2 = \frac{4 \times 600}{3} = 800 \text{ cm}^3$$

$$(V_{ol})_1 P_1 = (V_{ol})_2 P_2$$

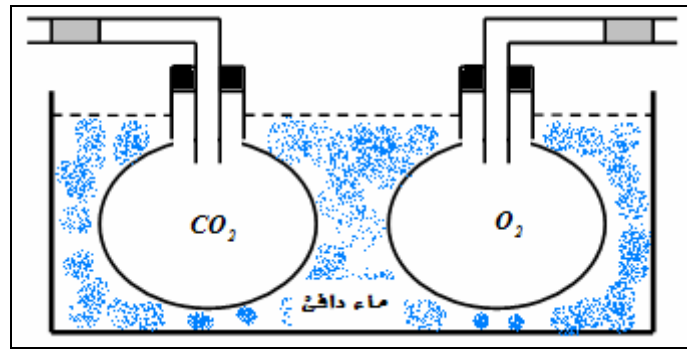
ثانياً: العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه (قانون شارل)

قبل دراسة العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه ينبغي أولاً أن ندرس تأثير الحرارة على الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة وهي تحت ضغط ثابت، ويتم ذلك عن طريق إجراء التجربة التالية:

♦ التجربة:

1 - نأخذ دورقين متساويي الحجم يحتويان على حجمين متساويين من ثاني أكسيد الكربون والأكسجين ونسد فوهة كل منهما بسداد تنفذ منه أنبوبة زجاجية منتظمة المقطع تنثني على شكل زاوية قائمة وبها خيط من الزئبق طوله 2 أو 3 سم.

2 - نضع هذين الدورقين معاً في حوض به ماء دافئ، كما بالشكل التالي:



♦ الملاحظة:

نلاحظ أن خيطي الزئبق يتحركان لمسافتين متساويتين، الأمر الذي يدل على تساوي الزيادة في حجميهما.

♦ الاستنتاج:

الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد بمقادير متساوية إذا رفعت درجة حرارتها بنفس المقدار عند ثبوت ضغطها، ومن ثم يكون معامل التمدد الحجمي لها واحداً.

وفي التجربة السابقة يكون ضغط كلاً من الغازين هو الضغط الجوي وبالتالي يكون الضغط ثابت. إذاً يمكن تعريف "معامل التمدد الحجمي للغاز تحت ضغط ثابت" على أنه "مقدار الزيادة في وحدة الحجوم من الغاز وهو عند 0° سليزية إذا رفعت درجة حرارته 1° سليزية مع ثبوت ضغطه" ويرمز له بالرمز α_v . • ولقد وجد عملياً أنه:

1 - عندما ترتفع درجة حرارة كمية معينة من غاز ثابت الضغط فإن حجمها يزداد.

2 - الزيادة في حجم الغاز ΔV_{ol} تتناسب طردياً مع كلاً من:

أ - الحجم الأصلي للغاز عند 0° سليزية أي $(V_{ol})_0$.

ب - مقدار الإرتفاع في درجة حرارته Δt .

أي أن:

$$\Delta V_{ol} \propto (V_{ol})_0 \times \Delta t \Rightarrow \Delta V_{ol} = \alpha_v (V_{ol})_0 \times \Delta t \Rightarrow \boxed{\alpha_v = \frac{\Delta V_{ol}}{(V_{ol})_0 \times \Delta t}} \rightarrow 1$$

حيث α_v هو ثابت التناسب وهو عبارة عن "معامل التمدد الحجمي للغاز تحت ضغط ثابت".

وحيث أن التغير في الحجم ΔV_{ol} = الفرق بين حجمي الغاز عند درجتين مختلفتين، فإنه إذا رفعنا درجة حرارة الغاز من 0° إلى 100° سليزية فإن حجمه يزداد من $(V_{ol})_0$ إلى $(V_{ol})_{100}$ ويصبح:

$$\Delta V_{ol} = (V_{ol})_{100} - (V_{ol})_0$$

وأيضاً يصبح مقدار الإرتفاع في درجة حرارته Δt على الصورة:

$$\Delta t = 100 - 0 = 100^\circ C$$

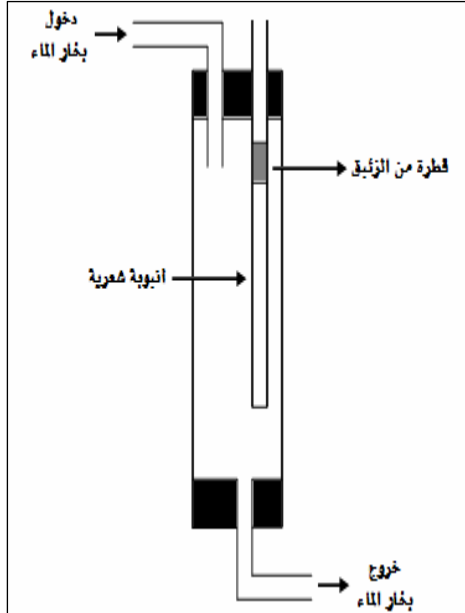
وبالتالي توؤل العلاقة رقم 1 إلى الصورة:

$$a_v = \frac{(V_{ol})_{100} - (V_{ol})_0}{(V_{ol})_0 \times 100}$$

وعموماً: عند تسخين الغاز من 0° إلى t° سليزية يكون:

$$a_v = \frac{(V_{ol})_t - (V_{ol})_0}{(V_{ol})_0 \times t}$$

♦ ولتعيين معامل التمدد الحجمي للهواء تحت ضغط ثابت نستخدم جهاز شارل الموضح بالشكل التالي:



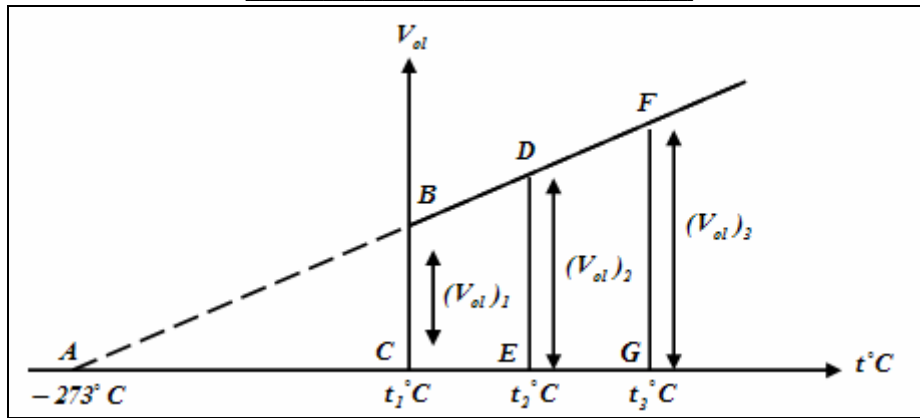
وهو يتركب من : أنبوبة زجاجية طولها 30 سم قناتها من الداخل رفيعة جداً (قطرها حوالي 1 مم) ومنتظمة المقطع مقفلة من أحد طرفيها . وتحتوي على قطرة من الزئبق تحبس كمية من الهواء داخل الأنبوبة . وتثبت الأنبوبة مع ترمومتر زئبقي (لقياس درجة الحرارة) على مسطرة مدرجة ثم توضع أفقياً وفوهتها إلى أعلى داخل غلاف من الزجاج .

♦ خطوات التجربة:

1 - يُملأ الغلاف بجليد مجروش آخذ في الإنصهار ويترك فترة مناسبة حتي يبرد الهواء المحبوس داخل الأنبوبة إلى 0° سليزية ونقيس طول عمود الهواء المحبوس وحيث أن الأنبوبة منتظمة المقطع لذا يُتخذ طول عمود الهواء مقياساً لحجمه لذا يكون حجم الهواء المحبوس في هذه الحالة هو $(V_{ol})_0$.

2 - يُفْرغ الغلاف من الجليد والماء ثم يُمرر بخار ماء في الغلاف من أعلى إلى أسفل وننتظر مدة مناسبة حتي تصبح درجة حرارة الهواء المحبوس 100° سليزية ونعين طول عمود الهواء المحبوس في هذه الحالة وليكن $(V_{ol})_{100}$ كما سبق وبيننا أنه يُتخذ مقياساً لحجمه .

3 - نرسم العلاقة البيانية بين حجم الغاز V_{ol} على المحور الرأسي ودرجة الحرارة t° بالسليزيوس على المحور الأفقي فنحصل على خط مستقيم لا يمر بنقطة الأصل ولكن إمتداده يقطع المحور الأفقي عند القيمة $(-273^\circ C)$ كما في الشكل التالي:



4 - نعين معامل التمدد الحجمي للهواء عند ثبوت الضغط من العلاقة:

$$a_v = \frac{(V_{ol})_{100} - (V_{ol})_0}{(V_{ol})_0 \times 100}$$

ومنها نجد أن معامل التمدد الحجمي للهواء عند ثبوت الضغط = $1 / 273$ لكل درجة.

وحيث أن الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد بمقادير متساوية إذا رفعت درجة حرارتها بنفس المقدار عند ثبوت ضغطها لذا يكون لمعامل التمدد الحجمي للغازات المختلفة نفس القيمة.

وهذه النتيجة صاغها "شارل" في القانون الذي يُعرف باسمه والذي ينص على أنه "عند ثبوت الضغط يزداد حجم كمية معينة من غاز بمقدار $1 / 273$ من حجمها الأصلي عند 0° سيلزيوس لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره درجة واحدة".

❖ ❖ ❖ ملاحظات هامة :

1 - يمكن إستبدال قطرة الزئبق بقطرة من حمض الكبريتيك المركز لإمتصاص بخار الماء وتجفيف الهواء الموجود في الأنبوبة.

2 - ضغط الهواء المحبوس يكون ثابتاً طول التجربة ويساوي الضغط الجوي + ضغط قطرة الزئبق (طول خيط الزئبق) عند إهمال تمدد كلاً من الزئبق والأنبوبة الزجاجية.

3 - معامل التمدد لجميع الغازات تحت ضغط ثابت = $1 / 273$ لأن جميع الغازات تتمدد بمقادير متساوية فبالتالي إذا كان لدينا:

أ - غاز حجمه 1 م^3 في 0° سيليزية ورفعت درجة حرارته 1° سيليزية تكون الزيادة في حجمه = $(1 / 273) \text{ م}^3$.

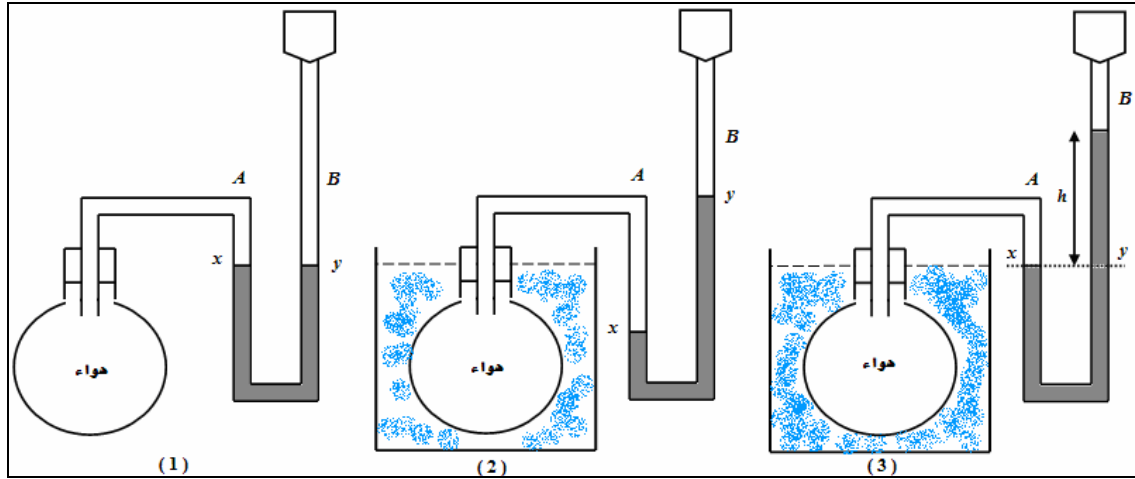
ب - غاز حجمه 20 م^3 في 0° سيليزية ورفعت درجة حرارته 1° سيليزية تكون الزيادة في حجمه = $(1 / 273 \times 20) \text{ م}^3$.

ج - غاز حجمه $(V_{ol})_0 \text{ م}^3$ في 0° سيليزية ورفعت درجة حرارته 1° سيليزية تكون الزيادة في حجمه = $(1 / 273 \times (V_{ol})_0) \text{ م}^3$.

ثالثاً: العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط)

وكما درسنا في الجزء السابق فإنه قبل دراسة العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه ينبغي أولاً أن ندرس تأثير الحرارة على ضغط الغاز عند ثبوت حجمه . ويتم ذلك عن طريق إجراء التجربة التالية:

- 1 - نحبس كمية من الهواء في دورق ثم نوصل الدورق بمانومتر زئبقي بواسطة أنبوبة من المطاط .
- 2 - نلاحظ أن سطحي الزئبق في الفرعين يكونان في مستوي أفقي واحد عند x, y (الشكل رقم 1) وبالتالي يكون ضغط الغاز المحبوس = الضغط الجوي.
- 3 - نعين درجة حرارة الهواء ولتكن t° سليزية.
- 4 - نغمر الدورق في حوض به ماء ساخن فنلاحظ إنخفاض سطح الزئبق في الفرع القصير عن x وارتفاعه عن y في الفرع الآخر (الشكل رقم 2).
- 5 - نصب زئبق في القمع حتي يعود سطح الزئبق في الفرع القصير إلى مستواه عند x وذلك ليبقى حجم الهواء ثابتاً أثناء التجربة ثم نعين درجة حرارة الهواء الساخن t_1° سليزية، عندئذ يكون ضغط الغاز المحبوس مساوياً للضغط الجوي + h أي أن ضغط الهواء المحبوس قد زاد بمقدار ضغط عمود من الزئبق إرتفاعه h سم (الشكل رقم 3).



- ♦ نستنتج من هذه التجربة أن: ضغط الغاز يزداد بزيادة درجة الحرارة عند ثبوت حجمه.
- 6 - ويتكرر التجربة السابقة عدة مرات مع تغيير نوع الغاز المحبوس في الدورق ورفع درجة حرارة كل غاز بنفس المقدار من الدرجات وتعيين الزيادة في الضغط لكل غاز مع ثبوت الحجم نجد أن الزيادة في الضغط متساوية لجميع الغازات.
- ♦ فنستنتج من ذلك أن الضغوط المتساوية للغازات المختلفة تزداد بنفس المقدار إذا رُفعت حرارتها بنفس العدد من درجات الحرارة وذلك عند ثبوت الحجم.
- وبالتالي يمكن تعريف "معامل الزيادة في ضغط الغاز تحت حجم ثابت" على أنه "مقدار الزيادة في وحدة الضغوط للغاز وهو عند 0° سليزية إذا رُفعت درجة حرارته 1° سليزية مع ثبوت حجمه" ويرمز له بالرمز β_p .

♦ ♦ ♦ وينفس الطريقة السابقة وجد عملياً أنه:

1 - عندما ترتفع درجة حرارة كمية معينة من غاز ثابت الحجم فإن ضغطها يزداد.

2 - الزيادة في ضغط الغاز ΔP تتناسب طردياً مع كلاً من:

أ - الضغط الأصلي للغاز عند 0° سليزية أي P_0 .

ب - مقدار الإرتفاع في درجة حرارته Δt .

أي أن:

$$\Delta P \propto P_0 \times \Delta t \Rightarrow \Delta P = \beta_P P_0 \times \Delta t \Rightarrow \boxed{\beta_P = \frac{\Delta P}{P_0 \times \Delta t}} \rightarrow 2$$

حيث β_P هو ثابت التناسب وهو عبارة عن "معامل الزيادة في ضغط الغاز تحت حجم ثابت".
 وكما سبق: إذا رفعنا درجة حرارة الغاز من 0° إلى 100° سليزية فإن ضغطه يزداد من P_0 إلى P_{100} ويصبح:

$$\Delta P = P_{100} - P_0$$

وأيضاً يصبح مقدار الإرتفاع في درجة حرارته Δt على الصورة:

$$\Delta t = 100 - 0 = 100^\circ C$$

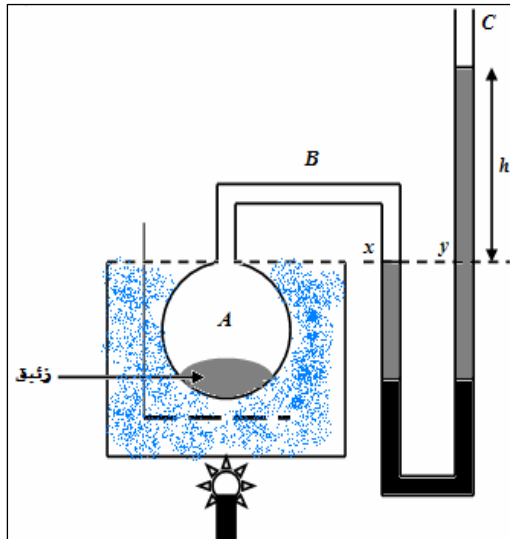
وبالتالي توؤل العلاقة رقم 2 إلى الصورة :

$$\beta_P = \frac{P_{100} - P_0}{P_0 \times 100}$$

وعموماً: عند تسخين الغاز من 0° إلى t° سليزية يكون:

$$\beta_P = \frac{P_t - P_0}{P_0 \times t}$$

♦ ولتعيين معامل الزيادة في ضغط الهواء تحت حجم ثابت نستخدم جهاز جولي الموضح بالشكل التالي:



وهو يتركب من:

1 - مستودع رقيق الجدران من الزجاج A يُملأ بالهواء الجاف ويحتوي على $1/7$ حجمه زئبق (لأن معامل التمدد الحجمي للزئبق 7 أمثال التمدد الحجمي للزجاج وبالتالي تكون الزيادة في حجم الزئبق مساوية للزيادة في حجم المستودع الزجاجي أثناء التسخين وبذلك يظل حجم الجزء المتبقي منه "حجم الهواء الجاف" ثابتاً في جميع درجات الحرارة) ويتصل المستودع بأنبوبة شعرية B تنثني على هيئة زاويتين قائمتين ومثبتة على قاعدة أفقية ترتكز على 3 مسامير محواة لجعل القاعدة رأسية تماماً.

2 - تتصل الأنبوبة B بواسطة أنبوبة من المطاط بأنبوبة أخرى C قابلة للحركة إلى أعلى وإلى أسفل وتحتوي على كمية مناسبة من الزئبق.

♦♦ خطوات التجربة:

- 1 - نعين الضغط الجوي وقت إجراء التجربة بواسطة بارومتر زئبقي.
- 2 - يُغمر المستودع الزجاجي في إناء مملؤ بجليد مجروش آخذ في الإنصهار مدة مناسبة حتي تصبح درجة حرارة ما به من هواء جاف عند 0° سليزيوس ثم نحرك الأنبوبة C إلى أعلى أو إلى أسفل حتي يستقر سطح الزئبق في الأنبوبة B إلى علامة معينة ولتكن x ثم نقيس فرق الارتفاع بين سطح الزئبق في الأنبوبتين B, C وليكن h_1 ويضاف إلى الضغط الجوي P_a فيكون ضغط الهواء المحبوس عند 0° سليزيوس هو P_0 حيث:

$$P_0 = P_a + h_1$$

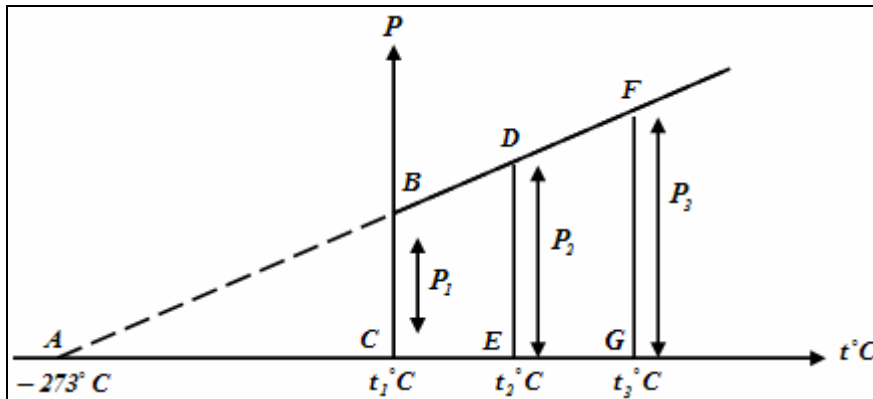
وللأهمية يجب ملاحظة أنه: إذا كان الزئبق في الفرع C أعلى منه في B يكون $P_0 = P_a + h_1$ أما إذا كان الزئبق في الفرع C منخفضاً عنه في B يكون $P_0 = P_a - h_1$.

- 3 - يسخن الإناء حتي يغلي الماء مع الإنتظار مدة كافية مع التقليب المستمر حتي تصل درجة حرارة الهواء في المستودع إلى 100° سليزيوس ثم نحرك الأنبوبة C إلى أعلى حتي يعود سطح الزئبق في الأنبوبة B إلى العلامة x (فيكون حجم الهواء ثابتاً طوال التجربة) ثم نقيس فرق الارتفاع بين سطح الزئبق في الأنبوبتين B, C وليكن h_2 ويضاف إلى الضغط الجوي P_a فيكون ضغط الهواء المحبوس عند 100° سليزيوس هو P_{100} حيث:

$$P_{100} = P_a + h_2$$

- 4 - نكرر الخطوات السابقة عدة مرات عند درجات حرارة مختلفة وفي كل مرة نحسب ضغط الهواء المحبوس بنفس الطريقة.

- 5 - نرسم العلاقة البيانية بين ضغط الغاز P على المحور الرأسي ودرجة الحرارة t° بالسليزيوس على المحور الأفقي فنحصل على خط مستقيم لا يمر بنقطة الأصل ولكن إمتداده يقطع المحور الأفقي عند القيمة $(-273^\circ C)$ كما في الشكل التالي:



- 6 - نعين معامل الزيادة في ضغط الهواء عند ثبوت الحجم من العلاقة:

$$\beta_P = \frac{P_{100} - P_0}{P_0 \times 100}$$

ومنها نجد أن معامل الزيادة في ضغط الهواء عند ثبوت الحجم = $1 / 273$ لكل درجة.

وحيث أن الضغوط المتساوية للغازات المختلفة تزداد بنفس المقدار إذا رُفعت حرارتها بنفس العدد من درجات الحرارة وذلك عند ثبوت الحجم فبالتالي يكون معامل الزيادة في ضغوط الغازات المختلفة له نفس القيمة وهي $1 / 273$ لكل درجة.

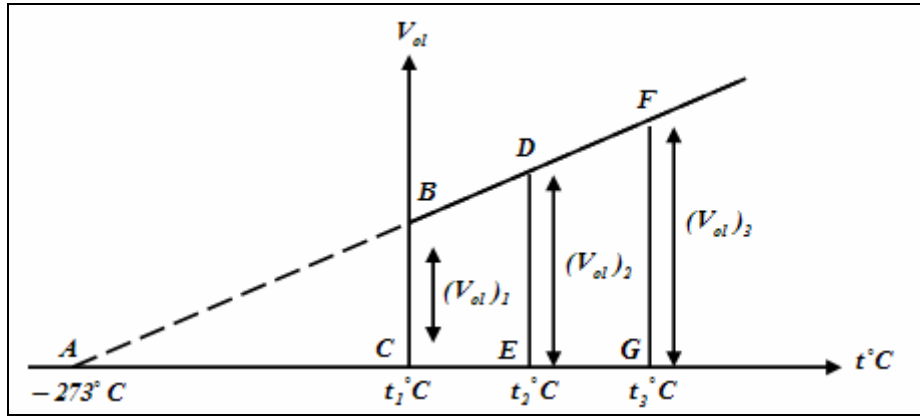
وهذه النتيجة يمكن صياغتها فيما يسمى بـ "قانون الضغط" والذي ينص على أنه "عند ثبوت الحجم يزداد ضغط كمية معينة من غاز بمقدار $1 / 273$ من ضغطها الأصلي عند 0° سيلزيوس لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره درجة واحدة".

❖ ❖ ❖ ملاحظات هامة:

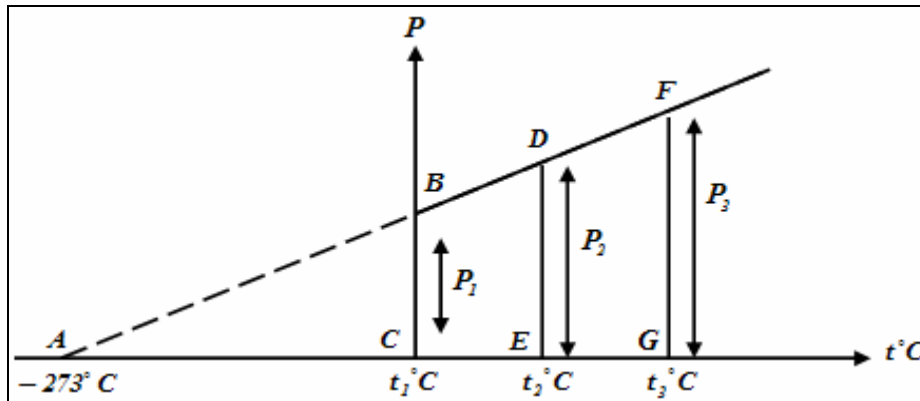
- 1 - معامل التمدد الحجمي لغاز ما عند ثبوت ضغطه = معامل الزيادة في ضغط هذا الغاز عند ثبوت حجمه $= 1 / 273$ لكل درجة.
- 2 - في التجربة السابقة يجب أن يكون المستودع جافاً تماماً من الداخل لأن وجود أي قطرة ماء تتحول إلى حجم كبير من البخار يكون له ضغط مؤثر.

❖ الصفر المطلق (صفر كلفن).

في قانون شارل وعند رسم العلاقة البيانية بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت الضغط حصلنا على خط مستقيم كما في الشكل التالي:



وفي قانون الضغط وعند رسم العلاقة البيانية بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت الحجم حصلنا على خط مستقيم كما في الشكل التالي:

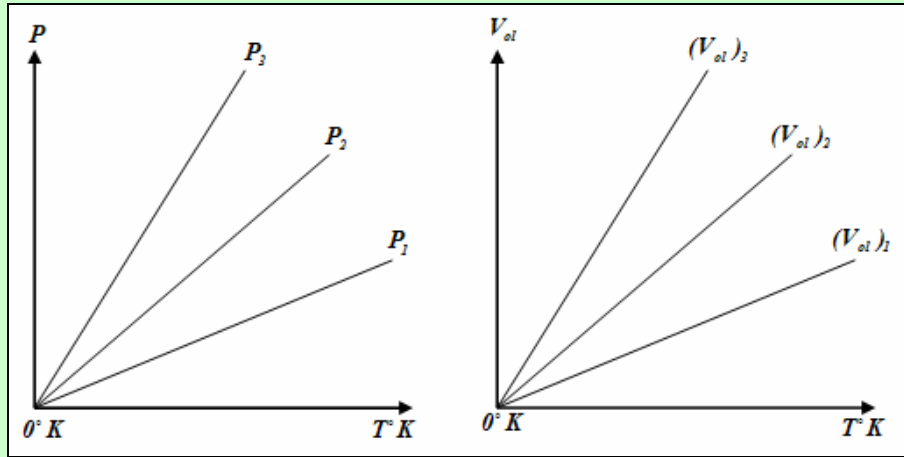


وإذا مُد الخط المستقيم في كلاً من الحالتين السابقتين في الإتجاه DB نجد أنه يقطع محور درجة الحرارة عند (-273) درجة سليزية في كل حالة كما سبق وأن بينا. الأمر الذي يدل على أن أقل درجة حرارة يمكن أن يصل الغاز إليها هي (-273) درجة سليزية وتسمى هذه الدرجة بـ "الصفر المطلق أو صفر كلفن".

❖ ويمكن تعريف "الصفر المطلق أو صفر كلفن" على أنه "درجة الحرارة التي ينعدم عندها نظرياً حجم وضغط الغاز المثالي" أو "درجة الحرارة التي ينعدم عندها نظرياً حجم كمية معينة من غاز عند ثبوت ضغطه" أو "درجة الحرارة التي ينعدم عندها نظرياً ضغط كمية معينة من غاز عند ثبوت حجمه".
❖ ودرجة الحرارة على مقياس كلفن $^{\circ}K$ قيمة موجبة دائماً بينما درجة الحرارة على مقياس سليزيوس $^{\circ}C$ تتدرج بين الموجب والسالب.

❖ الصفر المطلق.

يمكن إعادة رسم الأشكال السابقة بحيث يكون المحور الأفقي هو درجة الحرارة المطلقة لنحصل على الشكلين التاليين:

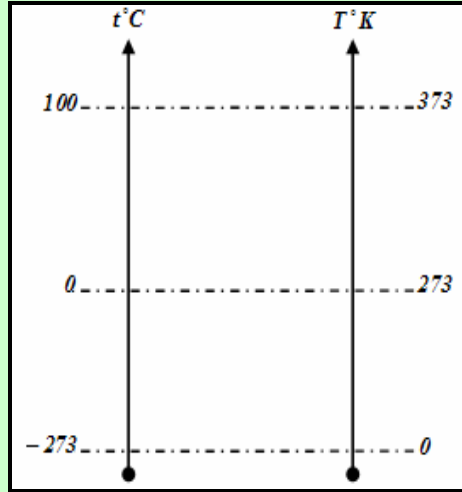


ويُلاحظ أنه عند درجة الصفر المطلق $0^{\circ}K$ يكون الحجم مساوياً للصفر ($V_{ol} = 0$) والضغط كذلك ($P = 0$) ولكن في الواقع مع التبريد الشديد يتحول الغاز إلى سائل ثم إلى صلب قبل الوصول إلى الصفر المطلق وبالتالي لا يخضع لقوانين الغازات.

وبالتالي يمكن تعريف "الغاز المثالي" بأنه "الغاز الذي يتلاشي حجمه وضغطه عند درجة الصفر المطلق".

❖ ❖ ❖ العلاقة بين تدرج سليزيوس وتدرج كلفن:

من الشكل التالي يُلاحظ أن:



درجة -273 سليزية تقابل صفر كلفن وصفر سليزيوس يقابل 273 درجة كلفن و 100 درجة سليزية تقابل 373 درجة كلفن.

فإذا رمزنا لدرجة الحرارة الكلفنية (على تدرج كلفن) بالرمز T ولدرجة الحرارة على تدرج سليزيوس بالرمز t نحصل على:

$$T^{\circ}K = t^{\circ}C + 273$$

أي أن:

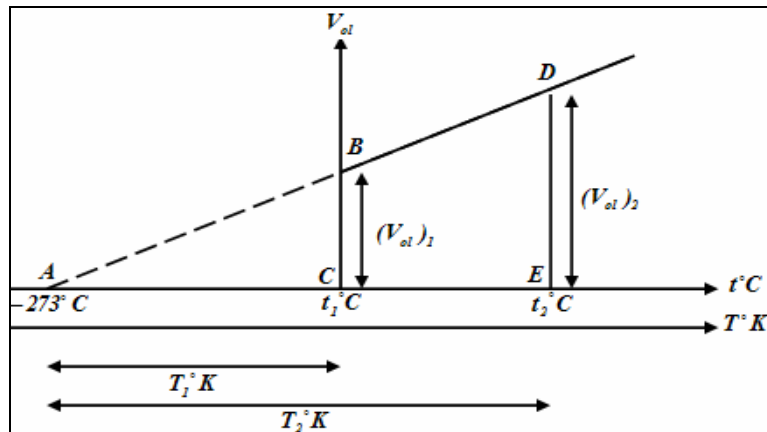
الدرجة الكلفنية $T^{\circ}K$ = الدرجة السليزية $t^{\circ}C + 273$.

مثال : درجة غليان الأكسجين السائل $= -183^{\circ}$ سليزيوس فتكون قيمتها على تدرج كلفن هي $= 90^{\circ} = 273 + (-183)$ كلفن.

♦ صيغ أخرى لقانوني شارل والضغط.

أولاً: قانون شارل:

الشكل المقابل فيه المثلثان ABC و ADE متشابهان وبالتالي يكون:



$$\frac{BC}{AC} = \frac{DE}{AD}$$

ولكن:

$$AE = T_2 \quad AC = T_1 \quad DE = (V_{ol})_2 \quad BC = (V_{ol})_1$$

أي أن:

$$\frac{(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{(V_{ol})_2}{T_2} \Rightarrow \frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

وعلى ذلك يكون:

$$\frac{V_{ol}}{T} = \text{cont.} \Rightarrow V_{ol} \propto T$$

ونحصل على الصيغة الأخرى لقانون شارل وهي "عند ثبوت الضغط يتناسب حجم كمية معينة من غاز تناسباً طردياً مع درجة حرارته المطلقة (الكلفينية)".

وفي المعادلة:

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

يمكن التعويض عن T_1, T_2 بـ: $T_1 = t_1 + 273$ و $T_2 = t_2 + 273$ لنحصل على:

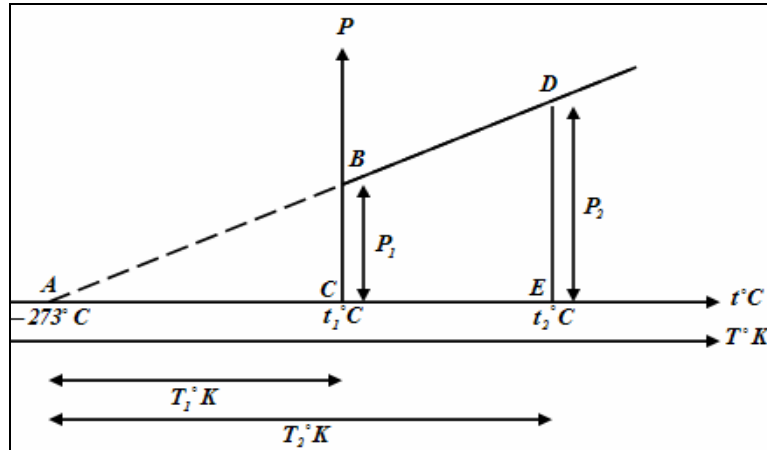
$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{t_1 + 273}{t_2 + 273}$$

ويقسمة كلا من البسط والمقام على 273 ينتج أن:

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{(1/273)t_1 + 1}{(1/273)t_2 + 1} = \frac{a_v t_1 + 1}{a_v t_2 + 1} \Rightarrow \frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{1 + a_v t_1}{1 + a_v t_2} : a_v = \frac{1}{273}$$

ثانياً: قانون الضغط:

الشكل المقابل فيه المثلثان ABC و ADE متشابهان وبالتالي يكون:



$$\frac{BC}{AC} = \frac{DE}{AD}$$

ولكن:

$$AE = T_2 \quad AC = T_1 \quad DE = P_2 \quad BC = P_1$$

أي أن:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

وعلى ذلك يكون:

$$\frac{P}{T} = \text{const.} \Rightarrow P \propto T$$

ونحصل على الصيغة الأخرى لقانون الضغط وهي "عند ثبوت الحجم يتناسب ضغط كمية معينة من غاز تناسباً طردياً مع درجة حرارته المطلقة (الكلفينية)".

وفي المعادلة:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

يمكن التعويض عن T_1, T_2 بـ: $T_1 = t_1 + 273$ و $T_2 = t_2 + 273$ لنحصل على:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{t_1 + 273}{t_2 + 273}$$

وبقسمة كلا من البسط والمقام على 273 ينتج أن:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{(1/273)t_1 + 1}{(1/273)t_2 + 1} = \frac{\beta_P t_1 + 1}{\beta_P t_2 + 1} \Rightarrow \boxed{\frac{P_1}{P_2} = \frac{1 + \beta_P t_1}{1 + \beta_P t_2}} : \beta_P = \frac{1}{273}$$

♦ القانون العام للغازات.

- يمكن إستنتاج القانون العام للغازات من الربط بين قانوني بويل حيث $V_{ol} \propto \frac{1}{P}$ قانون شارل حيث $V_{ol} \propto T$ أي أن:

$$\therefore V_{ol} \propto \frac{1}{P} \quad \& \quad V_{ol} \propto T \Rightarrow V_{ol} \propto \frac{T}{P} \Rightarrow V_{ol} = \text{const.} \times \frac{T}{P}$$

$$\boxed{\frac{PV_{ol}}{T} = \text{const.}}$$

- وإذا تغير حجم الغاز من $(V_{ol})_1$ إلى $(V_{ol})_2$ وضغطه من P_1 إلى P_2 ودرجة حرارته الكلفينية من T_1 إلى T_2 فإن:

$$\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \text{const.} \quad \& \quad \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2} = \text{const.}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2}}$$

والعلاقة السابقة هي عبارة عن "القانون العام للغازات" الذي ينص على أن "حاصل ضرب حجم كمية معينة من غاز في ضغطها مقسوماً على درجة حرارتها الكلفينية تساوي مقداراً ثابتاً".

♦ ومن القانون العام للغازات يمكن إستنتاج قوانين الغازات الأخرى على النحو التالي :

1 - عند ثبوت درجة الحرارة يكون $T_1 = T_2$ وبالتالي نحصل على:

$$\boxed{P_1(V_{ol})_1 = P_2(V_{ol})_2}$$

وهذا هو قانون بويل.

2 - عند ثبوت الضغط يكون $P_1 = P_2$ وبالتالي نحصل على:

$$\frac{(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{(V_{ol})_2}{T_2}$$

وهذا هو قانون شارل.

3 - عند ثبوت الحجم يكون $(V_{ol})_1 = (V_{ol})_2$ وبالتالي نحصل على:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

وهذا هو قانون الضغط.

♦ كما إتفق العلماء على ما يسمى بـ "معدل الضغط ودرجة الحرارة (م . ض . د . $S.T.P$)" وفيه يكون:

1 - الضغط = 0.76 م . زئبق = 1.013×10^5 نيوتن / م².

2 - درجة الحرارة = 0 درجة سيليزيوس = 273 درجة كلفينية.

3 - الحجم الذي يشغله المول من أي غاز = 22.4 لتر = 22.4×10^{-3} م³.

وبالتعويض بهذه البيانات في المعادلة:

$$\frac{P V_{ol}}{T} = const.$$

يكون:

$$\frac{P V_{ol}}{T} = \frac{1.013 \times 10^5 \times 22.4 \times 10^{-3}}{273} = 8.31 \text{ Joule} / ^\circ K$$

والمقدار $8.31 \text{ Joule} / ^\circ K$ يسمى بـ "الثابت العام للغازات" الذي يرمز له بالرمز R أي أن:

$$R = 8.31 \text{ Joule} / ^\circ K$$

ويمكن تعريفه بأنه "كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة مول واحد من الغاز درجة واحدة كلفينية $1^\circ K$ ".

حيث أن وحدة المقدار $P V_{ol}$ هي الجول $Joule$ الذي هو وحدة الطاقة، إذاً:

$$\frac{P V_{ol}}{T} = R \Rightarrow P V_{ol} = RT$$

وذلك لوحد مول من الغاز، وإذا كان عدد المولات من الغاز هو n مول يكون:

$$P V_{ol} = nRT$$

♦ ♦ ♦ ملحوظة هامة جداً:

عند خلط عدد من الغازات التي لا تتفاعل مع بعضها البعض في حيز واحد فإن:

1 - كل غاز يشغل حجماً مساوياً لحجم الحيز كله.

2 - كل غاز في الخليط لو ضغط خاص به.

3 - الضغط الكلي للخليط = مجموع ضغوط الغازات، أي:

$$P = P_1 + P_2 + \dots\dots\dots$$

♦♦♦ مثال محلول:

مقدار من غاز النيتروجين حجمه 15 لتر عندما يكون الضغط الواقع عليه 12 سم زئبق، ومقدار من الأوكسجين حجمه 10 لتر عندما كان الضغط الواقع عليه 50 سم زئبق، وضعا في إناء مقفل سعته 5 لتر فإذا كانت درجة حرارة الغازين ثابتة أثناء خلطهما فأوجد ضغط المزيج؟

المعطيات:

$$V_{ol}(N_2)_{before} = 15 Lts \quad \diamond \quad P(N_2)_{before} = 12 cmHg \quad \diamond \quad V_{ol}(O_2)_{before} = 10 Lts$$
$$P(O_2)_{before} = 50 cmHg \quad \diamond \quad V_{ol}(N_2)_{after} = V_{ol}(O_2)_{after} = 5 Lts$$

الحل:

أولاً: إيجاد ضغط غاز النيتروجين بعد الخلط:

$$(P(V_{ol}))_{before} = (P_1(V_{ol}))_{after} \Rightarrow 15 \times 12 = P_1 \times 5 \Rightarrow P_1 = \frac{15 \times 12}{5} = 36 cmHg$$

ثانياً: إيجاد ضغط غاز الأوكسجين بعد الخلط:

$$(P(V_{ol}))_{before} = (P_2(V_{ol}))_{after} \Rightarrow 10 \times 50 = P_2 \times 5 \Rightarrow P_2 = \frac{10 \times 50}{5} = 100 cmHg$$

وبالتالي يكون الضغط الكلي للخليط هو:

$$P = P_1 + P_2 = 36 + 100 = 136 cmHg.$$

♦♦♦ تعليقات هامة ♦♦♦

1 - الغازات قابلة للإنضغاط؟

لوجود مسافات جزيئية كبيرة بين الغازات.

2 - زيادة حجم الغاز يسبب نقصاً في ضغطه بفرض ثبوت درجة الحرارة؟

لأن زيادة الحجم معناها زيادة الحيز الذي تتحرك فيه الجزيئات فيقل معدل التصادم فينقص الضغط.

♦ وهناك تعليقات أخرى مذكورة مع الشرح تم بحمد الله تعالى وتوفيقه.

الفصل السابع

نظرية الحركة للفايزات

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الثالثة " الحرارة " الفصل السابع " نظرية الحركة للغازات "

نظرية الحركة للغازات

❖ مقدمة:

لاحظ العلماء أن الغازات تسلك في بعض الحالات سلوكاً واحداً وتتبع قوانين واحدة بخلاف الأجسام الصلبة والسوائل لذا حاولوا تفسير سلوك الغازات عند طريق فرض عدة فروض تحدد شكل جزيئات الغاز وحركتها وما يحدث بينها من تصادم، وقد جمعت هذه الفروض وسُميت بـ "نظرية الحركة للغازات".

❖ ❖ فروض نظرية الحركة للغازات ❖ ❖

- 1 - يتكون الغاز من جزيئات غاية في الصغر يمكن اعتبارها كرات تامة المرونة تتبع قوانين نيوتن للحركة.
- 2 - المسافات الجزيئية الفاصلة بين الجزيئات كبيرة نسبياً لذلك يمكن إهمال حجم الجزيئات المكونة للغاز مجتمعة بالنسبة إلى الحجم الذي يشغله الغاز نفسه.
- 3 - قوي التماسك الجزيئية بين جزيئات الغاز ضعيفة جداً لذا يمكن إهمالها وبالتالي فإن طاقة الوضع للجزيئات تكون صفراً أي أن جزيئات الغاز لا تؤثر على بعضها البعض ومن ثم فإن متوسط المسافة التي يتحرك فيها الجزيئي قبل التصادم مع جزيئي آخر (أو ما يسمى بـ "متوسط المسار الحر" للجزيئي) لا يتوقف على كتلة جزيئي الغاز، أي أن هذه المسافة واحدة لكل الغازات عند نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة ولهذا السبب فإن حجم معين من غاز موجود في معدل الضغط ودرجة الحرارة (م . ض . د . $S.T.P$) يحتوي على نفس العدد من الجزيئات بصرف النظر عن نوعية الغاز.
- 4 - تتحرك جزيئات الغاز بحرية تامة حركة عشوائية مستمرة تسبب تصادمها مع بعضها البعض وتصادمها مع جدران الإناء الحاوي لها وتتحرك الجزيئات بين التصادمات المتتالية في خطوط مستقيمة.
- 5 - التصادمات الحادثة بين جزيئات الغاز ومع جدران الإناء تكون تصادمات مرنة، بمعنى أن طاقة الحركة لجزيئات الغاز تظل ثابتة قبل وبعد التصادم.
- 6 - الغاز في إتزان حراري مع الإناء الحاوي له.

❖ ❖ تذكيرة كيميائية سريعة ❖ ❖

من المعروف أن أي ذرة تتكون من نواة موجبة (تحتوي على بروتونات موجبة ونيوترونات متعادلة) وإلكترونات سالبة تدور حول النواة.
وحيث أن كتلة البروتون m_p تساوي تقريباً (1840) مرة كتلة الإلكترون m_e وكتلة البروتون تساوي تقريباً كتلة النيوترون m_n لذا يمكن إهمال كتلة الإلكترونات بالنسبة لكتلة كلاً من البروتونات والنيوترونات وبالتالي تتركز كتلة الذرة في النواة.

كما تُعرف أي ذرة بعددين، الأول هو العدد الذري ويرمز له بالرمز Z وهو يمثل عدد الشحنات الموجودة على النواة أي يمثل عدد البروتونات n_p كما يساوي عدد الإلكترونات n_e في الذرة المتعادلة كهربياً أي أن:

$$Z = n_p = n_e$$

ولكل عنصر عدد ذري يختلف عنه بالنسبة لعنصر آخر.

أما الثاني: فهو العدد الكتلي الذي يرمز له بالرمز A وهو يمثل العدد الكلي للبروتونات والنيوترونات في نواة الذرة أي أن:

$$A = n_p + n_n = Z + n_n \Rightarrow n_n = A - Z$$

حيث n_n هو عدد النيوترونات في النواة، والعدد الكتلي عدد صحيح دائماً.

ويتم التعبير عن أي عنصر بكتابة العدد الكتلي A أعلى يسار الرمز المميز للعنصر ويكتب العدد الذري Z أسفل يسار العنصر على النحو التالي:

$${}^A_Z \text{Symbol}$$

فمثلاً الرمز ${}^{12}_6\text{C}$ يدل على أن ذرة الكربون لها عدد كتلي 12 وعدد ذري 6 أي أن تحتوي على 6 بروتونات و 6 نيوترونات وبالطبع 6 إلكترونات.

♦ النظائر: هي صور مختلفة لذرة العنصر الواحد لها نفس العدد الذري ولكنها تختلف في العدد الكتلي. أي أن لها نفس عدد البروتونات وبالتالي عدد الإلكترونات وتختلف في عدد النيوترونات أي أن نظائر العنصر لها كتل مختلفة مثل: ${}^{13}_6\text{C}$ و ${}^{12}_6\text{C}$.

♦ ♦ المول ♦ ♦

♦ بدايةً نذكر بأن: الكتلة الذرية الجرامية لعنصر هي عبارة عن الكتلة الذرية لهذا العنصر مُقدّره بالجرام، أما الكتلة الجزيئية الجرامية لمادة فهي عبارة عن الكتلة الجزيئية لهذه المادة مُقدّره بالجرام. ♦ وبالتالي يكون:

☒ "المول من المادة" عبارة عن "الكتلة الجزيئية الجرامية لهذه المادة مُقدّره بالكيلوجرام" أي "الكتلة الجزيئية الجرامية مقسومة على 1000".

☒ و "المول من عنصر" هو "الكتلة الذرية الجرامية لهذا العنصر مُقدّره بالكيلوجرام" أي "الكتلة الذرية مقسومة على 1000".

♦ ♦ أمثلة:

- الوزن الذري للألومنيوم = 27.

الكتلة الذرية الجرامية للألومنيوم = 27 جم.

المول من الألومنيوم = 0.027 كجم.

- الوزن الجزيئي للماء = 18.

الكتلة الجزيئية الجرامية للماء = 18 جم.

المول من الماء = 0.018 كجم.

❖ ❖ عدد أفوجادرو ❖ ❖

- ✕ من المعروف أن الكميات المختلفة من أي مادة تحتوي على عدد كبير جداً من الذرات أو الجزيئات ومهما كانت الكمية المأخوذة من المادة صغيرة فإن عدد الذرات أو الجزيئات بها يكون هائلاً.
- ✕ لذلك من المناسب أن يتم التعبير عن مثل هذه الأعداد الكبيرة للذرات أو الجزيئات المكونة للمادة بوحدة محددة متفق عليها كالمول.
- ✕ وقد اتفق على أن يحتوي المول من أي مادة على عدد من الذرات أو الجزيئات مساوياً لعدد ذرات الكربون ($^{12}_6C$) الموجودة في 12 جرام من الكربون ($^{12}_6C$).
- ✕ كما بينت التجارب العملية أن 12 جرام من الكربون ($^{12}_6C$) تحتوي على 6.023×10^{23} ذرة من الكربون ($^{12}_6C$) ويسمى هذا العدد بـ "عدد أفوجادرو" الذي يمكن تعريفه على أنه "عدد الجزيئات (أو الذرات) الموجودة في مول واحد من المادة (أو الفلز) ويساوي 6.023×10^{23} جزئ (أو ذرة)".

❖ ❖ قانون أفوجادرو ❖ ❖

ينص "قانون أفوجادرو" على أن:
 "الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تحتوي على نفس العدد من الجزيئات عند نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة".

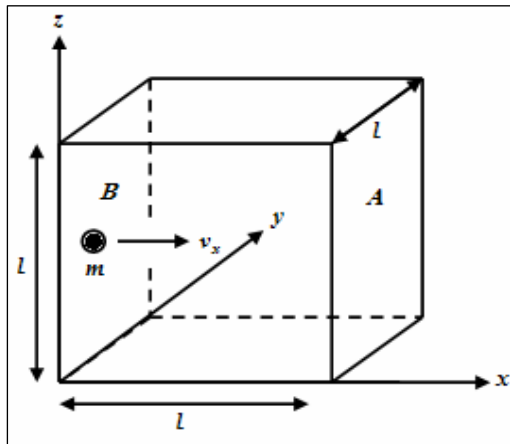
❖ ❖ استخدام فروض نظرية الحركة للغازات في حساب كثافة وضغط ودرجة حرارة الغاز ❖ ❖

❖ أولاً : حساب كثافة الغاز ❖

فإذا كان لدينا كمية من الغاز كتلتها M وحجمها V_{ol} تحتوي على عدد N من الجزيئات وكتلة الجزيء الواحد هي m فإن كثافة الغاز تُعطي من العلاقة التالية:

$$\rho = \frac{M}{V_{ol}} \Rightarrow \boxed{\rho = \frac{Nm}{V_{ol}}} \quad kg / m^3 \rightarrow 1$$

❖ ثانياً : حساب ضغط الغاز ❖



- 1 - نتصور صندوقاً مكعباً طول ضلعه l م يحتوي على غاز حجمه V_{ol} م³ وأن جزيئات هذا الغاز تتصادم باستمرار مع جدران الصندوق.
- 2 - بفرض جزيء كتلته m يتحرك في اتجاه عمودي على أحد أوجه الصندوق وليكن الوجه A بسرعة قيمتها المتوسطة v ومركبتها في الاتجاه x هي v_x (كما بالشكل التالي) فيصطدم معه تصادماً مرناً ويرتد في الاتجاه المعاكس بنفس السرعة فتكون كمية الحركة

الخطية قبل التصادم هي mv_x وكمية الحركة الخطية بعد التصادم هي $-mv_x$ - والإشارة السالبة لأن اتجاه سرعة الجزيء بعد التصادم يكون مضاداً للاتجاه الأول (لأن التصادم مرن).
♦ وبالتالي يكون التغير في كمية الحركة الخطية للجزيء نتيجة الصدمة $\Delta P'_l$ هو:

$$\Delta P'_l = mv_x - (-mv_x) = 2mv_x$$

3 - عندما يحدث الجزيء صدمة واحدة مع الجدار A فإنه يرتد في الاتجاه المعاكس قاطعاً مسافة قدرها $2l$ قبل أن يصطدم بالجدار B ، أي أن المسافة المقطوعة لإحداث صدمة واحدة $= 2l$ وبالتالي يُعطى عدد تصادمات الجزيء من العلاقة:

$$\text{عدد تصادمات الجزيء} = \frac{\text{المسافة الكلية التي يقطعها الجزيء} (v_x t)}{\text{مسافة الصدمة الواحد} (2l)}$$

ويكون عدد التصادمات في الثانية الواحد = المسافة الكلية المقطوعة (v_x) ÷ مسافة الصدمة الواحد $(2l)$ ،
أي أن:

$$\frac{v_x}{2l} = \text{عدد التصادمات في الثانية الواحد}$$

4 - مقدار التغير الكلي في كمية الحركة الخطية للجزيء الواحد في الثانية نتيجة اصطدامه بالجدار ΔP_l = عدد التصادمات في الثانية × التغير في كمية الحركة الخطية لكل صدمة، أي أن:

$$\Delta P_l = \frac{v_x}{2l} \times 2mv_x = \frac{mv_x^2}{l}$$

وكما درسنا في الصف الأول ... فإن القوة التي يؤثر بها الجزيء الواحد f على السطح تُعطي من العلاقة:

$$f = \frac{\Delta P_l}{\Delta t}$$

وبالتالي فإن القوة التي يؤثر بها الجزيء على السطح في الثانية الواحدة هي:

$$f = \Delta P = \frac{mv_x^2}{l} \quad : \quad \Delta t = 1 \text{ sec}$$

5 - وعندما يكون عدد جزيئات الغاز هو N فإن القوة الكلية على جدار الصندوق F تصبح:

$$F = \frac{Nmv_x^2}{l}$$

وبالتالي يُعطي الضغط من العلاقة:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{Nmv_x^2}{l \times l^2} \Rightarrow P = \frac{Nmv_x^2}{l^3}$$

حيث A هي مساحة سطح الجدار وتساوي l^2 ، وحيث أن حجم الصندوق V_{ol} يساوي l^3 فإن:

$$P = \frac{Nmv_x^2}{V_{ol}} \rightarrow 2$$

6 - والنتيجة السابقة على اعتبار أن الغاز يتحرك في اتجاه واحد، ولكن في الحقيقة فإن جزيئات الغاز تتحرك في ثلاث اتجاهات هي x, y, z وبالتالي نجد أن السرعة المتوسطة تُعطي من العلاقة:

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

وحيث أن احتمالية حركة الجزيئات في الاتجاهات الثلاثة متساوية لذا يكون:

$$v_x^2 = v_y^2 = v_z^2$$

أي أن:

$$v^2 = 3v_x^2 \Rightarrow v_x^2 = \frac{1}{3}v^2$$

وبالتعويض في المعادلة 2 نحصل على:

$$P = \frac{Nmv^2}{3V_{ol}} \Rightarrow P = \frac{1}{3} \frac{Nm}{V_{ol}} v^2$$

لكن:

$$\rho = \frac{Nm}{V_{ol}}$$

إذاً:

$$P = \frac{1}{3} \rho v^2 \rightarrow 3$$

ومن العلاقة السابقة يمكن إيجاد ضغط الغاز P بمعرفة كثافته ρ ومتوسط مربع سرعة جزيئاته v^2 .

♦ ثالثاً : حساب درجة حرارة الغاز ♦

♦ من خلال القانون العام للغازات الذي تم إثباته في الفصل السابق وجدنا أن:

$$PV_{ol} = nRT \rightarrow 4$$

حيث n هي عدد مولات الغاز.

♦ ومن معادلة الضغط رقم 3 نجد أن:

$$P = \frac{1}{3} \frac{Nmv^2}{V_{ol}} \Rightarrow PV_{ol} = \frac{1}{3} Nmv^2 \rightarrow 5$$

حيث N هي عدد جزيئات الغاز التي هي عبارة عن عدد الجزيئات الموجودة في المول الواحد $N_A \times$ عدد المولات n أي:

$$N = N_A \times n \Rightarrow n = \frac{N}{N_A}$$

من 4 و 5 ينتج أن:

$$nRT = \frac{1}{3} Nmv^2 \quad \frac{N}{N_A} RT = \frac{1}{3} Nmv^2 \quad \frac{R}{N_A} T = \frac{1}{3} mv^2 \times \frac{2}{2}$$

$$\left(\frac{R}{N_A} \right) T = \frac{2}{3} \left(\frac{mv^2}{2} \right)$$

لكن المقدار الثابت $\left(\frac{R}{N_A} \right)$ يساوي ثابت آخر يسمى بـ " ثابت بولتزمان " ويرمز له بالرمز k حيث:

$$k = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ Joule} / ^\circ K$$

ويمكن تعريف " ثابت بولتزمان " على أنه " كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة جزئ واحد من الغاز درجة واحدة كلفينية $1^\circ K$ ".

وبالتالي يكون:

$$kT = \frac{2}{3} \left(\frac{mv^2}{2} \right) \quad \boxed{\frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} mv^2} \quad \rightarrow 6$$

ومنها يمكن إيجاد درجة حرارة الغاز بالتدريج المطلق بمعرفة متوسط طاقة حركة جزيئ الغاز $(\frac{1}{2} mv^2)$.

♦ ♦ ♦ ومن المعادلة السابقة يمكن أن نستنتج عدة ملاحظات هامة:

- 1 - متوسط طاقة الحركة في (م . ض . د) متساوية لجزيئات جميع الغازات وذلك لأنها تتوقف فقط على درجة الحرارة الكلفينية للغاز.
- 2 - هذه المعادلة لا تنطبق فقط على الغازات ولكنها تنطبق أيضاً على أي جسيمات حرة منفردة تتحرك حركة عشوائية مثل الإلكترونات الحرة أو الذرات المنفردة.
- 3 - متوسط مربع سرعة جزيئات الغاز لا يتوقف على ضغطه بل على درجة حرارته الكلفينية.
- 4 - طاقة الحركة المذكورة في المعادلة السابقة هي للإتجاهات الثلاثة أي $(3/2)kT$ وبالتالي فإن طاقة الحركة لكل إتجاه هي $(1/2)kT$.
- 5 - عند الصفر المطلق:
 - تنعدم طاقة حركة جزيئات الغاز.
 - ينعدم متوسط مربع سرعة جزيئ الغاز.
 - تنعدم كمية حركة الجزيئ.

♦ ♦ ♦ ملاحظات هامة ♦ ♦ ♦

1 - كتلة الغاز M = كتلة الجزيئ الواحد m × عدد الجزيئات N أي:

$$M = m \times N \quad \Rightarrow \quad m = \frac{M}{N}$$

وفي حالة مول واحد من الغاز تكون:

كتلة المول M' = كتلة الجزيئ الواحد m × عدد أفوجادرو N_A أي :

$$M' = m \times N_A \quad \Rightarrow \quad m = \frac{M'}{N_A}$$

2 - عدد جزيئات الغاز N = عدد المولات n × عدد الجزيئات التي يحتوي عليها المول N_A .

$$N = n \times N_A \quad \Rightarrow \quad n = \frac{N}{N_A}$$

3 - عدد جزيئات الغاز N = حجم الغاز V_{ol} × عدد الجزيئات الموجودة في وحدة الحجم منه N' .

$$N = V_{ol} \times N' \quad \Rightarrow \quad N' = \frac{N}{V_{ol}}$$

♦ ♦ ♦ مثال محلولة:

احسب عدد الجزيئات الموجودة في وحدة الحجم من غاز الأوكسيجين في (م . ض . د . S.T.P) إذا كان جذر متوسط مربع الجزيئات يساوي 4.63×10^2 م / ث وكانت كتلة الجزيء الواحد هي 52.8×10^{-27} كجم؟

المعطيات:

$$P = 1.013 \times 10^5 \text{ N / m}^2 \quad \diamond \quad m = 52.8 \times 10^{-27} \text{ kg} \quad \diamond \quad v = 4.63 \times 10^2 \text{ m / sec}$$

الحل:

$$\therefore P = \frac{1}{3} \frac{Nmv^2}{V_{ol}} \Rightarrow P = \frac{1}{3} \left(\frac{N}{V_{ol}} \right) mv^2 = \frac{1}{3} N' mv^2$$

حيث N' هي عدد الجزيئات الموجودة في وحدة الحجم من الغاز.

$$\Rightarrow N' = \frac{3P}{mv^2} = \frac{3 \times 1.013 \times 10^5}{52.8 \times 10^{-27} \times (4.63 \times 10^2)^2}$$

$$N' = 2.699 \times 10^{25} \text{ Molecules / m}^3$$

♦ ♦ ♦ مثال محلولة:

وضع غاز النيتروجين في إناء عند (م . ض . د . S.T.P) فأحسب جذر متوسط مربع سرعات جزيئاته إذا كان المول من النيتروجين كتلته 0.028 كجم وعدد أفوجادرو 6.023×10^{23} وثابت بولتزمان $1.38 \times 10^{-23} \text{ Joule / } ^\circ \text{K}$ والضغط المؤثر هو $1.013 \times 10^5 \text{ N / m}^2$ ؟

المعطيات:

$$N_A = 6.023 \times 10^{23} \quad \diamond \quad k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ Joule / } ^\circ \text{K} \quad \diamond \quad P = 1.013 \times 10^5 \text{ N / m}^2$$

$$T = 273^\circ \text{K} \quad \diamond \quad M' = 0.028 \text{ kg} \quad \diamond \quad V_{ol} = 22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

الحل:

من خلال المعطيات يمكن إيجاد الحل بطريقتين، الأولى من العلاقة:

$$P = \frac{1}{3} \frac{M' v^2}{V_{ol}} \Rightarrow v^2 = \frac{3PV_{ol}}{M'} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{3PV_{ol}}{M'}}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{3 \times 1.013 \times 10^5 \times 22.4 \times 10^{-3}}{0.028}} = 493 \text{ m / sec}$$

والثانية من العلاقة :

$$\frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} mv^2 \Rightarrow v^2 = \frac{3kT}{m} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$\therefore T = 273^\circ \text{K} \quad \& \quad m = \frac{M'}{N_A} = \frac{0.028}{6.023 \times 10^{23}}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{3 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 273 \times 6.023 \times 10^{23}}{0.028}} = 493 \text{ m / sec}$$

♦ ♦ ♦ تعليقات هامة ♦ ♦ ♦

- 1 - قوي التماسك الجزيئية بين جزيئات الغاز ضعيفة جداً؟
لأن المسافات الجزيئية الفاصلة بين هذه الجزيئات كبيرة جداً.
- 2 - طاقة الحركة لجزيئات الغاز تظل ثابتة قبل وبعد التصادم؟
لأن جزيئات الغاز يمكن إعتبارها كرات صغيرة تامة المرونة وبالتالي تصطدم مع بعضها ومع جدران الإناء الحاوي تصادمات مرنة.
- 3 - يكون الضغط داخل إطار سيارة عند نهاية رحلة طويلة أكبر من الضغط داخله عند بدء الرحلة؟
لأنه أثناء الرحلة ترتفع درجة حرارة الإطار فيسخن الهواء الموجود داخله فيزداد جذر متوسط مربع جزيئات الغاز وبالتالي الضغط وذلك بفرض ثبوت حجم الإطار.
- 4 - عندما ينقص حجم الغاز يزداد ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة؟
لأن المسافة التي يقطعها الجزيء في كل تصادم عمودي على جدران الإناء تقل وبالتالي يزداد عدد التصادمات الحادثة في الثانية على وحدة المساحات فيزداد الضغط.
- 5 - عدد الذرات أو الجزيئات في وحدة الحجم من الغاز ثابت لجميع الغازات في م . ض . د $S.T.P$ ؟
لأنه في (م . ض . د $S.T.P$) يشغل المول من الغاز حجماً قدره $22.4 \times 10^{-3} m^3$ وحيث أن المول من الغاز يحتوي على أفوجادرو من الذرات أو الجزيئات لذا يُعطي عدد الجزيئات في وحدة الحجم N' من العلاقة:
$$N' = \frac{N_A}{V_{ol}} = \frac{6.023 \times 10^{23}}{22.4 \times 10^{-3}} = 2.69 \times 10^{25} \text{ Mol. / } m^3$$

وهو ثابت لجميع الغازات.

الفصل الثامن

«فيزياء درجات الحرارة المنخفضة»

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الثالثة " الحرارة " الفصل الثامن " التبريد "

فيزياء درجة الحرارة المنخفضة " التبريد "

❖ مقدمة:

فيزياء درجة الحرارة المنخفضة أو "علم التبريد" هو "العلم الذي يهتم بدراسة خواص المواد عند درجات الحرارة المنخفضة التي تقترب من الصفر المطلق (صفر كلفن) والتي تقابل $(-273^{\circ}C)$ ". والمقياس المستخدم في هذه الحالة هو مقياس كلفن والذي يعتمد على سلوك الغاز المثالي.

❖ ❖ تأثير فان در فالز ❖ ❖

من خلال درستنا السابقة لقوانين الغازات ونظرية الحركة وجدنا أن القانون العام للغازات التالي:

$$PV_{ol} = nRT$$

ينطبق فقط على الغازات المثالية في جميع الظروف من الضغط ودرجة الحرارة حيث أن سلوك الغازات الحقيقية يختلف عن سلوك الغازات المثالية عند الضغوط العالية ودرجة الحرارة المنخفضة جداً.

فالغاز المثالي: هو ذلك الغاز الذي يتبع قوانين الغازات المعروفة عند جميع الضغوط ودرجات الحرارة. أما الغاز الحقيقي: فهو الغاز الذي يتبع هذه القوانين عند درجات الحرارة العالية والضغط المنخفض.

❖ ولقد اقترح العالم "فان در فالز" أن السبب الأساسي لحيود الغازات الحقيقية عن الغازات المثالية قد نتج عن إقحام فرضين في نظرية الحركة للغازات، يتعلق الفرض الأول:

- بإفترض إهمال حجم جزيئات الغاز مقارنةً بحجم الإناء الحاوي (أي الحجم الكلي الذي يشغله الغاز). والثاني:

- إهمال قوي التجاذب بين جزيئات الغاز وبعضها البعض. فطبقاً للمعادلة السابقة ينبغي أن يكون حجم الغاز مساوياً للصفر عند الضغوط العالية جداً ودرجة الصفر المطلق.

إلا أن ذلك يتعارض مع التجارب العملية فعند تبريد الغازات الحقيقية فإنها تتكثف وتتحول إلى سوائل ثم تتجمد في نهاية الأمر وبالتالي لا يتغير الحجم عندئذ بصورة ملحوظة بزيادة الضغط. ❖ تفسير ذلك:

عند تبريد الغازات الحقيقية تقل طاقة حركة الجزيئات كما تنقص المسافات الجزيئية الفاصلة بين الجزيئات فتقترب من بعضها البعض ويزداد عدد الجزيئات في وحدة الحجم من الغاز وبالتالي تزداد كثافة الغاز الأمر الذي يؤدي إلى تبادل تأثير الجزيئات المختلفة على بعضها البعض والنتيجة عن قوي التجاذب بينها ويسمى هذا التأثير بـ "تأثير فان در فالز".

فزيادة الضغط يتجاذب جزيئين نتيجة إقتراب بعضهما من بعض ثم يتتابع اجتذاب جزيئات أخرى إليهم وهكذا إلى أن تتكاثف المادة وتتحول إلى الحالة السائلة ثم إلى الحالة الصلبة.

♦ ♦ ♦ تكلم عن تأثير فان در فالز؟

يظهر تأثير فان در فالز عند تبريد الغازات الحقيقية حيث تقل طاقة حركة الجزيئات كما تنقص المسافات الجزيئية الفاصلة بين الجزيئات فتقترب من بعضها البعض ويزداد عدد الجزيئات في وحدة الحجم من الغاز وبالتالي تزداد كثافة الغاز الأمر الذي يؤدي إلى تبادل تأثير الجزيئات المختلفة على بعضها البعض والناتج عن قوى التجاذب بينها، فزيادة الضغط وخفض درجة الحرارة يتجاذب جزيئين نتيجة إقتراب بعضهما من بعض ثم يتتابع إجتذاب جزيئات أخرى إليهم وهكذا إلى أن تتكاثف المادة وتتحول إلى الحالة السائلة ثم إلى الحالة الصلبة.

وتفسر هذه الآلية كيفية إسالة الغازات مما أدى إلى إمكانية الوصول إلى درجات الحرارة المنخفضة جداً والتي تقترب من الصفر المطلق.

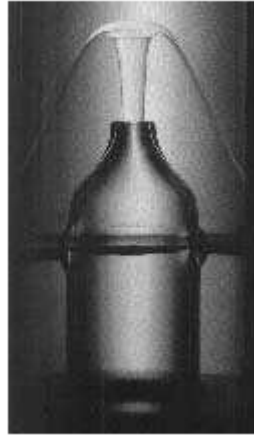
♦ ♦ آلية الحصول على درجات الحرارة المنخفضة ♦ ♦

- يتم الوصول بمادة ما إلى درجات الحرارة المنخفضة جداً عن طريق سحب الطاقة الحرارية من هذه المادة، ويتم ذلك بعدة طرق أبسطها "أن تكون هذه المادة ملازمة لمادة أخرى مبردة مسبقاً لدرجة حرارة منخفضة جداً".
- تفسير ذلك: تقوم المادة الثانية بسحب الحرارة من المادة الأولى لتعود إلى حالتها الطبيعية فتخفض حرارة المادة الأولى.
- وتستخدم هذه الآلية في إسالة الغازات حيث يوضع الغاز في حالة تلامس مع مادة ما مبردة مسبقاً فتقوم هذه المادة بسحب الحرارة من الغاز فتخفض درجة حرارته وتتكثف جزيئاته ويتحول إلى غاز مُسال.
- وعكس هذه العملية (عملية إسالة الغازات) توجد عملية التبخر (تحويل الغاز المسال مرة أخرى إلى غاز) فمن مفهوم الحرارة الكامنة لتبخّر السائل إلى غاز نلاحظ أن الغاز المسال هو الذي يقوم بسحب الطاقة الحرارية من المادة الملازمة له حتى يعود إلى حالته الطبيعية (الغازية) وبالتالي تنخفض حرارة المادة المراد تبريدها.
- ومن أنجح المواد التي تُستخدم لتبريد مواد أخرى كلٌّ من:
 - 1 - الثلج العادي.
 - 2 - الثلج الجاف (الذي هو عبارة عن ثاني أوكسيد الكربون المثلج).
 - 3 - الهواء السائل.
- ولقد تم الوصول إلى درجة $77^\circ K$ وهي درجة حرارة النيتروجين السائل كما تم الوصول إلى درجة حرارة $4.2^\circ K$ وهي درجة حرارة الهيليوم السائل.

♦♦ السيولة الفائقة ♦♦

☒ تتميز بعض الغازات المسالة بأنها عند درجات الحرارة المنخفضة جداً والتي تقترب من الصفر المطلق تكون لها قدرة فائقة على السيولة بدون مقاومة تُذكر أي بدون احتكاك مع جدران الوعاء الذي يحتويها تقريباً.

☒ فمثلاً: الهليوم السائل عند درجات الحرارة المنخفضة نجد أنه يتمتع بخاصية السيولة الفائقة حيث تتلاشي لزوجته كلياً، كما أنه يتميز عند نفس هذه الظروف بإمكانية الإنسياب لأعلى دون توقف على جوانب أي وعاء يحتويه بغض النظر عن قوِي الاحتكاك والجاذبية كما في الشكل التالي:

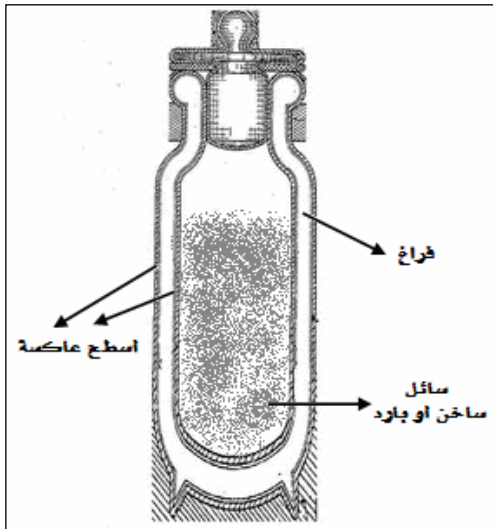


☒ ويتميز الهليوم السائل أيضاً بانخفاض حرارته النوعية وبالتالي فهو من أفضل الموصلات الحرارية.

♦♦ تكلم عن السيولة الفائقة ؟ ♦♦

هي خاصية تتميز بها بعض الغازات المسالة عند درجات الحرارة المنخفضة جداً والتي تقترب من الصفر المطلق حيث تكون لها القدرة على السيولة بدون أي احتكاك أو مقاومة تقريباً .

♦♦ قارورة ديوار ♦♦



♦ صُممت قارورة ديوار لتقليل الفقد الحراري ومنع إنتقال الحرارة بطرقها الثلاث (التوصيل والحمل والإشعاع).

- والقارورة عبارة عن وعاء زجاجي من البايروكس له جدران مزدوجة المسافة الفاصلة بينهما مفرغة تماماً من الهواء وذلك لتقليل فقد الحرارة بالتوصيل أو بالحمل، كما أن أسطح الجدارين مطلية من الداخل بطبقة من الفضة لتقليل إنتقال الحرارة بالإشعاع.

♦ ويعتبر الترموس مثال بسيط على قارورة ديوار.

♦ ♦ ♦ وتستخدم قارورة ديوار في تخزين الغازات المسالة مثل:

1 - النيتروجين السائل : ودرجة غليانه $77^\circ K$.

2 - الأوكسيجين السائل : ودرجة غليانه $90^\circ K$.

3 - الهليوم السائل : ودرجة غليانه $4.2^\circ K$ ولكن نظراً لإنخفاض كلاً من حرارته النوعية ونقطة غليانه يستخدم لتخزينه إناءين من نوعية قارورة ديوار حيث يوضع أحدهما في الآخر وتملاً المسافة الفاصلة بينهما بالنيتروجين السائل أيضاً.

♦ ♦ عمل الثلجة ♦ ♦

- بدايةً نذكر بعض المفاهيم الأساسية والضرورية لدراسة هذا الجزء وهي:

♦ ♦ قانون بقاء الطاقة : الطاقة لا تُفنى ولا تستحدث من عدم ولكن يمكن تحويلها من صورة إلى أخرى.

♦ ♦ الطاقة الداخلية لمادة U : هي عبارة عن مجموع طاقات الجزيئات ومكوناتها المكونة للمادة أي (ما يسمى بالطاقة الإنتقالية والطاقة الدورانية والطاقة الإهتزازية للجزيئات ومكوناتها).

فعندما يكتسب غاز طاقة حرارية قدرها Q_{th} فإنها تتحول في حالتنا هذه وطبقاً لقانون بقاء الطاقة إلى صورتين مخلفتين، الأولى عبارة عن طاقة تُستغل في زيادة الطاقة الداخلية للغاز ΔU والتي أوضحناها سابقاً، والثانية تظهر في الشغل الذي تبذله جزيئات الغاز W أي أن:

$$Q_{th} = \Delta U + W$$

والمعادلة السابقة تُمثل القانون الأول في علم الديناميكا الحرارية.

وفي الديناميكا الحرارية أيضاً يوجد نوعين من التبادل الحراري:

♦ النوع الأول: عندما يكون الغاز موصولاً للحرارة إلى الوسط المحيط.

فعند ثبوت درجة حرارة النظام يكون الغاز موصولاً للحرارة إلى الوسط المحيط وبالتالي فإن أي زيادة في الطاقة الداخلية للغاز ستنتقل إلى الوسط المحيط وتصبح $\Delta U = 0$ وبذلك تتحول الطاقة الحرارية المكتسبة بالكامل إلى شغل ميكانيكي تبذله جزيئات الغاز أي: $Q_{th} = W$ ، ويعرف هذا بـ "العملية الأيزوثرمية".

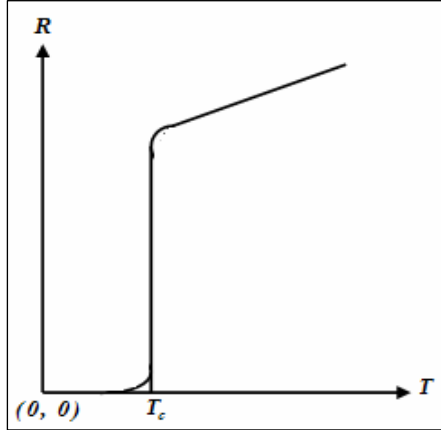
♦ النوع الثاني: عندما يكون الغاز معزولاً تماماً عن الوسط المحيط.

وفي هذه الحالة لا يكتسب أو يفقد الغاز أي كمية من الحرارة أي أن $Q_{th} = 0$ أو $\Delta U + W = 0$ وبالتالي فإن الشغل المبذول يكون على حساب طاقته الداخلية . فإذا بذل الغاز شغلاً أي ($W = +$) فإن طاقته الداخلية ستقل وتصبح ($\Delta U = -$) ... والعكس صحيح ... فإذا بذل شغل على الغاز أي ($W = -$) فسترتفع حرارته الداخلية وتصبح ($\Delta U = +$)، وهو ما يُعرف بـ "العملية الأديباتية".

- وتعتبر الثلجة من أهم التطبيقات لهاتين العمليتين، والسائل المستخدم في عملية التبريد هو غاز الفريون المسال (ودرجة غليانه $30^\circ C$ أو $243^\circ K$).

♦♦ التوصيلية الفائقة ♦♦

- بعد إكتشاف إسالة الهليوم بثلاث سنوات إكتشف العالم أونيس ظاهرة التوصيل الكهربى الفائق لبعض الفلزات عند درجات الحرارة المنخفضة.
- فعندما تنخفض درجات الحرارة إلى بضع درجات فوق الصفر المطلق تكون التوصيلية الكهربائية لبعض المعادن عالية جداً وذلك مثل (البلاتين - الألومنيوم - الزنك - الرصاص - الزئبق - وبعض المركبات المعدنية الأخرى) حيث تفقد المادة كامل مقاومتها الداخلية لسريان التيار الكهربى أى تكون قابلية التيار للمرور خلالها مرتفعة جداً وذلك دون وجود مقاومة تذكر.



- وهذا يحدث عند درجة تبريد معينة تسمى بـ "درجة الإنقزال إلى حالة التوصيلية الكهربائية الفائقة T_c " كما في الشكل المقابل.

وتسمى المواد التي تتميز بهذه الصفة بـ "المواد فائقة التوصيل".

♦♦♦ ظواهر مترتبة على التوصيلية الفائقة:

من الظواهر المترتبة على خاصية التوصيلية الفائقة أنه :

- 1 - إذا إنساب تيار كهربى في حلقة من المواد فائقة التوصيل فإن هذا التيار يستمر حتى لو أزيل فرق الجهد الخارجى المسبب له، حيث لا يواجه هذا التيار أى مقاومة وبالتالي لا تسخن المادة ولا يفقد هذا التيار أى طاقة قد تستهلك في تعويض الطاقة الكهربائية المصاحبة له والتي تتحول إلى طاقة حرارية.
- 2 - عند إستخدام مواد فائقة التوصيل في صناعة الدوائر الكهربائية يلاحظ أن لهذه الدوائر مقدرة عالية على إلتقاط أضعف الإشارات اللاسلكية وهو الأمر الذي يتطلب وجوده في الأقمار الصناعية.
- 3 - عند وضع مغناطيس دائم فوق قرص من مادة فائقة التوصيل فإن التيار في هذه المادة يولد مجالاً مغناطيسياً يتنافر مع المغناطيس الدائم بحيث يظل المغناطيس الدائم معلقاً في الهواء وهو ما يسمى بـ "ظاهرة مايسنر"، وتفسير هذه الظاهرة هو: أن المادة الفائقة تعتبر من المواد الدايمغناطيسية أي التي ينعدم بداخلها المجال المغناطيسى لذلك فإن المجال المتولد بها نتيجة تأثير مجال مغناطيسى خارجى لابد وأن يكون عكسه بحيث تكون المحصلة داخل المادة تساوي صفراً.

♦♦♦ تكلم عن ظاهرة مايسنر؟

هي ظاهرة تؤد مجال مغناطيسى في المواد فائقة التوصيل (الدايمغناطيسية) تحت تأثير مجال مغناطيسى خارجى بحيث يكون المجال الناتج معاكساً للمجال الخارجى حتى تصبح المحصلة داخل المادة مساوية للصفر.

♦ ومن التطبيقات المهمة على هذه الظاهرة ما يسمى بـ "القطار الطائر" حيث يُحمل القطار على ملفات من مادة فائقة التوصيل وعندما يتحرك القطار فإنه يولد تياراً في هذه الملفات وبالتالي يُنتج فيها مجالاً مغناطيسياً يتنافر مع المجال الخارجى (الذي هو عبارة عن القضبان) فيرتفع القطار فوق القضبان بعدة سنتيمترات مما يزيل الإحتكاك معها فتزيد سرعته .

الوحدة الرابعة

"الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية"

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الفصل التاسع

« التيار الكهربى وقانون أوم »

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الرابعة / الفصل التاسع " التيار الكهربائي وقانون أوم "

التيار الكهربائي وقانون أوم

❖ مقدمة:

✕ عند توصيل سلك معدني بقطبي عمود كهربائي فإن الإلكترونات الحرة الموجودة في ذرات السلك تتنافر مع القطب السالب للعمود الكهربائي وتتحرك جميعها في اتجاه واحد نحو القطب الموجب له. ويُطلق على سريان الإلكترونات الحرة في الموصل من القطب السالب إلى القطب الموجب للعمود الكهربائي بـ "التيار الكهربائي".

✕ فـ "التيار الكهربائي" هو عبارة عن "فيض من الإلكترونات الحرة التي تسري في السلك (الموصل الكهربائي) من القطب السالب إلى القطب الموجب للعمود الكهربائي".

✕ ولقد اتفق على أن يكون اتجاه التيار الكهربائي من الطرف الموجب إلى الطرف السالب للعمود الكهربائي، ويسمى هذا الاتجاه بـ "الاتجاه التقليدي أو الإصطلاحي للتيار الكهربائي".

❖ تعاريف وقوانين سبق دراستها ❖

- **شدة التيار الكهربائي I** : هي عبارة عن كمية الكهربائية Q بالكولوم التي تمر خلال مقطع معين بالدائرة الكهربائية في الثانية الواحدة، وتُعطى من العلاقة:

$$I = \frac{Q}{t}$$

وتُقاس شدة التيار الكهربائي بـ "الأمبير"، حيث:

$$\text{Amp.} = \text{Colomb} / \text{Sec}$$

- **فرق الجهد بين نقطتين V** : هو الشغل المبذول بالجول لنقل كمية من الكهرباء مقدارها 1 كولوم من إحدى النقطتين إلى الأخرى، ويُعطى من العلاقة:

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

ويُقاس فرق الجهد بـ "الفولت"، حيث:

$$\text{Volt} = \text{Joule} / \text{Colomb}$$

- **القوة الدافعة الكهربائية لمصدر E** : هي الشغل الكلي المبذول لنقل كمية من الكهرباء مقدارها 1 كولوم عبر الدائرة (داخل المصدر وخارجه)، وتُقاس القوة الدافعة الكهربائية بـ "الفولت" أيضاً.

- **المقاومة R** : فمقاومة مادة هي مُعاومتها لمرور التيار الكهربائي خلالها . وتُقاس المقاومة بـ "الأوم" Ω . والمقاومة تختلف من مادة لأخرى فمثلاً:

➤ الفلزات في العادة تكون مقاومتها صغيرة وذلك لوفرة الإلكترونات الحرة بها فتسمى بـ "الموصلات الجيدة للكهربائية".

➤ بعض المواد كالمطاط والزجاج تكون مقاومتها كبيرة جداً وذلك لندرة الإلكترونات الحرة بها لذا تسمى بـ "العازلات الجيدة للكهربائية".

➤ بالنسبة للهواء فإنه يعوق ويقاوم بشدة مرور التيار الكهربائي خلاله وللتغلب على هذه المقاومة نحتاج إلى فرق جهد كبير جداً وعندئذ يمر التيار الكهربائي في الهواء على شكل شرر.
كما أن هناك أنواع للمقاومات فمنها المقاومات ثابتة القيمة ومنها المقاومات المتغيرة التي تسمى بـ "الريوستات".

- قانون أوم: تتناسب شدة التيار الكهربائي المار في موصل تناسباً طردياً مع فرق الجهد بين طرفيه عند ثبوت درجة حرارته. أي أن:

$$V \propto I \quad \Leftrightarrow \quad V = \text{const.} \times I \quad \Leftrightarrow \quad V = IR \quad \Leftrightarrow \quad R = \frac{V}{I}$$

حيث R هي ثابت التناسب وهي عبارة عن "مقاومة الموصل".
أي أن : "مقاومة موصل" هي عبارة عن "النسبة بين فرق الجهد بين طرفي هذا الموصل وشدة التيار المار فيه".
وبالتالي يكون:

$$\Omega = \text{Volt} / \text{Amp.}$$

وهناك عدداً من العوامل التي تتوقف عليها المقاومة الكهربائية لموصل عند ثبوت درجة حرارته، هذه العوامل هي:

- طول الموصل l .
- مساحة مقطعه A .
- نوع مادته.

أي أن:

$$R \propto l, \quad R \propto \frac{1}{A} \quad \Rightarrow \quad R \propto \frac{l}{A} \quad \Leftrightarrow \quad R = \text{const.} \times \frac{l}{A} = \rho_e \frac{l}{A}$$

حيث ρ_e هي ثابت التناسب وتسمى بـ "المقاومة النوعية للمادة". إذاً:

$$\rho_e = \frac{RA}{l}$$

ومنها يمكن تعريف "المقاومة النوعية للمادة" على أنها "مقاومة موصل من هذه المادة طوله 1 م ومساحة مقطعه 1 م² عند درجة حرارة معينة". وتُقاس بوحدة "أوم . م $\Omega.m$ ".

ومن الكمية الفيزيائية السابقة يمكن استنتاج كمية أخرى تسمى بـ "التوصيلية الكهربائية للمادة" أي معامل التوصيل الكهربائي للمادة وهي عبارة عن مقلوب المقاومة النوعية لها. ويُرمز لها بالرمز " σ " حيث:

$$\sigma = \frac{1}{\rho_e}$$

وتُقاس بوحدة "أوم⁻¹ . م⁻¹ أو سيمنز . م⁻¹ $\Omega^{-1}.m^{-1}$ " حيث السيمنز يُكافئ Ω^{-1} .

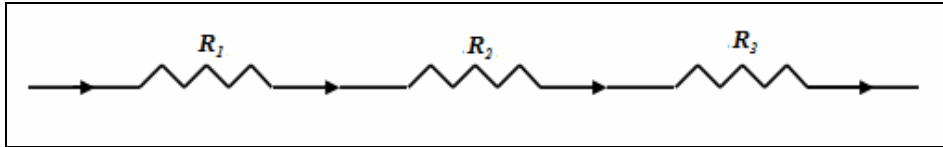
❖ ❖ توصيل المقاومات ❖ ❖

الغرض من توصيل المقاومات هو الحصول على مقاومة كبيرة أو صغيرة من مجموعة من المقاومات، وتوصل المقاومات إما على التوالي وإما على التوازي.

❖ ❖ أولاً : توصيل المقاومات على التوالي ❖ ❖

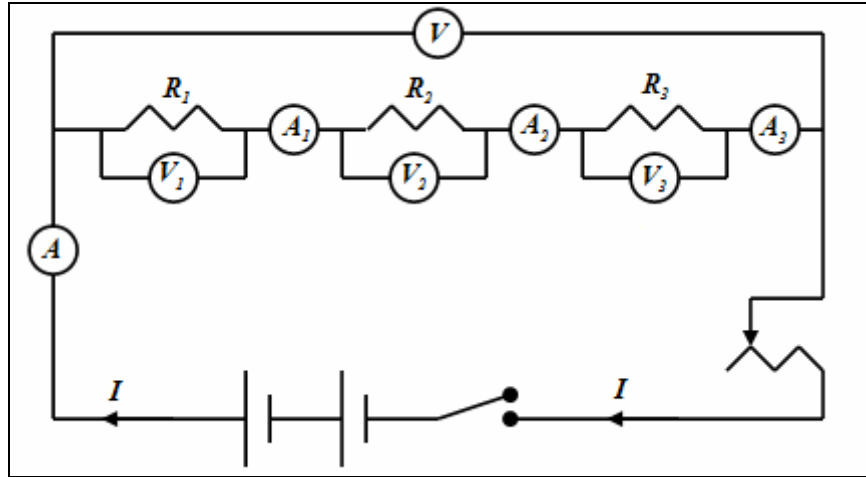
❖ والغرض من هذا النوع من التوصيل هو الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة من المقاومات الصغيرة القيمة.

❖ فإذا كان لدينا مجموعة من عدة مقاومات ولتكن (R_1, R_2, R_3) وأردنا توصيلهم على التوالي فإن ذلك يتم عن طريق توصيل أحد طرفي المقاومة R_1 بأحد طرفي المقاومة الثانية R_2 والطرف الثاني للمقاومة R_2 بأحد طرفي المقاومة R_3 وهكذا وبذلك تصبح المقاومات الثلاث عبارة عن ممر متصل له مقاومة معينة على النحو التالي:



❖ إيجاد المقاومة المكافئة لمجموعة من المقاومات المتصلة على التوالي عملياً:

1 - يتم دمج مجموعة المقاومات المتصلة على التوالي في دائرة كهربية تحتوي على بطارية وأميتر (لقياس شدة التيار المار) وريوستات ومفتاح وجميعها موصلة على التوالي كما بالشكل التالي:



2 - نغلق الدائرة ونعدل من مقاومة الريوستات حتى يمر في الدائرة تيار مناسب وبأخذ قراءة جميع الأميترات الموجودة في الدائرة نجد أن شدة التيار متساوية في جميع الأجزاء ولتكن I أمبير.

3 - نقيس فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة على حدة (V_1, V_2, V_3) على الترتيب ثم نقيس الجهد الكلي بين طرفي المجموعة وليكن V فولت فنجد أن:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

♦ ♦ وهو ما يُعرف بـ "قانون كيرشوف"، أي أن قانون كيرشوف ينص على أن "فرق الجهد الكلي لدائرة كهربائية يساوي مجموع فروق الجهد على جميع مكونات هذه الدائرة".

4 - نُعين المقاومة الكلية للدائرة ولتكن R' بقسمة فرق الجهد الكلي V على شدة التيار I أي أن:

$$R' = \frac{V}{I}$$

وحيث أن شدة التيار المار في الدائرة متساوية ومن قانون كيرشوف نجد أن:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad , \quad V_1 = IR_1 \quad , \quad V_2 = IR_2 \quad , \quad V_3 = IR_3$$

$$\Rightarrow \quad V = IR' = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

ومنها نجد أن:

$$R' = R_1 + R_2 + R_3$$

♦ ♦ أي أن المقاومة المكافئة R' لمجموعة من المقاومات المتصلة على التوالي تساوي مجموع هذه المقاومات.

♦ ♦ وعندما تكون المقاومات الموصلة على التوالي متساوية وقيمة كل منها R وعددها N فإن:

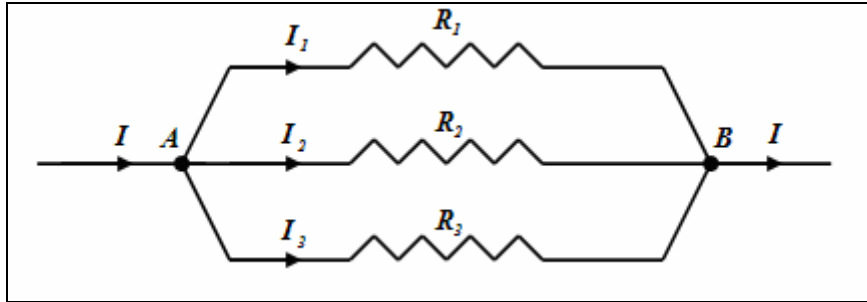
$$R' = NR$$

وبالتالي فإن المقاومة المكافئة لمجموعة من المقاومات المتصلة على التوالي تكون أكبر من أي مقاومة فيها.

♦ ♦ ثانياً : توصيل المقاومات على التوازي

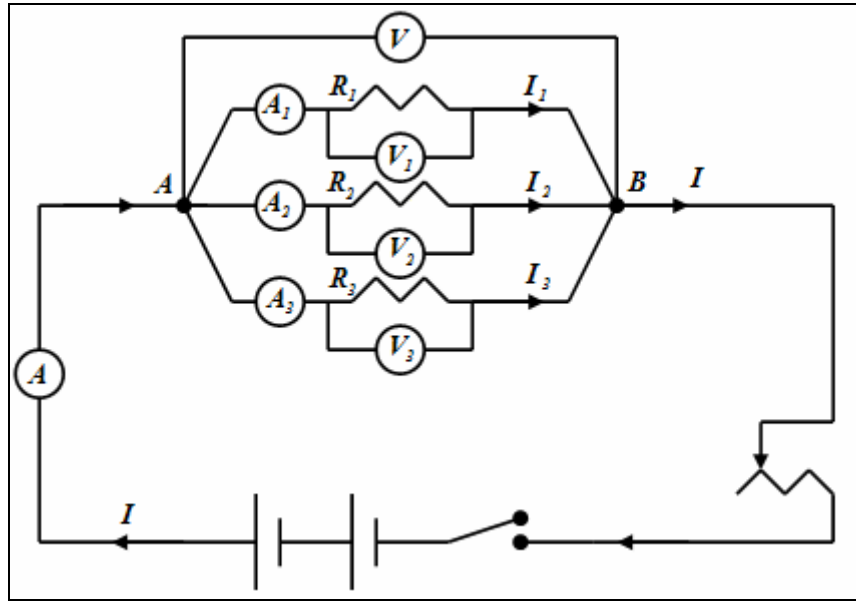
♦ والغرض منه الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة من المقاومات.

♦ فإذا كان لدينا مجموعة من عدة مقاومات ولتكن (R_1, R_2, R_3) وأردنا توصيلهم على التوازي فإن ذلك يتم عن طريق توصيل طرفي كل مقاومة منها بنقطتين ثابتتين وليكن A, B كما في الشكل التالي:



♦ إيجاد المقاومة المكافئة لمجموعة من المقاومات المتصلة على التوازي عملياً:

1 - يتم دمج مجموعة المقاومات المتصلة على التوازي في دائرة كهربائية تحتوي على بطارية وأميتر وريوستات ومفتاح وجميعها موصلة على التوالي كما بالشكل التالي:



2 - نغلق الدائرة ونعدل من مقاومة الريوستات حتى يمر في الدائرة تيار مناسب ونعين شدته بواسطة الأميتر ولتكن I أمبير.

3 - نعين شدة التيار المار في كل مقاومة على حدة وليكن (I_1, I_2, I_3) على الترتيب فنجد أن:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

4 - نقيس فرق الجهد الكلي بين طرفي المجموعة A, B بواسطة فولتميتر وليكن V فولت.

5 - نعين المقاومة الكلية للدائرة ولتكن R' بقسمة فرق الجهد الكلي V على شدة التيار الكلي I أي أن:

$$R' = \frac{V}{I} \quad \Leftrightarrow \quad I = \frac{V}{R'}$$

وحيث أن فرق الجهد متساوي في جميع المقاومات (فرق الجهد عبر نفس النقطتين A, B) فيكون:

$$I = I_1 + I_2 + I_3, \quad I_1 = \frac{V}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V}{R_2}, \quad I_3 = \frac{V}{R_3}$$

$$\Rightarrow I = \frac{V}{R'} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

ومنها نجد أن:

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

♦ أي أن مقلوب المقاومة المكافئة لمجموعة من المقاومات المتصلة على التوازي يساوي مجموع مقلوبات هذه المقاومات.

♦ وعندما تكون المقاومات الموصلة على التوازي متساوية وقيمة كل منها R وعددها N فإن:

$$\frac{1}{R'} = \frac{N}{R} \Rightarrow R' = \frac{R}{N}$$

أي أن المقاومة المكافئة = قيمة مقاومة واحدة ÷ عددهم.

وبالتالي فإن المقاومة المكافئة لمجموعة من المقاومات المتصلة على التوازي تكون أصغر من أي مقاومة منها.

♦ ♦ وإذا كان لدينا مقاومتان R_1, R_2 موصلتان على التوازي فإن:

$$\frac{1}{R''} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \Rightarrow \boxed{R'' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}$$

وعندما تكون $R_1 = R_2 = R$ فإن:

$$\boxed{R'' = \frac{R}{2}}$$

♦ ♦ مقارنة بين توصيل المقاومات على التوالي وعلى التوازي:

التوصيل على التوازي	التوصيل على التوالي
فرق الجهد متساوي على جميع المقاومات.	يتجزأ فرق الجهد على المقاومات (يختلف من مقاومة لأخرى) بحيث يكون: $V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$
المقاومة المكافئة أصغر من أي مقاومة حيث: $\boxed{\frac{1}{R''} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$, $\boxed{R'' = \frac{R}{N}}$	المقاومة المكافئة أكبر من أي مقاومة حيث: $\boxed{R' = R_1 + R_2 + R_3}$, $\boxed{R' = NR}$
يتجزأ التيار في المقاومات (يختلف من مقاومة لأخرى) بحيث يكون: $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$	شدة التيار واحدة في جميع المقاومات.

♦ ♦ قانون أوم للدائرة المغلقة ♦ ♦

- بينا في ما سبق أن القوة الدافعة الكهربائية لمصدر هي عبارة عن الشغل الكلي المبذول لنقل كمية من الكهربائية مقدارها 1 كولوم عبر الدائرة الكهربائية (داخل المصدر) في المادة الكيميائية الموجودة بين قطبي العمود الكهربائي وخارجه "في المقاومة الخارجية".

♦ ♦ فإذا فرضنا أن القوة الدافعة الكهربائية للعمود (البطارية) هي V_B وأن شدة التيار المار هي I والمقاومة الخارجية هي R والمقاومة الداخلية لمادة العمود هي r فإن:
 القوة الدافعة للعمود الكهربائي V_B = فرق الجهد على المقاومة الخارجية V + فرق الجهد داخل العمود (نتيجة مقاومة مادته الداخلية) V' . أي أن:

$$V_B = V + V' = IR + Ir = I(R + r) \Rightarrow \boxed{I = \frac{V_B}{(R + r)}}$$

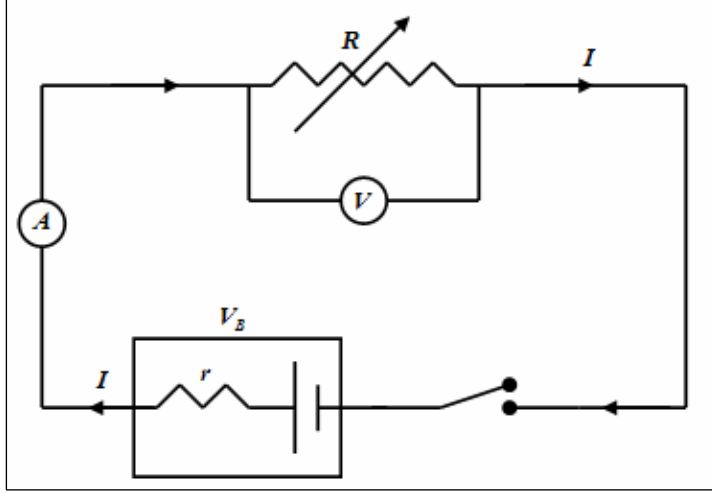
حيث أن المقدار $(R + r)$ يُمثل المقاومة الكلية للدائرة الكهربائية. وبالتالي تكون:

$$\boxed{\text{شدة التيار المار في الدائرة} = \frac{\text{القوة الدافعة للعمود الكهربائي}}{\text{المقاومة الكلية للدائرة}}}$$

والعلاقة السابقة هي عبارة عن "قانون أوم للدائرة المغلقة".

❖ ❖ العلاقة بين القوة الدافعة لعمود كهربي وفرق الجهد بين طرفيه ❖ ❖

- من العلاقة التالية :



$$V_B = V + Ir \Leftrightarrow V = V_B - Ir$$

نجد أنه مع إنقاص شدة التيار المار في الدائرة المقابلة وذلك بزيادة قيمة المقاومة الخارجية R يزداد فرق الجهد بين قطبي العمود الكهربي.

وعندما تُصبح شدة التيار صغيرة جداً (مقاربة للصفر مثلاً) إلى حد يمكن معه إهمال الحد الثاني من الطرف الأيمن في المعادلة السابقة يُصبح فرق الجهد بين قطبي العمود الكهربي مساوية تقريباً للقوة الدافعة الكهربية له.

❖ ❖ أي أن :

"القوة الدافعة الكهربية لعمود" هي عبارة عن "فرق الجهد بين قطبي هذا العمود عندما تكون الدائرة مفتوحة (أي في حالة مرور تيار كهربي في الدائرة)".

❖ ❖ ما معني أن القوة الدافعة الكهربية لعمود كهربي = 1.5 فولت؟

معني ذلك أن فرق الجهد بين قطبي هذا العمود عندما تكون الدائرة مفتوحة (أي في حالة مرور تيار كهربي في الدائرة) = 1.5 فولت.

**** أمثلة محلولة ****

1 - وُصلت المقاومات الثلاث 25 و 70 و 85 أوم على التوالي مع بطارية القوة الدافعة الكهربية لها 45 فولت فمع إهمال المقاومة الداخلية للبطارية إحسب كلاً من شدة التيار المار في كل مقاومة وفرق الجهد على كل مقاومة؟

المعطيات:

$$R_1 = 25 \Omega \quad \diamond \quad R_2 = 70 \Omega \quad \diamond \quad R_3 = 85 \Omega \quad \diamond \quad V_B = 45V. \quad \diamond \quad r = 0 \Omega$$

الحل:

بفرض أن المقاومة الكلية هي R فإن:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + r = 25 + 70 + 85 + 0 = 180 \Omega$$

وحيث أن المقاومات الثلاث موصلة على التوالي فإن التيار المار في الدائرة يكون هو نفسه في كل مقاومة ويُعطي من قانون أوم للدائرة المغلقة التالي:

$$I = \frac{V_B}{R} = \frac{45}{180} = 0.25 \text{ Amp.} \rightarrow 1$$

- حساب فرق الجهد على المقاومات الثلاث:

$$V_1 = IR_1 = 0.25 \times 25 = 6.25V.$$

$$V_2 = IR_2 = 0.25 \times 70 = 17.5V.$$

$$V_3 = IR_3 = 0.25 \times 85 = 21.25V.$$

وللتأكد:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 6.25 + 17.5 + 21.25 = 45V.$$

2 - إذا وُصلت المقاومات الثلاث التي في المثال السابق على التوازي مع نفس المصدر فاحسب شدة التيار المار في كل مقاومة والمقاومة الكلية لهم وكذلك شدة التيار الكلي؟

الحل:

بفرض أن المقاومة الكلية هي R فإن:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{25} + \frac{1}{70} + \frac{1}{85} = 0.066 \Omega^{-1}$$

$$R = \frac{1}{0.066} = 15.15 \Omega$$

وحيث أن المقاومات الثلاث موصلة على التوازي فإن فرق الجهد (وفي حالتنا هذه القوة الدافعة الكهربائية) يكون هو نفسه على كل مقاومة.

و تُعطى شدة التيار الكلي من قانون أوم للدائرة المغلقة التالي:

$$I = \frac{V_B}{R} = \frac{45}{15.15} = 2.97 \text{ Amp.}$$

- حساب شدة التيار المار في كل مقاومة:

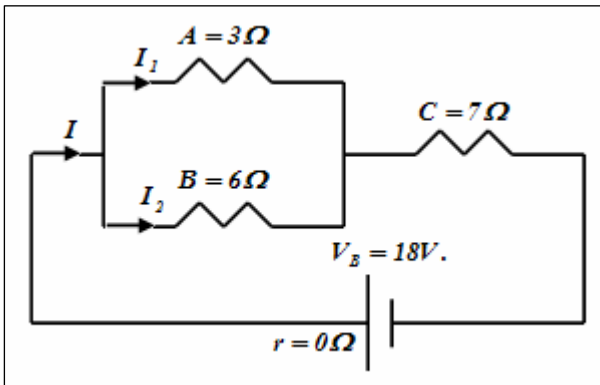
$$I_1 = \frac{V_B}{R_1} = \frac{45}{25} = 1.8 \text{ Amp.}$$

$$I_2 = \frac{V_B}{R_2} = \frac{45}{70} = 0.643 \text{ Amp.}$$

$$I_3 = \frac{V_B}{R_3} = \frac{45}{85} = 0.529 \text{ Amp.}$$

وللتأكد:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 1.8 + 0.643 + 0.529 = 2.97 \text{ Amp.}$$



3 - في الشكل التالي وُصلت المقاومتان A, B معاً على التوازي ثم وُصلت المجموعة على التوالي مع مقاومة ثالثة هي C وبطارية قوتها الدافعة 18 فولت. فإذا كانت المقاومات A, B, C هي على الترتيب $3\Omega, 6\Omega, 7\Omega$ فاحسب مع إهمال المقاومة الداخلية للبطارية ما يلي: المقاومة الكلية / شدة التيار المار في الدائرة / شدة التيار المار في كل من A, B ؟

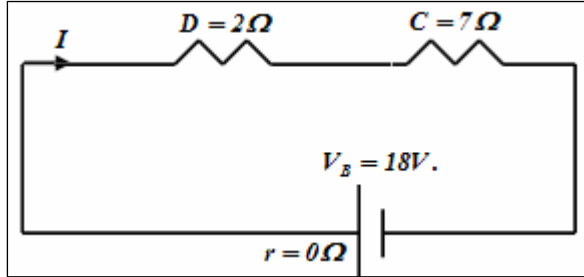
المعطيات :

$$A = 3\Omega \quad \diamond \quad B = 6\Omega \quad \diamond \quad C = 7\Omega \quad \diamond \quad V_B = 18V.$$

الحل :

♦ أولاً: المقاومتان A, B موصلتان على التوازي وبالتالي فإن المقاومة المكافئة لهما ولتكن D تُعطي من العلاقة:

$$D = \frac{A \times B}{A + B} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = \frac{18}{9} = 2\Omega$$



♦ وبالتالي تُصبح الدائرة السابقة على الصورة المقابلة، وتُصبح المقاومتان D, C موصلتان على التوالي. وبالتالي تُعطي المقاومة الكلية للدائرة ولتكن R من العلاقة:

$$R = D + C = 2 + 7 = 9\Omega$$

♦ ثانياً: وبتطبيق قانون أوم للدائرة المغلقة لنحصل على شدة التيار الكلي المار في الدائرة ويكون:

$$I = \frac{V_B}{R} = \frac{18}{9} = 2\text{Amp.}$$

♦ ثالثاً: إذاً يكون فرق الجهد على المقاومة D وليكن V' عبارة عن:

$$V' = ID = 2 \times 2 = 4V.$$

وهو نفس فرق الجهد على المقاومتان A, B وبالتالي نحصل على شدة التيار في هاتين المقاومتين على النحو التالي:

$$I_A = \frac{V'}{A} = \frac{4}{3} = 1.33\text{Amp.} \quad \& \quad I_B = \frac{V'}{B} = \frac{4}{6} = 0.667\text{Amp.}$$

4 - وُصلت مقاومتان على التوالي فكانت المقاومة الكلية 25 أوم وعندما وصلتا على التوازي كانت المقاومة الناتجة 6 أوم. فاحسب قيمة كلاً من هاتين المقاومتان على حدة؟

الحل:

بفرض أن هاتين المقاومتين هما R_1, R_2 وأن المقاومة المكافئة لهما هي R .

- ففي حالة التوالي:

$$R = R_1 + R_2 = 25 \Rightarrow R_1 = 25 - R_2 \quad \otimes$$

- وفي حالة التوازي يكون:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 6 \Rightarrow \frac{(25 - R_2) R_2}{25 - R_2 + R_2} = \frac{25 R_2 - R_2^2}{25} = 6$$

$$25 R_2 - R_2^2 = 150 \Rightarrow \boxed{R_2^2 - 25 R_2 + 150 = 0}$$

ويحل هذه المعادلة عن طريق إيجاد عددين حاصل ضربهما 150 ومجموعهما 25 فيكون:

$$(R_2 - 10)(R_2 - 15) = 0$$

أي أن $R_2 = 10\Omega$ أو $R_2 = 15\Omega$. وبالتعويض في المعادلة $\otimes$ تكون $R_1 = 15\Omega$ أو $R_1 = 10\Omega$.

الفصل العاشر (١٠)

«التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي»

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الرابعة / الفصل العاشر: أولاً / "التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي"

التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي

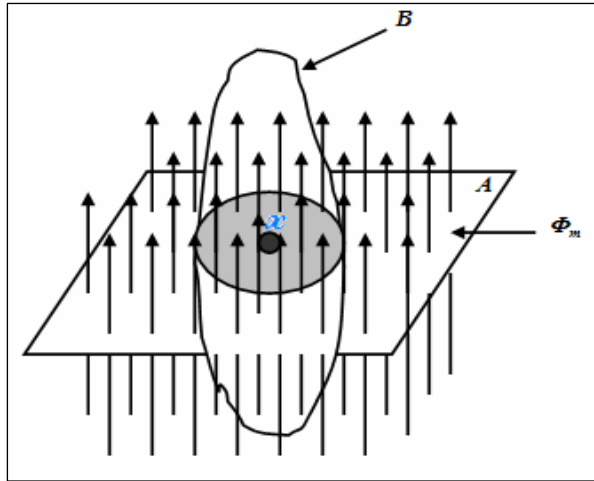
❖ مقدمة:

⊗ لاحظ العالم أورستيد أنه عند وضع بوصلة مغناطيسية صغيرة بالقرب من سلك يمر به تيار كهربائي فإن إبرة البوصلة تنحرف لتأخذ اتجاه معين وعند قطع التيار الكهربائي عن السلك فإنها تعود إلى وضعها الأصلي.

⊗ ولقد إستنتج أورستيد من هذه الملاحظة أن التيار الكهربائي المار في سلك (موصل) يولد حوله مجال مغناطيسي، وقد وُجدَ أن خطوط الفيض المغناطيسي الناتجة عن هذا المجال المغناطيسي تختلف باختلاف شكل الموصل مع العلم بأن خطوط الفيض المغناطيسي هي خطوط تخيلية أو وهمية.

⊗ فـ "الفيض المغناطيسي" والذي يُرمز له بالرمز Φ_m يُقَدَّر بـ "العدد الكلي لخطوط الفيض المغناطيسي التي تمر عمودياً على مساحة ما"، ويُقاس بـ "الوهر Weber".

⊗ أما "كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة" فيُرمز لها بالرمز B وتقَدَّر بـ "عدد خطوط الفيض المغناطيسي التي تمر عمودياً بوحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة" أو هي عبارة عن "الفيض



المغناطيسي لوحدة المساحة"، ويُقاس بـ "التسلا Tesla".

⊗ ويوضح الشكل التالي الفرق بين الفيض المغناطيسي Φ_m خلال مساحة معينة ولتكن المساحة A وكثافة الفيض المغناطيسي B عند نقطة ولتكن النقطة x (ملحوظة: المنطقة المظلمة تمثل وحدة المساحة المحيطة بالنقطة x).

❖ أي أن:

$$B = \frac{\Phi_m}{A} \quad \Leftrightarrow \quad \Phi_m = BA$$

$$Tesla = Weber / m^2$$

ومنها:

❖ وسنتناول في هذا الفصل دراسة المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيار الكهربائي في موصل على هيئة:

- 1 - سلك مستقيم.
- 2 - ملف دائري.
- 3 - ملف لولبي (حلزوني).

❖ أولاً : المجال المغناطيسي لتيار كهربي يمر في سلك مستقيم ❖



ولدراسة شكل خطوط الفيض المغناطيسي بالقرب من سلك مستقيم يمر به تيار كهربي نثر بعناية كمية من برادة الحديد على سطح لوح أفقي من الورق المقوي يحيط بسلك مستقيم يمر به تيار كهربي ثابت الشدة ثم نطرق اللوح عدة طرقات خفيفة فنلاحظ أن برادة الحديد تترتب على هيئة دوائر منتظمة متحدة المركز ومركزها السلك المستقيم نفسه كما في الشكل المقابل .

❖ ولقد وُجدَ بالتجربة أن كثافة الفيض المغناطيسي B تتوقف على عاملين هامين هما :

1 - البُعد عن السلك d : فيلاحظ أن الدوائر التي تمثل خطوط الفيض المغناطيسي تتزاحم بالقرب من السلك وتتباعد بتباعدها عنه وبالتالي فإن شدة المجال المغناطيسي الناتج تزداد بالإقتراب من السلك وتقل بالإبتعاد عنه أي أن كثافة الفيض المغناطيسي تتناسب عكسياً مع البُعد عن السلك، أو :

$$B \propto \frac{1}{d} \quad \rightarrow 1$$

2 - شدة التيار الكهربي I : فكلما زادت شدة التيار المار في السلك كلما أصبحت الدوائر أكثر إزدحاماً مما كانت عليه وبالتالي فإن شدة المجال المغناطيسي الناتج تزداد بزيادة شدة التيار وتقل بنقصانه أي أن كثافة الفيض المغناطيسي تتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربي، أو :

$$B \propto I \quad \rightarrow 2$$

من 1 و 2 نجد أن :

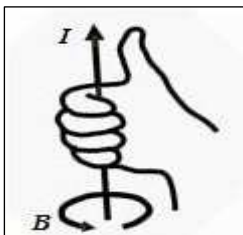
$$B \propto \frac{I}{d} \quad \Leftrightarrow \quad B = \text{const.} \times \frac{I}{d} \quad \Rightarrow \quad \boxed{B = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I}{d}} \quad \rightarrow 3$$

والمقدار $(\mu / 2\pi)$ هو ثابت التناسب، و μ هي مقدار ثابت للوسط ويُعرف بـ "النفاذية المغناطيسية للوسط"، مع العلم أن النفاذية المغناطيسية للهواء أو الفراغ $= 4\pi \times 10^{-7}$ وبر / أمبير × متر. ❖ والعلاقة رقم 3 تُعرف بـ "قانون أمبير الدائري".

❖ وعندما يكون الوسط هو الهواء أو الفراغ فإن :

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi} \frac{I}{d} \quad \Rightarrow \quad B = 2 \times 10^{-7} \times \frac{I}{d} \quad \text{Tesla}$$

ولما سبق يُنصح ببناء المساكن بعيداً عن أبراج الضغط العالي حفاظاً على الصحة العامة والبيئة. ❖ ملحوظة: يُعبر عن شدة المجال المغناطيسي بكثافة الفيض المغناطيسي.



❖ ولتعيين اتجاه خطوط الفيض المغناطيسي يُستخدم لذلك قاعدة تسمى بـ "قاعدة اليد اليمنى لأمبير" والتي تنص على أنه "عندما تقبض اليد اليمنى على السلك بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه التيار الكهربي فإن اتجاه الأصابع الملتفة على السلك يحدد اتجاه خطوط الفيض المغناطيسي". كما هو مبين بالشكل المقابل.

♦♦ مثال محلول: عين كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة في الهواء على بُعد 10 سم من سلك مستقيم طويل يمر به تيار شدته 10 أمبير؟
المعطيات:

$$I = 10 \text{ Amp.} \quad \diamond \quad d = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m} \quad \diamond \quad \text{الوسط هواء}$$

الحل:

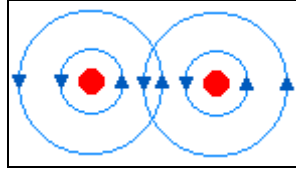
$$B = 2 \times 10^{-7} \times \frac{I}{d} = 2 \times 10^{-7} \times \frac{10}{0.1} = 2 \times 10^{-5} \text{ Tesla}$$

♦♦ ملحوظة هامة جداً ♦♦

◁ بدايةً أتفق على استخدام الرمز $\otimes$ للدلالة على أن اتجاه الكمية الفيزيائية (تيار كهربائي/ مجال مغناطيسي/ قوة) عمودي على الصفحة لِلدَاخِلِ، والرمز $\oplus$ (عكساً: الرمز الصحيح دائرة بداخلها نقطة) إذا كان اتجاه الكمية الفيزيائية عمودي على الصفحة لِلخَارِجِ.

◁ إذا كان لدينا سلكين مستقيمين متوازيين ويمر في كل منهما تيار كهربائي I_1 و I_2 وأردنا تعيين الفيض المغناطيسي في نقطة بينهما فإنه:

1 - إذا كان التياران المارين في السلكين في نفس الاتجاه: فإن كثافتي الفيض في المنطقة المحصورة بينهما تكونان في اتجاهين متضادين (كما في الشكل التالي):



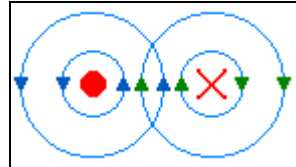
وتكون محصلتهما أقل من كثافة الفيض خارج السلكين لذا ينشأ بينهما قوة تجاذب وتكون محصلة كثافة الفيض المغناطيسي B هي:

$$B = B_1 - B_2 \quad \text{أو} \quad B = B_2 - B_1$$

2 - إذا كان التياران المارين في السلكين في نفس الاتجاه ولهما نفس الشدة: فإن كثافتي الفيض في المنطقة المحصورة بينهما تكونان متساويتين وفي اتجاهين متضادين وبالتالي تكون محصلتهما في منتصف المسافة بينهما تساوي صفر وتسمى بـ "نقطة التعادل" وعندها يكون:

$$B_1 = B_2 \quad \Rightarrow \quad B = B_1 - B_2 = 0$$

3 - إذا كان التياران المارين في السلكين في اتجاهين متضادين: فإن كثافتي الفيض في المنطقة المحصورة بينهما تكونان في نفس الاتجاه (كما في الشكل التالي):

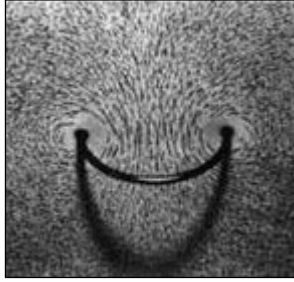


وتكون محصلتهما أكبر من كثافة الفيض خارج السلكين لذا ينشأ بينهما قوة تنافر وتكون محصلة كثافة الفيض المغناطيسي B هي:

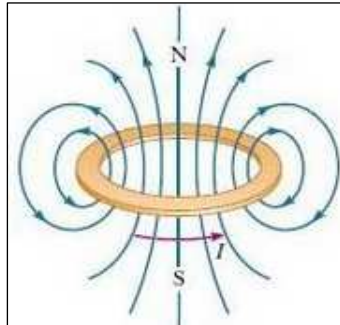
$$B = B_2 + B_1$$

♦♦ ثانياً : المجال المغناطيسي لتيار كهربائي يمر في ملف دائري ♦♦

وكما سبق فإنه لدراسة شكل خطوط الفيض المغناطيسي بالقرب من ملف دائري يمر به تيار كهربائي ننشر بعناية كمية من برادة الحديد على سطح لوح أفقي من الورق المقوي يخترقه ملف دائري بحيث يكون مستواه رأسياً و يمر به تيار كهربائي ثابت الشدة ثم نطرق اللوح عدة طرقات خفيفة فنلاحظ أن برادة الحديد (وبالتالي خطوط الفيض المغناطيسي) تترتب كما بالشكل المقابل بحيث:



1 - تكون عبارة عن دوائر بيضاوية تتزاحم داخل الملف وتتباعده خارجة أي أن خطوط الفيض المغناطيسي تفقد دائريتها حول كل من فرعي الملف.



2 - تكاد تكون عبارة عن خطوط مستقيمة ومتوازية في منطقة ضيقة حول محور الملف (ومتعامدة على مستواه) مما يدل على أن المجال المغناطيسي في هذه المنطقة مجال منتظم.

3 - تختلف كثافة الفيض المغناطيسي من نقطة لأخرى.

♦ ومن الشكل المقابل نلاحظ أن الملف الدائري الذي يمر به تيار كهربائي يماثل مغناطيس على هيئة قرص مصمت له قطبان مستديران.

♦ ويلاحظ أن خطوط الفيض المغناطيسي تخرج من أحد وجهي الملف ثم تدخل في الوجه الآخر أي أن يشبه إلى حد كبير المجال المغناطيسي لمغناطيس قصير قطبيه هما وجهي الملف ولعرفة نوع القطب في كلاً



من وجهيه نستخدم ما يُسمى بـ "قاعدة عقارب الساعة". فعند النظر إلى أحد الوجهين وكان التيار يمر فيه في اتجاه عقارب الساعة فإنه يصبح قطباً جنوبياً ... والعكس صحيح ... فعند النظر إلى أحد الوجهين وكان التيار يمر فيه في عكس اتجاه عقارب الساعة فإنه يصبح قطباً شمالياً " كما هو مبين بالشكل المقابل .

♦ ولقد وُجد أن كثافة الفيض المغناطيسي B عند مركز الملف الدائري تتوقف على العوامل التالية:

1 - عدد لفات الملف N : فتناسب كثافة الفيض المغناطيسي تناسباً طردياً مع عدد اللفات أو:

$$B \propto N \rightarrow 1$$

2 - شدة التيار الكهربائي I : فتناسب كثافة الفيض المغناطيسي تناسباً طردياً مع شدة التيار الكهربائي أو:

$$B \propto I \rightarrow 2$$

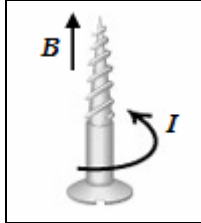
3 - نصف قطر الملف r : فتناسب كثافة الفيض المغناطيسي تناسباً عكسياً مع نصف قطره أو:

$$B \propto \frac{1}{r} \rightarrow 3$$

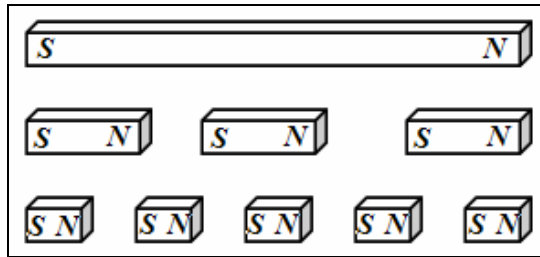
♦ من 1 و 2 و 3 نجد أن:

$$B \propto \frac{NI}{r} \Leftrightarrow B = const. \times \frac{NI}{r} \Rightarrow \boxed{B = \frac{\mu NI}{2r}} \rightarrow 4$$

♦ ولتعيين إتجاه خطوط الفيض المغناطيسي يُستخدم لذلك قاعدة تسمى بـ "قاعدة البريمة اليمنى" والتي تنص على أنه "عند دوران (ربط) بريمة (مسمار قلاووظ) باليد اليمنى عند مركز الملف بحيث يُشير إتجاه دورانها إلى إتجاه التيار الكهربائي فيه فإن إتجاه إندفاعها يدل على إتجاه خطوط الفيض المغناطيسي (إتجاه المجال المغناطيسي) عند مركز الملف".



♦ مما سبق نصل إلى أن الملف الدائري الذي يمر به تيار كهربائي يكافئ ما يُطلق عليه "ثنائي القطب المغناطيسي". ففي الطبيعة لا توجد أقطاب مغناطيسية منفردة فمثلاً لا يوجد قطب شمالي منفرد أو قطب جنوبي منفرد فلو تم تقسيم مغناطيساً إلى عدد كبير من الأجزاء نجد أن كل جزء عبارة عن ثنائي قطب مغناطيسي فدائماً كل جزء له قطبان أحدهما شمالي N والآخر جنوبي S (كما في الشكل التالي) في حين يوجد في الطبيعة أقطاب كهربية منفردة حيث من الممكن وجود شحنة سالبة معزولة أو شحنة موجبة معزولة.



♦ أمثلة محلولة:

1 - مرتيار كهربائي شدته 0.7 أمبير في ملف دائري قطره 22 سم وعدد لفاته 50 لفة . فاحسب كثافة الفيض المغناطيسي عند مركز الملف (النفاذية المغناطيسية للهواء $= 4\pi \times 10^{-7}$ وير / أمبير $\times$ متر) ؟
 ♦ $N = 50 \text{ turns}$ ♦ $2r = 22 \text{ cm} = 0.22 \text{ m}$ ♦ $\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Weber / Amp.} \times m$
 $I = 0.7 \text{ Amp.}$

الحل:

$$\Rightarrow B = \frac{\mu NI}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 50 \times 0.7}{0.22} = 2 \times 10^{-4} \text{ Tesla}$$

2 - ملف دائري مكون من لفة واحدة يمر به تيار شدته 5 أمبير فيتولد في مركزه قيمة معينة لكثافة الفيض المغناطيسي. إحسب شدة التيار الذي يمر في سلك مستقيم بحيث ينشأ عنه نفس كثافة الفيض عند نقطة بُعدها العمودي عن السلك يساوي نصف قطر الملف؟

$$I_1 = 5 \text{ Amp.} \quad \diamond \quad N = 1 \text{ turn} \quad \diamond \quad B_1 = B_2 \quad \diamond \quad d = r$$

الحل:

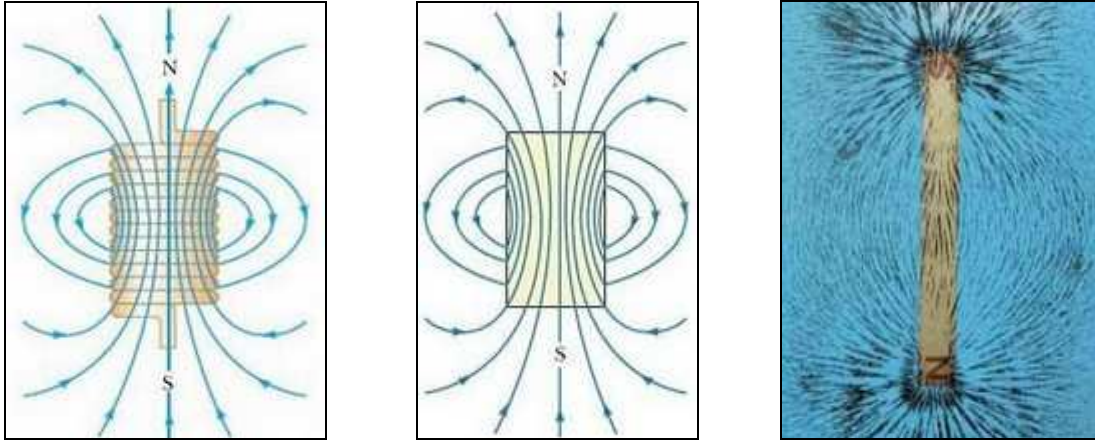
$$\therefore B_1 = \frac{\mu NI_1}{2r}, \quad B_2 = \frac{\mu I_2}{2\pi d} \quad \& \quad B_1 = B_2$$

$$\Rightarrow \frac{\mu NI_1}{2r} = \frac{\mu I_2}{2\pi d} \Leftrightarrow NI_1 = \frac{I_2}{\pi} \Rightarrow 1 \times 5 = \frac{I_2}{3.14}$$

$$\Rightarrow I_2 = 3.14 \times 5 = 15.7 \text{ Amp.}$$

♦♦ ثالثاً: المجال المغناطيسي لتيار كهربائي يمر في ملف لولبي ♦♦

♦ عندما يمر تيار كهربائي في ملف لولبي يتولد حوله ويدخله مجال مغناطيسي يشبه إلى حد كبير المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي، كما هو مبين في الأشكال التالية:



ونلاحظ أن خطوط الفيض المغناطيسي تمثل مسارات متصلة ومغلقة داخل وخارج الملف حيث تكون هذه الخطوط عند محور الملف اللولبي وبالقرب منه على هيئة خطوط متوازية أي أن المجال المغناطيسي في هذه المنطقة يكون منتظماً.

♦ ولقد وجد أن كثافة الفيض المغناطيسي B عند مركز الملف اللولبي تتوقف على العوامل التالية:

1 - عدد اللفات في وحدة الأطوال n : فتتناسب كثافة الفيض المغناطيسي تناسباً طردياً مع عدد اللفات في وحدة الأطوال أو:

$$B \propto n \rightarrow 1$$

مع العلم بأن: عدد لفات الملف N = طول الملف $l \times$ في عدد اللفات الموجودة في وحدة الأطوال منه n أي أن:

$$N = l \times n \Leftrightarrow n = \frac{N}{l}$$

2 - شدة التيار الكهربائي I : فتتناسب كثافة الفيض المغناطيسي تناسباً طردياً مع شدة التيار الكهربائي أو:

$$B \propto I \rightarrow 2$$

♦ من 1 و 2 نجد أن:

$$B \propto nI \Leftrightarrow B = \text{const} \times nI \Rightarrow \boxed{B = \mu nI} \Leftrightarrow \boxed{B = \mu \frac{NI}{l}} \rightarrow 3$$

♦ ملحوظة: إذا كان لدينا ملف لولبي عدد لفاته N لفة ونصف قطر اللفة هو r فإن طول الملف يُعطى من العلاقة:

$$\text{طول الملف } l = \text{عدد اللفات } N \times \text{طول اللفة الواحدة.}$$

وحيث أن اللفة عبارة عن دائرة فيكون طولها هو محيطها $2\pi r$. أي أن:

$$l = N \times 2\pi r \Rightarrow N = \frac{l}{2\pi r}$$

- ♦ ولتعيين إتجاه خطوط الفيض المغناطيسي يُستخدم لذلك "قاعدة البريمة اليمنى" السابقة باعتبار أن الملف اللولبي يتكون من مجموعة ملفات دائرية متحدة المركز.
- ♦ ولعرفة نوع القطب في كلاً من وجهيه نستخدم "قاعدة عقارب الساعة" لنفس السبب السابق.
- ♦ وكما هو الحال بالنسبة لقضيب مغناطيسي فإن طرف الملف الذي تخرج منه خطوط الفيض المغناطيسي يكون هو القطب الشمالي للملف . أما الطرف الذي تدخل فيه خطوط الفيض المغناطيسي فيكون القطب الجنوبي للملف.

♦ أمثلة محلولة:

- 1 - إحسب كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة على محور ملف لولبي (حلزوني) ويدخله عندما يكون طول الملف 24 سم وعدد لفاته 20 لفة ويمر به تيار كهربائي شدة 0.24 أمبير؟

$$l = 24 \text{ cm} = 0.24 \text{ m} \quad \diamond \quad N = 20 \text{ turns} \quad \diamond \quad I = 0.24 \text{ Amp}$$

$$\Rightarrow B = \mu \frac{NI}{l} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{20 \times 0.24}{0.24} = 2.512 \times 10^{-5} \text{ Tesla}$$

- 2 - إذا وُضع داخل الملف السابق قضيب من الحديد المطاوع النفاذية المغناطيسية له 2×10^{-3} وير / أمبير. متر، فأوجد كثافة الفيض عند نفس النقطة السابقة؟

$$\mu = 2 \times 10^{-3} \text{ Weber / Amp} \times \text{m}$$

$$B = \mu \frac{NI}{l} = 2 \times 10^{-3} \times \frac{20 \times 0.24}{0.24} = 4 \times 10^{-2} \text{ Tesla}$$

- 3 - سلكان مستقيمان متوازيان البعد بينهما 3 سم ويحمل كلاً منهما تيار شدته 40 أمبير، فأحسب كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة بين السلكين وتبعد عن أحدهما 1 سم عندما يكون التيارين:
- أ / في نفس الإتجاه. ب / في إتجاهين متضادين.

المعطيات:

$$I_1 = I_2 = 40 \text{ Amp} \quad \diamond \quad d_1 = 1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m} \quad \diamond \quad d_2 = 2 \text{ cm} = 0.02 \text{ m}$$

الحل:

- ♦ أولاً: كثافة الفيض المغناطيسي عند النقطة A لكل سلك على حدة:

$$B_1 = \frac{\mu I_1}{2\pi d_1} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{40}{2\pi \times 0.01} = 8 \times 10^{-4} \text{ Tesla}$$

$$B_2 = \frac{\mu I_2}{2\pi d_2} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{40}{2\pi \times 0.02} = 4 \times 10^{-4} \text{ Tesla}$$

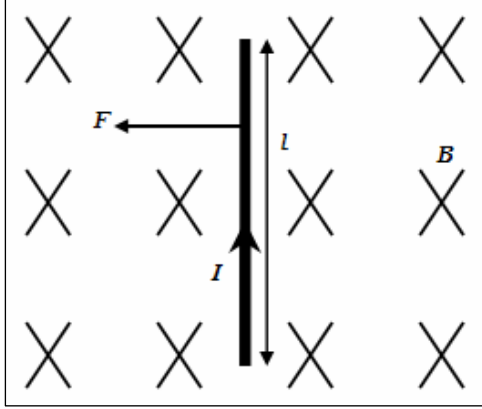
- ♦ ثانياً: عندما يكونا في نفس الإتجاه ومما سبق يكون:

$$B = B_1 - B_2 : B_1 > B_2 \Rightarrow B = B_1 - B_2 = 8 \times 10^{-4} - 4 \times 10^{-4} = 4 \times 10^{-4} \text{ Tesla}$$

- ♦ ثالثاً: عندما يكونا في إتجاهين متضادين يكون:

$$B = B_1 + B_2 \Rightarrow B = B_1 + B_2 = 8 \times 10^{-4} + 4 \times 10^{-4} = 12 \times 10^{-4} \text{ Tesla}$$

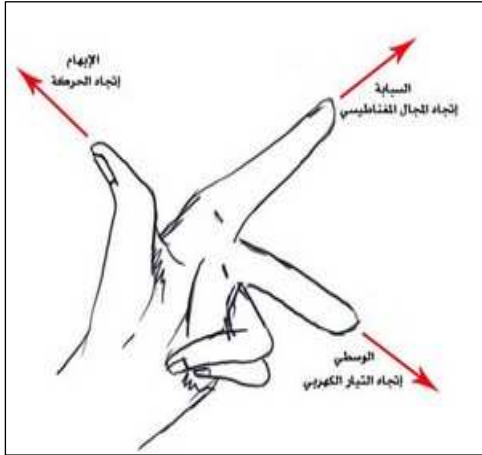
❖ ❖ القوة التي يؤثر بها مجال مغناطيسي على سلك يمر به تيار كهربائي ❖ ❖



❖ عندما يُوضع سلك مستقيم يمر به تيار كهربائي عمودياً بين قطبي مغناطيس فإنه سيتأثر بقوة تحركه في اتجاه معين. ❖ هذه القوة تكون عمودية على كلاً من السلك المستقيم (التيار الكهربائي) والمجال المغناطيسي بين قطبي المغناطيس (كما هو مبين في الشكل المقابل).

❖ ❖ وللتذكيرة: الرمز $\otimes$ يدل على أن اتجاه المجال المغناطيسي عمودي على الصفحة للدخل كما بينا سابقاً. وعندما ينعكس اتجاه التيار الكهربائي المار في السلك المستقيم فإن اتجاه القوة المحركة الناشئة سينعكس أيضاً وبالتالي يتحرك السلك المستقيم في الاتجاه المخالف للاتجاه الأول.

وفي كل الأحوال تكون القوة المحركة عمودية على كلاً من اتجاه التيار الكهربائي المار في السلك واتجاه المجال المغناطيسي بين قطبي المغناطيس.



❖ ويستخدم لتحديد اتجاه القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي المتعامد على السلك المستقيم الذي يمر به تيار كهربائي قاعدة تسمى بـ "قاعدة اليد اليسرى لفلمنج" والتي تنص على أنه "عند جعل أصابع اليد اليسرى الثلاث (الإبهام والسبابة والوسطى) متعامدة على بعضها البعض بحيث تُشير السبابة إلى اتجاه المجال المغناطيسي وتُشير الوسطى إلى اتجاه التيار الكهربائي فإن الإبهام يُشير عندئذ إلى اتجاه القوة المغناطيسية الناشئة والتي تحرك السلك المستقيم" (كما هو مبين في الشكل المقابل).

❖ ولقد وجد أن القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي المتعامد على السلك المستقيم الذي يمر به تيار كهربائي تتوقف على عدة عوامل هي:

1 - طول السلك l : فتناسب القوة المغناطيسية تناسباً طردياً مع طول السلك أو:

$$F \propto l \quad \rightarrow 1$$

2 - شدة التيار الكهربائي I : فتناسب القوة المغناطيسية تناسباً طردياً مع شدة التيار الكهربائي أو:

$$F \propto I \quad \rightarrow 2$$

3 - كثافة الفيض B : فتناسب القوة المغناطيسية تناسباً طردياً مع كثافة الفيض المغناطيسي أو:

$$F \propto B \quad \rightarrow 3$$

❖ ❖ من 1 و 2 و 3 نجد أن:

$$F \propto BIl \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{F = \text{const} \times BIl} \quad \rightarrow 4$$

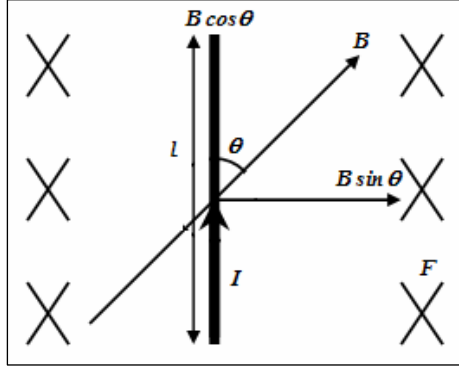
♦ ولقد اتفق على أن تؤثر وحدة كثافة الفيض المغناطيسي (التسلا) بقوة قدرها 1 نيوتن على سلك مستقيم طوله 1 متر يمر به تيار كهربى شدته 1 أمبير، وعندئذ يصبح المقدار الثابت مساوياً للواحد الصحيح أي أن:

$$F = BIl \quad \text{Newton} \quad \Rightarrow \quad B = \frac{F}{Il} \quad \text{Tesla} = \text{Newton} / \text{Amp} \times \text{m}$$

ومنها يمكن تعريف "التسلا" على أنها "كثافة الفيض المغناطيسي التي تولد قوة مقدارها 1 نيوتن على سلك طوله 1 متر يمر به تيار كهربى شدته 1 أمبير عندما يكون عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسي".

♦ ما معنى أن كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة = 2 تسلا؟

معنى ذلك أنه إذا وُضع عند هذه النقطة سلك مستقيم طوله 1 متر يمر به تيار كهربى شدته 1 أمبير عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسي (المجال المغناطيسي) فإنه يتأثر بقوة مقدارها 2 نيوتن.



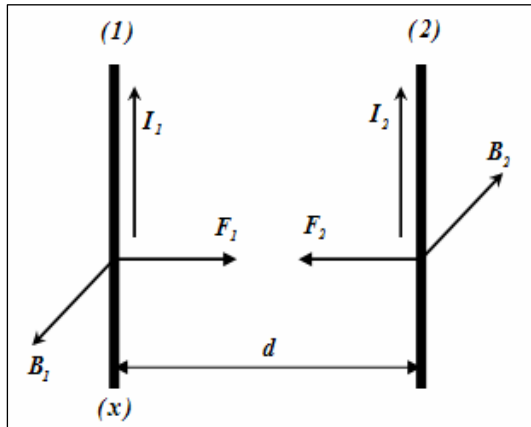
- هذا عندما يكون المجال المغناطيسي عمودياً على اتجاه التيار الكهربى المار في السلك المستقيم، أما عندما يميل المجال المغناطيسي B بزاوية θ على اتجاه التيار الكهربى المار في السلك المستقيم كما هو موضح بالشكل المقابل، فإنه سيتم تحليل كثافة الفيض المغناطيسي B إلى مركبتين متعامدتين أحدهما موازية لاتجاه التيار الكهربى وهي $B \cos \theta$ وهذه لا تؤثر بأي قوة على السلك. أما الأخرى فهي عمودية على اتجاه التيار الكهربى وهي $B \sin \theta$ وهذه المركبة هي التي تؤثر على السلك بقوة F (واتجاهها عمودي على الصفحة للداخل) حيث:

$$F = Il(B \sin \theta) = BIl \sin \theta$$

ومنها نلاحظ أنه عندما يكون التيار الكهربى والمجال المغناطيسي متوازيين فإن القوة F ستعتمد أي أن:

$$F = 0 \quad \text{at} \quad \theta = 0^\circ$$

♦ القوة الناشئة بين سلكين مستقيمين متوازيين ويحملان تيارين (1) و (2)



فإذا كان لدينا سلكين مستقيمين متوازيين ويمر في كل منهما تيار كهربى I_1 و I_2 فإنه ستنشأ بينهما قوة تكون جاذبة إذا كان التيارين في نفس الاتجاه وتنافرية إذا كانا في اتجاهين متضادين كما سبق وأن بينا.

- ولحساب القوة التي يؤثر بها مجال أحد السلكين على السلك الآخر نفترض الشكل التالي:

وفيه تُعطي كثافة الفيض المغناطيسي B_2 الناشئ عن مرور التيار I_2 في السلك 2 عند النقطة x والتي تبعد عنه مسافة عمودية قدرها d متر من العلاقة:

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

وعند وضع السلك 1 والذي يمر به تيار كهربائي قدره I_1 عند النقطة x فإنه سوف يتأثر بقوة مغناطيسية هي F_1 ناتجة عن المجال المغناطيسي للسلك 2 حيث:

$$F_1 = B_2 I_1 l \Rightarrow F_1 = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I_2}{d} I_1 l \Rightarrow \boxed{F_1 = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2 l}{d}}$$

حيث F_1 هي عبارة عن القوة المغناطيسية التي تؤثر على سلك يحمل تيار كهربائي نتيجة المجال المغناطيسي الناشئ عن سلك آخر يمر به تيار كهربائي موضوع على مسافة عمودية منه.
♦ أمثلة محلولة:

1 - إحسب الزاوية التي يعملها سلك مستقيم طوله 40 سم ويمر به تيار كهربائي قدره 2.5 أمبير مع مجال مغناطيسي منتظم كثافته فيضه 10^{-2} تسلا عندما يتأثر بقوة قدرها 0.005 نيوتن؟
المعطيات:

$$l = 40 \text{ cm} = 0.4 \text{ m} \quad \diamond \quad I = 2.5 \text{ Amp} \quad \diamond \quad B = 10^{-2} \text{ Tesla} \quad \diamond \quad F = 0.005 \text{ Newton}$$

الحل:

$$F = BIl \sin \theta \Rightarrow \sin \theta = \frac{F}{BIl} = \frac{0.005}{10^{-2} \times 2.5 \times 0.4} = 0.5$$

$$\theta = \sin^{-1} 0.5 = 30^\circ$$

2 - وضع سلكان متوازيان طويلا طول كلا منهما 75 سم في الهواء على بُعد 14 سم من بعضهما البعض فإذا مر تيار شدته 20 أمبير في السلك الأول وتيار شدته 10 أمبير في الثاني وكان كلا التيارين إتجاههما إلى أعلى فاحسب قيمة القوة المغناطيسية التي يؤثر بها أحد السلكين على الآخر؟
المعطيات:

$$\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Weber / Amp.} \times \text{m}$$

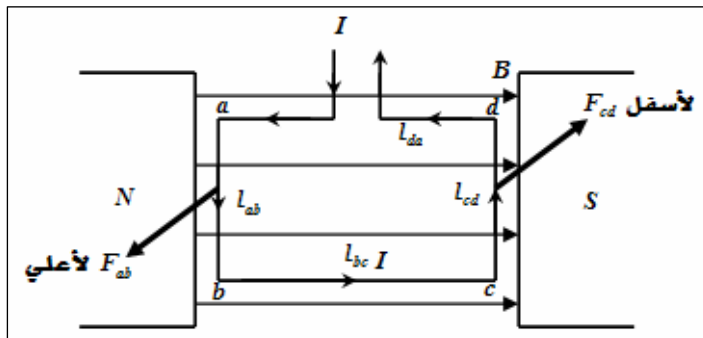
$$l = 75 \text{ cm} = 0.75 \text{ m} \quad \diamond \quad d = 14 \text{ cm} = 0.14 \text{ m} \quad \diamond \quad I_1 = 20 \text{ Amp} \quad \diamond \quad I_2 = 10 \text{ Amp}$$

الحل:

نعتبر أن المجال المغناطيسي للسلك الثاني هي الذي سيؤثر على السلك الأول، لذا يكون:

$$F_1 = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2 l}{d} = 2 \times 10^{-7} \frac{10 \times 20 \times 0.75}{0.14} = 2.1428 \times 10^{-4} \text{ Newton}$$

♦ القوة والعزم التي يؤثر بها مجال مغناطيسي على ملف مستطيل يمر به تيار كهربائي ♦



بفرض أن لدينا ملف على شكل مستطيل (abcd) موضوع في مجال مغناطيسي منتظم كثافته فيضه B تسلا بحيث يكون مستواه موازياً لخطوط المجال المغناطيسي (كما هو موضح بالشكل التالي).

فعندما يمر في الملف تيار كهربائي شدته I أمبير يكون كلاً من الضلعين bc و ad موازيين لخطوط الفيض المغناطيسي وبالتالي تكون القوة المؤثرة على كلاً منهما مساوية للصفر كما سبق وأن بينا . أما الضلعين ab و cd فيكونان متعامدين على خطوط الفيض وبالتالي تتأثران بقوتين متوازيتين ومتساويتان في المقدار ومتضادتين في الاتجاه.

حيث تكون القوة المؤثرة على الضلع ab هي F_{ab} وقيمتها BIl_{ab} واتجاهها لأعلى (تبعاً لقاعدة اليد اليسرى لفلمنج) بينما تكون القوة المؤثرة على الضلع cd هي F_{cd} وقيمتها BIl_{cd} واتجاهها لأسفل (تبعاً نفس القاعدة) (ملحوظة: $l_{ab} = l_{cd}$).

هاتان القوتان تكونان إزدواجاً يعمل على دوران الملف حول محوره في اتجاه عقارب الساعة . وحيث أن البعد العمودي بين القوتين هو l_{ad} أو l_{bc} لذا يُعطي "عزم الإزدواج" (ويُرمز له بالرمز τ) والذي هو عبارة عن قيمة إحدي القوتين $\times$ البعد العمودي بينهما من العلاقة:

$$\begin{aligned} \text{let} \quad & F_{ab} = F_{cd} = F \\ \text{and} \quad & l_{ab} = l_{cd} = l \\ \Rightarrow \quad & \tau = F \times l_{bc} = BIl \times l_{bc} \end{aligned}$$

ولكن المقدار $(l \times l_{bc})$ هو عبارة عن مساحة الملف A (الطول l $\times$ العرض l_{bc})، وبالتالي يكون:

$$\tau = BIA$$

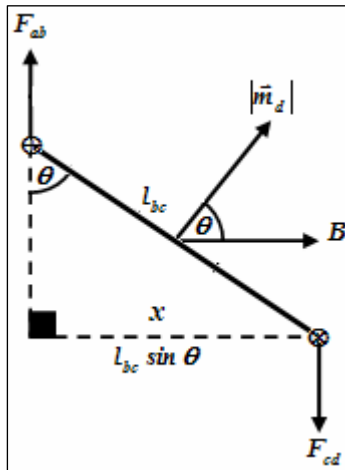
ومنها نلاحظ أن عزم الإزدواج يُقاس بوحدة النيوتن $\times$ متر $Newton \times meter$.

وإذا كان الملف يحتوي على عدد N من اللفات فإن العزم الكلي له يصبح على الصورة:

$$\tau = BIAN$$

ومنها نلاحظ أن المقدار (IAN) يُمثل ما يُعرف بـ "عزم ثنائي القطب المغناطيسي" والذي يُرمز له بالرمز $|\vec{m}_d|$ وهو كمية متجهة إتجاهها عمودياً على المساحة، أي أن:

$$\tau = BIAN = B \times |\vec{m}_d|$$



والنتيجة السابقة تكون فقط عندما يكون مستوي الملف موازياً لخطوط المجال المغناطيسي أما عندما يميل المجال المغناطيسي B بزاوية θ على إتجاه المتجه العمودي على مستوي الملف (إتجاه عزم ثنائي القطب المغناطيسي) (الشكل المقابل) فإن البعد العمودي x بين القوتين F_{ab} و F_{cd} يكون عبارة عن المقدار $l_{bc} \sin \theta$ (هندسياً) ويُعطي عزم الإزدواج من العلاقة:

$$\tau = F \times l_{bc} \sin \theta = BIl \times l_{bc} \sin \theta$$

$$\Rightarrow \tau = BIAN \sin \theta$$

ومنها نجد أن أقصى قيمة لعزم الإزدواج تكون عندما يكون إتجاه المجال المغناطيسي عمودياً على إتجاه عزم ثنائي القطب المغناطيسي أي عندما تكون $\theta = 90^\circ$.

المطل المباشر (ب)

|| أجهزة القياس الكهربائي ||

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الرابعة / الفصل العاشر : ثانياً / " أجهزة القياس الكهربى "

أجهزة القياس الكهربى

❖ مقدمة:

تنقسم أجهزة القياس الكهربى إلى نوعين أساسيين هما:

- 1 - أجهزة القياس المباشر: مثل الجلفانومتر ذو الملف المتحرك والأميتر والأومميتر والفولتميتر، وهي أجهزة سهلة الاستخدام ولكنها غير دقيقة.
 - 2 - أجهزة القياس الغير مباشر: مثل القنطرة المترية وقنطرة هويتستون ومقياس الجهد، وهي أكثر دقة ولكنها تحتاج إجراء عمليات حسابية.
- وفي هذا الجزء إن شاء الله سنقوم بدراسة أجهزة القياس المباشرة والتي تعتمد فكرة عملها على التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى، وأبسط هذه الأجهزة هو:

❖ ❖ الجلفانومتر ذو الملف المتحرك ❖ ❖

والجلفانومتر ذو الملف المتحرك هو جهاز يستخدم في:

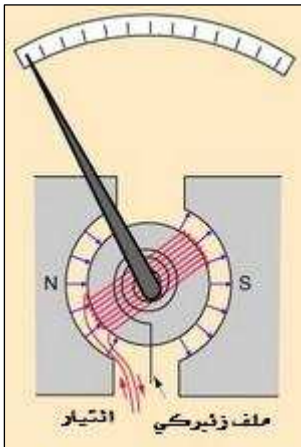
❖ الاستدلال على وجود تيارات كهربية ضعيفة جداً في دائرة ما.

❖ قياس شدة هذه التيارات وتحديد اتجاهها.

❖ ❖ فكرة عمله:

تعتمد فكرة عمل الجلفانومتر ذو الملف المتحرك كما سبق وأن قلنا على التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى، فعندما يمر تيار كهربى في ملف قابل للدوران في مجال مغناطيسى فإنه يتأثر بعزم ازدواج يعمل على حرف هذا الملف بزاوية معينة تتناسب مع شدة التيار الكهربى المار فيه.

❖ ❖ تركيبه (كما هو مبين بالشكل):



1 - ملف مستطيل عبارة عن سلك رفيع من النحاس أو الألومنيوم معزول وملفوف حول قلب من الحديد المطاوع على شكل أسطوانة سهلة الدوران حول محورها.

2 - يرتكز الملف على حوامل من العقيق بحيث يقع بين قطبي مغناطيس قوي على شكل حذاء الفرس قطباه المتقابلان مقعران مما يؤدي إلى تنظيم وتركيز الفيض المغناطيسى بينهما.

3 - يوجد زوج من الملفات اللولبية (الزنبركية) أحدهما علوي والآخر سفلي، وهذان الملفان يعملان على:

(أ) توصيل التيار الكهربى إلى الملف: حيث يُستخدم أحدهما لدخول التيار في الملف والآخر لخروج التيار منه.

(ب) التحكم في حركة الملف: حيث ينشأ عن قوة اللي الموجودة في الزنبركين ازدواج يعمل في عكس اتجاه الازدواج الناشئ عن مرور التيار الكهربى في الملف.

- (ج) عودة الملف إلى وضعه الأصلي عند قطع التيار عنه.
- 4 - يُثبت في الملف مؤشر خفيف من الألومنيوم يتحرك على تدريج منتظم.

❖ علل: في الجلفانومتر ذو الملف المتحرك يكون القطبان المغناطيسيان المتقابلان مقعران كما يُلَف الملف حول أسطوانة من الحديد المطاوع؟

وذلك حتي تكون خطوط الفيض المغناطيسي بينهما على هيئة أنصاف أقطار للأسطوانة وبالتالي يُصبح مستوي الملف في أي موضع موازياً لخطوط الفيض المغناطيسي وعندئذ تكون كثافة الفيض ثابتة في الحيز الذي يتحرك فيه الملف وهذا بدوره يجعل زاوية انحراف المؤشر متناسبة مع شدة التيار المار في الملف.

❖ شرح عمله:

1. عندما يمر التيار الكهربائي في الملف فإن القوة المغناطيسية الناتجة تولد عزم إزدواج يعمل على دوران الملف في اتجاه معين وليكن في اتجاه حركة عقارب الساعة.
2. يتحرك المؤشر مع الملف في نفس الاتجاه.
3. يتولد عزم إزدواج يعمل في اتجاه عكس اتجاه حركة عقارب الساعة وهو ناشئ عن قوة اللي في الملفات الزنبركية.
4. يستقر الملف وبالتالي المؤشر في موضع معين عندما يتزن عزم الإزدواج الناتج عن القوة المغناطيسية مع العزم الناتج عن قوة اللي.
5. عند عكس اتجاه التيار في الملف فإن الملف وبالتالي المؤشر يدوران في الاتجاه المخالف للإتجاه الأول.
6. تدل قراءة المؤشر على التدريج على قيمة شدة التيار الكهربائي المار.

❖ حساسية الجلفانومتر:

تُقاس "حساسية الجلفانومتر" بـ "مقدار زاوية انحراف المؤشر عندما يمر في الملف تيار كهربائي شدته الوحدة".
❖ أي أن:

$$\text{حساسية الجلفانومتر} = \frac{\theta}{I} \quad (\text{درجة/ميكرو أمبير}) \text{ أو } (deg/\mu Amp)$$

❖ ملحوظة: تم استخدام وحدة الميكرو أمبير كوحدة لقياس شدة التيار المار في الجلفانومتر لأن التيارات الضعيفة غالباً ما تُقاس بهذه الوحدة.

❖ ما معنى أن: حساسية الجلفانومتر = 0.2 درجة / ميكرو أمبير؟

معني ذلك أنه عندما يمر في الجلفانومتر تيار كهربائي شدته 1 ميكرو أمبير فإنه يصنع زاوية انحراف قدرها 0.2 درجة.

❖ مما سبق نجد أن الجلفانومتر ذو الملف المتحرك لا يصلح لقياس التيارات ذات الشدة العالية وذلك لأن نظام تعليق الملف يختل نتيجة الانحراف الكبير له وتلف الركائز التي يستند عليها وأيضاً إنصهار سلك الملف نتيجة للحرارة المتولدة فيه عند مرور تيار عالي الشدة خلاله.

كما يجب صيانة أو معايرة الجلفانومتر ذو الملف المتحرك بعد فترات مختلفة من الإستعمال لأن قوي اللي المختزنة في الملفين الزنبركين تقل بكثرة الإستعمال.

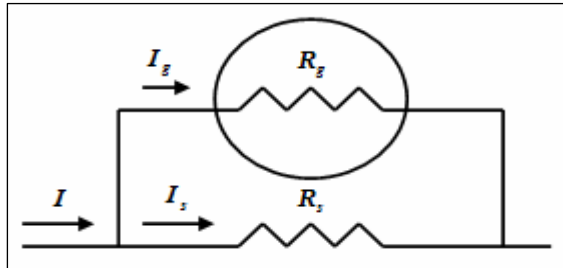
♦ تطبيقات على الجلفانومتر:

♦ ♦ أميتر التيار المستمر ♦ ♦

✕ من المعروف أن الأميتر جهاز يستخدم لقياس التيار الكهربائي ذو الشدة العالية مباشرة كما أنه يوصل في الدائرة الكهربائية على التوالي.

✕ وحيث أن الجلفانومتر ذو الملف المتحرك يستخدم لقياس شدة التيارات الضعيفة لذا يمكن اعتبار الأميتر عبارة عن جلفانومتر ذو ملف متحرك غير أن مداه (أي الجلفانومتر) محدود بحساسية ملفه المتحرك.

✕ ولزيادة مدى الجلفانومتر وجعله يقيس شدة التيارات العالية (أي تحويله إلى أميتر) يوصل بملفه (أي ملف الجلفانومتر) مقاومة صغيرة جداً على التوالي تسمى بـ "مجزئ التيار" ويرمز لها بالرمز R_s .



✕ وبالتالي فإن الأميتر يتركب من جلفانومتر ذو ملف متحرك يوصل بملفه على التوالي مجزئ للتيار كما بالشكل.

♦ فائدة مجزئ التيار:

0 حيث أن مجزئ التيار عبارة عن مقاومة صغيرة جداً موصلة على التوالي مع الجلفانومتر ذو الملف المتحرك لذا تُصبح المقاومة الكلية للأميتر صغيرة جداً (أصغر من أصغر مقاومة) الأمر الذي لا يؤثر بدرجة ملحوظة في شدة التيار المراد قياسه عندما يوصل الأميتر في الدائرة على التوالي.

0 حيث أن التوصيل على التوالي لذا يتجزأ التيار ويمر الجزء الأعظم منه وليكن I_s في المجزئ ويمر الباقي وليكن I_g في ملف الجلفانومتر وبالتالي يصبح الجهاز صالحاً لقياس تيارات ذات شدة أكبر مما كان الملف يتحملها بمفرده.

0 كلما قلت مقاومة مجزئ التيار في الأميتر كلما أمكن استخدامه لقياس تيارات كهربائية ذات شدة أكبر.

♦ مما سبق ومن الشكل السابق نلاحظ أن:

(1) التيار الكلي وليكن I هو:

$$I = I_s + I_g \Rightarrow I_s = I - I_g$$

حيث I_s هو التيار المار في المجزئ و I_g هو التيار اللازم لجعل مؤشر الجلفانومتر ينحرف إلى نهاية التدريج.

(2) وبفرض أن R_s هي مقاومة مجزئ التيار و R_g هي مقاومة ملف الجلفانومتر وهما عبارة عن مقاومتين متصلتين على التوالي لذا يكون فرق الجهد بين طرفيهما واحداً أي أن:

$$I_s R_s = I_g R_g \Rightarrow R_s = \frac{I_g R_g}{I_s}$$

♦ ♦ وبالتعويض عن قيمة I_s نحصل على العلاقة التالية:

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$$

ومنها يمكن تعيين مقاومة مجزئ التيار R_s التي يلزم إضافتها إلى ملف الجلفانومتر ليتحول إلى أميتر يقيس تيار شدته I أمبير.

❖ ملحوظة: يوصل الأميتر في الدائرة الكهربائية على التوالي حتي يكون التيار المار فيه هو نفسه التيار المار في الدائرة، كما أن مقاومة الأميتر يجب أن تكون صغيرة جداً حتي لا تؤثر في شدة التيار المطلوب قياسه.

❖ مثال محلول:
جلفانومتر مقاومة ملفه 2 أوم يتطلب إنحرافه إلى نهاية تدريجه مرور تيار شدته 5 ميلي أمبير، فما هي قيمة مجزئ التيار اللازم إضافتها إليه ليتحول إلى أميتر النهاية العظمي لتدريجه 10 أمبير؟
المعطيات:

$$R_g = 2\Omega \quad \diamond \quad I_g = 5\text{mAmp} = 5 \times 10^{-3}\text{Amp} \quad \diamond \quad I = 10\text{Amp}$$

الحل:

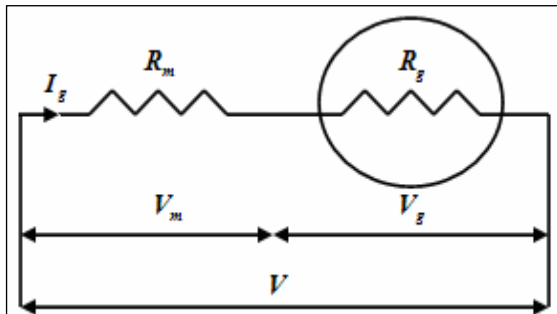
$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{5 \times 10^{-3} \times 2}{10 - 0.005} = 0.001\Omega$$

❖ فولتميتر التيار المستمر ❖

❑ يستخدم الفولتميتر لقياس فرق الجهد بين أي نقطتين في دائرة كهربية وأيضاً لقياس القوة الدافعة الكهربائية لعمود أو بطارية.

❑ ويوصل الفولتميتر على التوازي بين طرفي الموصل المطلوب قياس فرق الجهد بين طرفيه لذا يجب أن تكون مقاومة الفولتميتر عالية حتي لا يسحب تياراً كبيراً من الدائرة الأصلية فلا تتأثر شدة التيار المار فيها تأثيراً ملحوظاً وبالتالي لا يحدث تغير في فرق الجهد المطلوب قياسه.

❑ وحيث أن فرق الجهد بين طرفي ملف الجلفانومتر صغير جداً حتي مع إنحراف مؤشره إلى نهاية التدريج فإنه لتحويل الجلفانومتر ذو الملف المتحرك إلى فولتميتر يجب أن يوصل بملفه (أي ملف الجلفانومتر) مقاومة كبيرة جداً على التوالي تسمى بـ "مضاعف الجهد" ويرمز لها بالرمز R_m .



❑ وبالتالي فإن الفولتميتر يتركب من جلفانومتر ذو ملف متحرك يوصل بملفه على التوالي مضاعف للجهد كما بالشكل.

❖ فائدة مضاعف الجهد:

0 حيث أن مضاعف الجهد عبارة عن مقاومة كبيرة جداً موصلة على التوالي مع الجلفانومتر ذو الملف

المتحرك لذا تُصبح المقاومة الكلية للفولتميتر كبيرة جداً (أكبر من أكبر مقاومة) وبالتالي يكون فرق الجهد بين طرفي الفولتميتر مساوياً لفرق الجهد المراد قياسه الذي يبقى ثابتاً تقريباً.

0 كلما زادت قيمة مقاومة مضاعف الجهد في الفولتميتر كلما أمكن استخدامه لقياس فروق جهد قيمتها أكبر.

♦ مما سبق ومن الشكل السابق:

(1) بفرض أن V_m هو فرق الجهد بين طرفي المضاعف و V_g هو فرق الجهد اللازم لجعل مؤشر الجلفانومتر ينحرف إلى نهاية التدرج حيث:

$$V_m = I_g R_m, \quad V_g = I_g R_g$$

(2) وبفرض أن R_m هي مقاومة مضاعف الجهد و R_g هي مقاومة ملف الجلفانومتر وهما عبارة عن مقاومتين متصلتين على التوالي لذا يمر فيهما نفس التيار الذي هو عبارة عن I_g ويكون فرق الجهد المطلوب قياسه عبارة عن:

$$V = V_m + V_g \Rightarrow V_m = V - V_g \Rightarrow I_g R_m = V - V_g$$

$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g}$$

ومنها يمكن تعيين مقاومة مضاعف الجهد R_m التي يلزم إضافتها إلى ملف الجلفانومتر ليتحول إلى فولتميتر يقيس فرق جهد مقداره V فولت.

♦ ملحوظة: المقاومة الكلية للفولتميتر عبارة عن:

$$R = R_m + R_g \Rightarrow V = I_g (R_m + R_g)$$

لأن كلا من R_m و R_g موصلتين على التوالي.

♦ مثال محلولة:

فولتميتر مُعد لقراءة 150 فولت عند نهاية إنحراف مؤشره، فإذا كانت مقاومة ملفه (ملف الجلفانومتر) 50 أوم وشدة التيار المار فيه هي 4×10^{-4} أمبير، فاحسب قيمة مقاومة مضاعف الجهد المتصل بملفه؟
المعطيات:

$$V = 150 \text{ Volts} \quad \diamond \quad R_g = 50 \Omega \quad \diamond \quad I_g = 4 \times 10^{-4} \text{ Amp}$$

الحل:

$$\therefore V_g = I_g R_g = 4 \times 10^{-4} \times 50 = 0.02 \text{ Volts}$$

$$\Rightarrow R_m = \frac{V - V_g}{I_g} = \frac{150 - 0.02}{4 \times 10^{-4}} = 374950 \Omega$$

♦ مقارنة بين الأميتر والفولتميتر:

وجه المقارنة	الأميتر	الفولتميتر
الوظيفة	قياس شدة التيار مباشرة بالأمبير أو الميللي أمبير.	قياس فرق الجهد مباشرة بالفولت أو الميللي فولت.
التوصيل في الدائرة	على التوالي.	على التوازي.
يوصل بملف الجلفانومتر	مقاومة صغيرة على التوازي (مجزئ التيار).	مقاومة كبيرة على التوالي (مضاعف الجهد).
المقاومة الكلية للجهاز	صغيرة جداً.	كبيرة جداً.

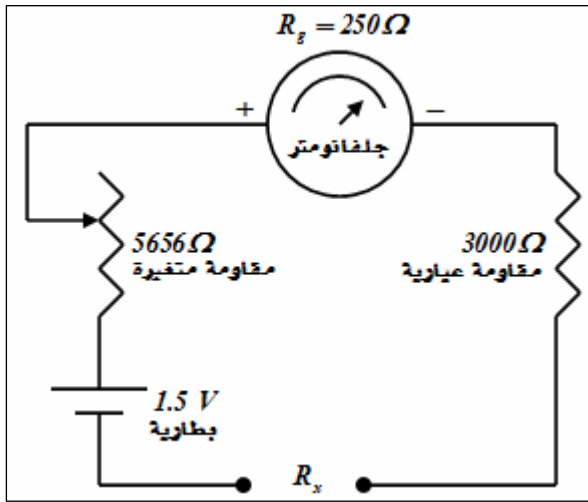
♦♦ الأوميمتر ♦♦

✗ يعتمد قياس مقاومة ما على شدة التيار التي تسري في الدائرة وعلى الإنخفاض في الجهد عبر طرفي هذه المقاومة فإذا علمنا شدة التيار المار وفرق الجهد بين طرفي المقاومة فإنه يمكن ببساطة تعيين قيمتها من قانون أوم.

✗ وإذا ثبتنا فرق الجهد عند قيمة معينة فيمكننا رفع الفولتميتر من الدائرة ومعايرة الجلفانومتر ليعطي قيمة مقاومة مجهولة مباشرة حيث أنه مع زيادة المقاومة تقل شدة التيار المار في الدائرة (عند ثبوت فرق الجهد).

✗ أي أن الأوميمتر عبارة عن جلفانومتر ذو ملف متحرك معدل لقياس مقاومة أي جزء من أجزاء الدائرة مباشرة.

♦ تركيب الأوميمتر:



1. فكما هو موضح في الشكل المقابل نجد أن

الأوميمتر يتركب من:

2. ميكرو أميتر مقاومته R_g قيمتها 250 أوم

وأقصى قراءة له (I_g) 400 ميكرو أمبير.

3. ملحوظة: يمكن اعتبار الجلفانومتر عبارة عن

ميكرو أميتر.

4. مقاومة عيارية (ثابته) ولتكن R_c قيمتها

3000 أوم.

5. مقاومة متغيرة (ريوستات) ولتكن R_r مداها من صفر إلى 5656 أوم، وتستخدم في تغيير مقاومة

الأوميمتر الكلية حتي ينحرف مؤشره إلى نهاية تدريجه.

6. عمود كهربى قوته الدافعة الكهربائية ولتكن V_B قيمتها 1.5 فولت مع إهمال مقاومته الداخلية

$(r = 0)$.

7. توصيل المقاومة المجهولة R_x المطلوب إيجاد قيمتها بين طرفي الإختبار للجهاز كما هو مبين

بالشكل.

♦ معايرة الأوميمتر:

(1) نغلق الدائرة بدون أن نضع أي مقاومة وذلك بتلامس طرفي الإختبار للجهاز عندئذ يمر تيار كهربى في الدائرة.

(2) نعدل المقاومة المتغيرة حتي ينحرف المؤشر إلى نهاية التدريج وعندئذ يمر أقصى تيار في الميكرو أميتر

(400 ميكرو أمبير) وتعتبر نهاية التدريج هذه هي صفر للأوميمتر وذلك لأن المقاومة المجهولة

$R_x = 0$ وفي هذه الحالة تكون مقاومة الريوستات = 500 أوم لأن:

المقاومة الكلية للجهاز = القوة الدافعة ÷ شدة التيار

أي أن:

$$R = \frac{1.5}{400 \times 10^{-6}} = 3750 \Omega$$

وتكون مقاومة الريوستات = $3750 - 3250 = 500$ أوم.

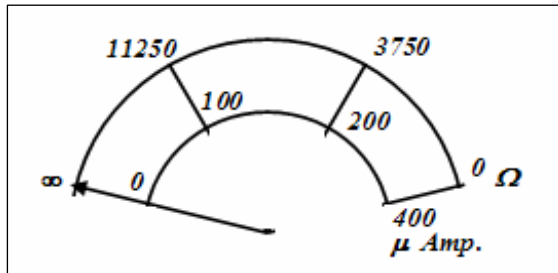
(3) إذا وصلنا مقاومة معلومة بالجهاز فإن المقاومة الكلية للدائرة تزداد وبالتالي تقل شدة التيار ويكون

المؤشر أقل إنحرافاً، وبهذه الطريقة يمكن معايرة الجهاز بدلالة قيمة المقاومة التي تم إدخالها وذلك حسب

الجدول التالي :

$R_x (\Omega)$	$I (\mu Amp)$	$R_x (\Omega)$	$I (\mu Amp)$	$R_x (\Omega)$	$I (\mu Amp)$	$R_x (\Omega)$	$I (\mu Amp)$
0	400	3750	200	11250	100	∞	0

❖ **تدريج الأومميتر:**



من الجدول السابق والشكل المقابل نلاحظ أن تدريج

الأومميتر عكس تدريج الميكرو أميتر وذلك لأن :

1 - الصفر على تدريج الميكرو أمبير يدل على

أن شدة التيار = صفر وعندئذ تكون المقاومة

أكبر ما يمكن (ما لا نهاية).

2 - نهاية تدريج الميكرو أميتر تدل على أن شدة التيار نهاية عظمى وعندئذ تكون المقاومة منعدمة

(صفرًا).

3 - كلما زادت المقاومة قلت شدة التيار وبالتالي يقل إنحراف المؤشر.

4 - أقسام تدريج الأومميتر ليست متساوية : حيث تتباعد في الجهة اليمنى وتتقارب في الجهة

اليسرى.

❖ هذا وتسمى أجهزة القياس التي تعتمد على قراءة المؤشر بـ "الأجهزة التناظرية" أما النوع الآخر من

الأجهزة والتي تعتمد على قراءة الأعداد على شاشة صغيرة فتسمى بـ "الأجهزة الرقمية" وهي تعتمد على

الإلكترونيات الرقمية ويمتاز هذا النوع من الأجهزة بأنها متعددة الأغراض حيث يمكن بجهاز واحد منها

قياس كل من التيار والجهد والمقاومة.

♦♦ مثال محلول:

جلفانومتر مقاومته 25 أوم يصل مؤشره إلى نهاية تدريجه إذا مر به تيار شدته 0.02 أمبير، فإذا أُريد تعديله إلى أومميتر فما مقدار المقاومة العيارية التي يجب إستخدامها علماً بأن القوة الدافعة الكهربائية للعمود المستخدم = 1.5 فولت؟

وما مقدار المقاومة التي عند قياسها بواسطة الأومميتر تجعل المؤشر ينحرف إلى 10 ميلي أمبير؟
المعطيات:

$$V_B = 1.5 \text{Volts} \quad \diamond \quad R_g = 25 \Omega \quad \diamond \quad I_{g_1} = 0.02 \text{Amp} \quad \diamond \quad I_{g_2} = 10 \times 10^{-3} \text{Amp}$$

الحل:

بفرض أن المقاومة العيارية هي R_c والمقاومة الكلية للدائرة في حالة عدم إضافة أي مقاومة خارجية هي R' .

$$\Rightarrow R' = \frac{V_B}{I_{g_1}} = \frac{1.5}{0.02} = 75 \Omega$$

$$\therefore R' = R_c + R_g \Rightarrow R_c = R' - R_g = 75 - 25 = 50 \Omega \rightarrow 1$$

وبفرض أن المقاومة الكلية للدائرة في حالة وجود مقاومة خارجية ولتكن R هي R'' .

$$\Rightarrow R'' = \frac{V_B}{I_{g_2}} = \frac{1.5}{10 \times 10^{-3}} = 150 \Omega$$

$$\therefore R'' = R_c + R_g + R \Rightarrow R = R'' - R_c - R_g = 150 - 75 = 75 \Omega \rightarrow 2$$

المجلد الحادي عشر

الحث الكهرومغناطيسي

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الرابعة / الفصل الحادي عشر: "الحث الكهرومغناطيسي"

الحث الكهرومغناطيسي

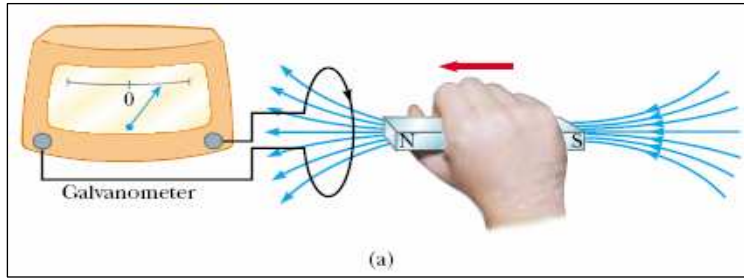
❖ مقدمة:

في عام 1819 م أثبت العالم أورستيد أن التيار الكهربائي عند مروره في موصل فإنه يولد مجالاً مغناطيسياً حزل هذه الموصل.

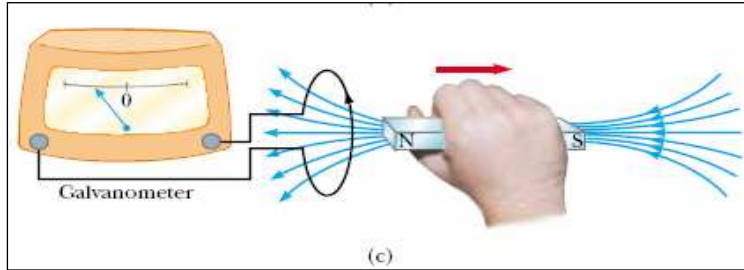
أما في عام 1831 م فقد أثبت العالم فاراداي العكس، حيث أثبت أنه يمكن استخدام المجال المغناطيسي في توليد تيار كهربائي في دائرة مغلقة وهو ما يُعرف بالحث الكهرومغناطيسي الذي تُبنى عليه فكرة عمل وتشغيل معظم الأجهزة الكهربائية كالمولدات والمحولات الكهربائية.

❖ ❖ تجربة فاراداي ❖ ❖

1 - قام فاراداي بإعداد ملف من سلك معزول من النحاس ثم قام بتوصيله بجلفانومتر حساس تدريجه في المنتصف.



2 - عند إدخال المغناطيس في الملف فإن لفات السلك تقطع خطوط الفيض المغناطيسي ويلاحظ انحراف مؤشر الجلفانومتر انحرافاً لحظياً في اتجاه معين.



3 - عند إخراج المغناطيس من الملف فإن لفات السلك تقطع خطوط الفيض المغناطيسي أيضاً ويلاحظ انحراف مؤشر الجلفانومتر انحرافاً لحظياً في الاتجاه المضاد.

4 - عند تثبيت المغناطيس وتحريك الملف نحو المغناطيس أو بعيداً عنه حصل على نفس النتائج. ❖ ❖ نستنتج مما سبق:

أنه إذا قطع موصل مجالاً مغناطيسياً فإنه يتولد في الموصل قوة دافعة كهربائية تسمى بـ "القوة الدافعة المستحثة" يُرمز لها بالرمز (emf) كما يمر في الموصل تيار كهربائي يسمى بـ "التيار المستحث" وتسمى هذه الظاهرة بـ "الحث الكهرومغناطيسي".

فـ "الحث الكهرومغناطيسي" هو "ظاهرة تولد قوة دافعة مستحثة والتيار الكهربائي مستحث في موصل عندما يقطع خطوط الفيض المغناطيسي".

♦ ♦ قانون فاراداي ♦ ♦

قام فاراداي بعدد من التجارب خلص من خلالها إلى العوامل التي يتوقف عليها مقدار القوة الدافعة المستحثة المتولدة في موصل، هذه العوامل هي:

1 - الحركة النسبية بين الموصل والمجال المغناطيسي: حيث تعمل على إحداث تغير في عدد خطوط الفيض المغناطيسي التي يقطعها الموصل في زمن معين ... وبمعنى آخر ... تعمل على إحداث تغير في المعدل الزمني الذي يقطع به الموصل خطوط الفيض المغناطيسي الأمر الذي يؤدي أن تتولد قوة دافعة مستحثة فيه، ويتناسب مقدار هذه القوة الدافعة المستحثة تناسباً طردياً مع المعدل الزمني الذي يقطع به الموصل خطوط الفيض المغناطيسي، أي أن:

$$emf \propto \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t}$$

حيث $\Delta \Phi_m$ هو التغير في خطوط الفيض المغناطيسي المقطوعة في الفترة الزمنية Δt ، ويتوقف هذا المعدل على كلاً من كثافة الفيض المغناطيسي وسرعة حركة المغناطيس.

2 - إتجاه هذه الحركة: حيث يتوقف إتجاه القوة الدافعة المستحثة على إتجاه حركة الموصل.

3 - عدد لفات الملف: حيث يتناسب مقدار القوة الدافعة المستحثة تناسباً طردياً مع عدد لفات الملف الذي يقع خطوط الفيض، أي أن:

$$emf \propto N$$

♦ ♦ مما سبق نجد أن مقدار القوة الدافعة المستحثة يتعين من العلاقة:

$$emf = -N \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t}$$

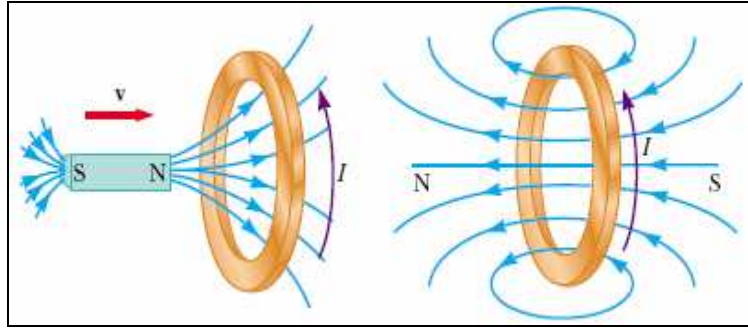
وهي ما يُعرف بـ "قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي" والذي ينص على أن "مقدار القوة الدافعة المستحثة المتولدة في موصل بالحث الكهرومغناطيسي يتناسب تناسباً طردياً مع المعدل الزمني الذي يقطع به الموصل خطوط الفيض".

♦ وتدل الإشارة السالبة على أن إتجاه القوة الدافعة المستحثة وبالتالي إتجاه التيار يُعاكس التغير المسبب له وهو ما يُعرف بـ "قاعدة لنز".

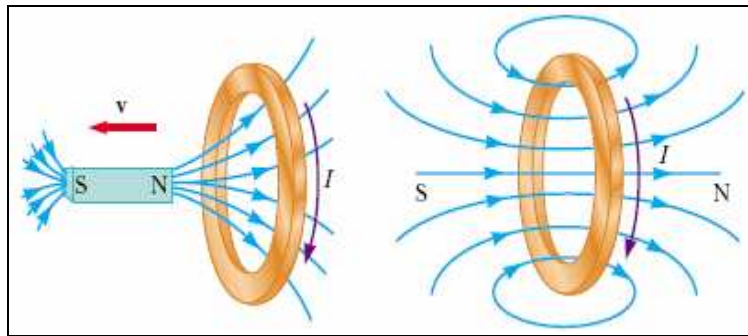
♦ ♦ قاعدة لنز ♦ ♦

- تنص "قاعدة لنز" على أن "التيار الكهربائي المستحث المتولد في الموصل يأخذ الإتجاه الذي يُعاكس التغير المسبب له"، فمثلاً:

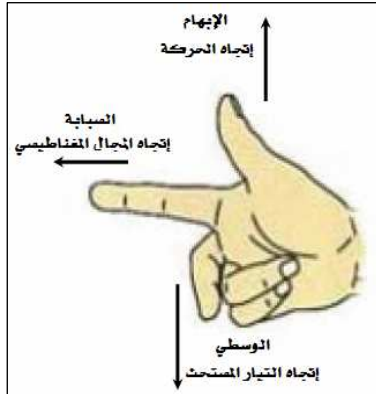
1 - عند تقريب القطب الشمالي لمغناطيس من ملف ما فإنه يتولد فيه تيار كهربائي مستحث يمر في إتجاه معين بحيث يتكون قطب شمالي عند طرف الملف المواجه للقطب الشمالي للمغناطيس فتعمل قوى التنافر الناتجة بين القطبين المتشابهين على مقاومة حركة تقريب هذا القطب (وهو التغير المسبب للتيار المستحث).



2 - أما عند إبعاد القطب الشمالي لمغناطيس عن الملف فإنه يتولد فيه تيار كهربائي مستحث يمر في الإتجاه المضاد بحيث يتكون قطب جنوبي عند طرف الملف المواجه للقطب الشمالي للمغناطيس فتعمل قوى التجاذب الناتجة بين القطبين المختلفين على مقاومة حركة إبعاد هذا القطب المؤثر (وهو التغير المسبب للتيار المستحث).



❖ ❖ إتجاه التيار الكهربائي المستحث في سلك مستقيم ❖ ❖



❖ يمكن تعيين إتجاه التيار المستحث المتولد في سلك مستقيم باستخدام ما يُعرف بـ "قاعدة اليد اليمنى لفلمنج" والتي تنص على أنه: "عند جعل أصابع اليد اليمنى الثلاث (الإبهام والسبابة والوسطى) متعامدة على بعضها البعض بحيث تُشير السبابة إلى إتجاه المجال المغناطيسي ويُشير الإبهام إلى إتجاه حركة السلك فإن الوسطى تُشير عندئذ إلى إتجاه التيار الكهربائي المستحث المار في هذا السلك". (كما هو مبين في الشكل المقابل).

❖ ❖ الحث المتبادل ❖ ❖

❖ إذا وُضع ملفان أحدهما داخل الآخر أو بالقرب منه فإن تغير شدة التيار المار في أحدهما يولد قوة دافعة مستحثة في الآخر، أي أن الملفين يؤثر كلاً منهما في الآخر لذلك يسمى هذه التأثير بـ "الحث المتبادل".

- وحيث أن القوة الدافعة المستحثة تتناسب تناسباً طردياً مع التغير في الفيض المغناطيسي حيث:

$$emf \propto \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t}$$

كما أن الفيض المغناطيسي يتناسب أيضاً تناسباً طردياً مع شدة التيار الكهربائي المار حيث:

$$\frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t} \propto \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

- لذا فإن القوة الدافعة المستحثة المتولدة في الملف الثاني تتناسب طردياً مع معدل التغير في شدة التيار الكهربائي المار في الملف الأول، أي أن:

$$emf_2 \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{emf_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}}$$

- حيث M مقدار ثابت يسمى "معامل الحث المتبادل بين الملفين" وهو عبارة عن "مقدار القوة الدافعة المستحثة المتولدة في أحد الملفين عندما تتغير شدة التيار في الملف الآخر بمعدل 1 أمبير في الثانية".
- والإشارة السالبة تدل على أن القوة الدافعة المستحثة تُعاكس التغير المسبب لها حسب قاعدة لنز.
 - ومعامل الحث المتبادل بين الملفين يُقاس بوحدة تسمى "الهنري $Henry$ " ومن العلاقة السابقة نجد أن:

$$M = - emf_2 \frac{\Delta t}{\Delta I_1}$$

♦ أي أن:

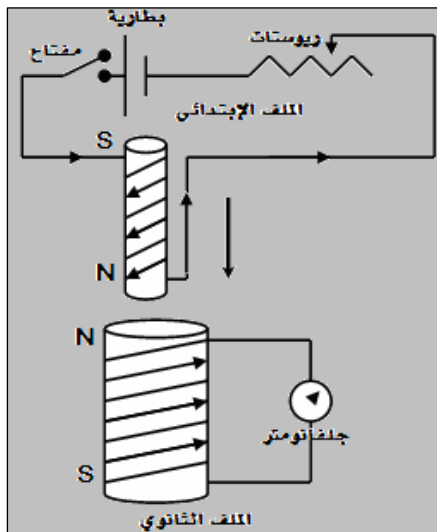
$$Henry = Volt.sec / Amp$$

- ومنها يمكن تعريف "الهنري" أو "وحدة قياس معامل الحث المتبادل بين الملفين" على أنه "معامل الحث المتبادل بين ملفين يتولد في أحدهما قوة دافعة مستحثة مقدارها 1 فولت عندما تتغير شدة التيار في الملف الآخر بمعدل 1 أمبير في الثانية".

♦ ويتوقف معامل الحث المتبادل بين ملفين على كل من:

- 1 - وجود قلب من الحديد داخل الملف (النفاذية المغناطيسية للقلب).
- 2 - حجم الملف وعدد لفاته.
- 3 - المسافة الفاصلة بين الملفين.

♦ ♦ تجربة لدراسة الحث المتبادل بين ملفين ♦ ♦



- لدراسة الحث المتبادل بين ملفين نعتبر الشكل المقابل وفيه:
- ♦ يوصل أحد الملفين ببطارية ومفتاح وريوستات ويوضع بداخله قلب من الحديد المطاوع ويُعرف هذا الملف بـ "الملف الابتدائي".
- أما الملف الثاني فيوصل بجللفانومتر حساس صفره في منتصف التدرج ويُعرف هذا الملف بـ "الملف الثانوي".
- أي أن "الملف الابتدائي" هو "الملف الذي يمر به تيار كهربائي متغير الشدة فيتولد حوله وبداخله مجال مغناطيسي".
- أما "الملف الثانوي" فهو "الملف الذي يقطع خطوط الفيض المغناطيسي فيتولد فيه قوة دافعة مستحثة وتيار مستحث إذا كانت دائرته مغلقة".

♦ ♦ التجربة:

- 1 - نغلق دائرة الملف الابتدائي ونقربه (أو ندخله) من (أو في) الملف الثانوي فنلاحظ انحراف مؤشر الجللفانومتر في اتجاه معين دليلاً على تولد قوة دافعة مستحثة في الملف الثانوي وذلك نتيجة لتغير خطوط

الفيض المغناطيسي التي تمر بلفات هذا الملف، وعند إبعاد الملف الابتدائي (أو إخرجه) عن (أو من) الملف الثانوي نلاحظ انحراف مؤشر الجلفانومتر في الاتجاه المضاد.

2 - زيادة شدة التيار المار في الملف الابتدائي أثناء وجوده داخل الملف الثانوي نلاحظ انحراف مؤشر الجلفانومتر في إتجاه معين، وعند إنقاص شدة التيار نلاحظ انحراف المؤشر في الاتجاه المضاد، الأمر الذي يدل على تولد قوة دافعة مستحثة في الملف الثانوي بزيادة شدة التيار المار في الملف الابتدائي أو نقصانه.

3 - أثناء وجود الملف الابتدائي داخل الملف الثانوي ... نغلق دائرة الملف الابتدائي نلاحظ انحراف مؤشر الجلفانومتر في إتجاه معين، وعند فتح دائرة الملف الابتدائي نلاحظ انحراف المؤشر في الاتجاه المضاد، الأمر الذي يدل على تولد قوة دافعة مستحثة في الملف الثانوي أثناء غلق دائرة الملف الابتدائي أو فتحها.

♦ ♦ الإستنتاج: نستنتج مما سبق:

♦ ♦ ♦ أنه عند:

1) تقريب الملف الابتدائي أو إدخاله في الملف الثانوي.

2) زيادة شدة التيار المار في الملف الابتدائي أثناء وجوده داخل الملف الثانوي.

3) غلق دائرة الملف الابتدائي أثناء وجوده داخل الملف الثانوي.

يتغير عدد خطوط الفيض المغناطيسي التي تقطع الملف الثانوي (بالزيادة) وبالتالي تتولد في دائرته قوة دافعة مستحثة وتيار كهربائي مستحث يكون إتجاههما عكس إتجاه التيار المار في الملف الابتدائي مما يعمل على مقاومة التزايد الحادث في المجال المغناطيسي (وهو المجال المؤثر) للملف الابتدائي (وذلك حسب قاعدة لنز) لذا يُسمى هذا التيار المستحث بـ "التيار العكسي".

♦ ♦ ♦ أما عند:

1) إبعاد الملف الابتدائي أو إخرجه من الملف الثانوي.

2) نقص شدة التيار المار في الملف الابتدائي أثناء وجوده داخل الملف الثانوي.

3) فتح دائرة الملف الابتدائي أثناء وجوده داخل الملف الثانوي.

يتغير عدد خطوط الفيض المغناطيسي التي تقطع الملف الثانوي (بالنقصان) وبالتالي تتولد في دائرته قوة دافعة مستحثة وتيار كهربائي مستحث يكون إتجاههما في نفس إتجاه التيار المار في الملف الابتدائي مما يعمل على مقاومة التناقص الحادث في المجال المغناطيسي (وهو المجال المؤثر) للملف الابتدائي (حسب نفس القاعدة) لذا يُسمى هذا التيار المستحث بـ "التيار الطردني".

♦ ♦ الحث الذاتي ملف ♦ ♦

- نُلاحظ أنه عند تغير شدة التيار المار في ملف ما فإنه يتولد في نفس الملف قوة دافعة كهربائية مستحثة ويُطلق على هذه الظاهرة "الحث الذاتي للملف".

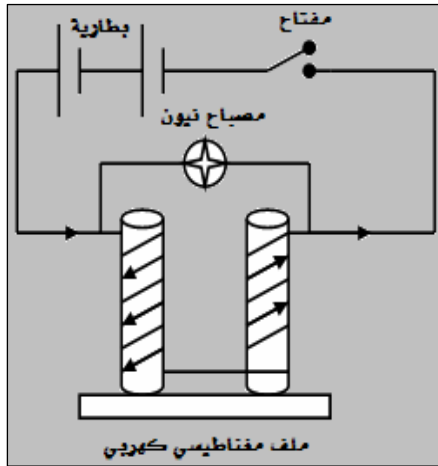
- ولبيان ذلك نعتبر التجربة بالشكل التالي:

حيث تتكون من ملف مغناطيس كهربائي عدد لفاته كبير موصل على التوالي مع بطارية قوتها الدافعة 6 فولت ومفتاح ثم يوصل مصباح نيون على التوازي بين طرفي الملف.

♦ ♦ التجربة:

- 1 - عند غلق الدائرة يمر التيار الكهربائي في الملف فيتولد فيه مجال مغناطيسي قوي حيث تعمل كل لفة فيه كمغناطيس قصير ينتج عنها مجال مغناطيس يقطع اللفات التالية لها وبالتالي يتولد في الملف ككل قوة دافعة مستحثة عكسية (حتى تقاوم التغير الحادث في المجال المغناطيسي) تضاد القوة الدافعة للبطارية فتعمل على إبطاء نمو التيار أي إلى زيادة الفترة الزمنية اللازمة لوصوله إلى نهايته العظمى.
- 2 - عند فتح الدائرة نلاحظ مرور شرر كهربائي بين طرفي المفتاح وتوهج المصباح النيون كلمح البصر ويُفسر ذلك على النحو التالي:

عند فتح الدائرة تبدأ شدة التيار في الهبوط إلى الصفر بسرعة وهذا يؤدي إلى تلاشي المجال



المغناطيسي خلال لفات الملف فيتغير المعدل الزمني الذي تقطع به كل لفة خطوط الفيض المغناطيسي فيتولد في الملف قوة دافعة مستحثة طردية (حتى تقاوم الإنخفاض الحادث في المجال المغناطيسي).

وحيث أن مصباح النيون يحتاج إلى جهد يصل إلى حوالي 180 فولت لكي يتوهج فلا بد وأن تكون القوة الدافعة المستحثة الطردية المتولدة في الملف بالحث الذاتي كبيرة جداً وأكبر من القوة الدافعة الكهربائية للبطارية نفسها وأيضاً أكبر من القوة الدافعة المستحثة العكسية التي

تتولد فيه عند غلق الدائرة . كما أن هذه القوة الدافعة المستحثة الطردية تكون كبيرة بالدرجة التي تسمح لها بالتغلب على مقاومة الهواء.

♦ ♦ حساب القوة الدافعة المستحثة المتولدة بالحث الذاتي في ملف:

- حيث أن القوة الدافعة المستحثة تتناسب تناسباً طردياً مع المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي أي:

$$emf \propto \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t}$$

والذي يتناسب بدوره تناسباً طردياً مع المعدل الزمني للتغير في شدة التيار الكهربائي المار في الملف حيث:

$$\frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t} \propto \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

- لذا فإن القوة الدافعة المستحثة المتولدة في الملف تتناسب طردياً مع معدل التغير في شدة التيار الكهربائي المار فيه، أي أن:

$$emf \propto \frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{emf = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}}$$

حيث L مقدار ثابت يسمى "معامل الحث الذاتي للملف" وهو عبارة عن "مقدار القوة الدافعة المستحثة المتولدة في الملف عندما تتغير شدة التيار المار فيه بمعدل 1 أمبير في الثانية".

- والإشارة السالبة تدل على أن القوة الدافعة المستحثة تُعاكس التغير المسبب لها حسب قاعدة لنز.

- ومن العلاقة السابقة نجد أن:

$$L = - \text{emf} \frac{\Delta t}{\Delta I}$$

أي أن معامل الحث الذاتي للملف يُقاس أيضاً بوحدة "الهنري *Henry*".

- ومنها يمكن تعريف "الهنري" أو "وحدة قياس معامل الحث الذاتي للملف" على أنه "معامل الحث الذاتي للملف الذي تتولد فيه قوة دافعة مستحثة مقدارها 1 فولت عندما تتغير شدة التيار المار فيه بمعدل 1 أمبير في الثانية".

♦ ♦ ما معنى أن الحث الذاتي للملف = 6 ميكرو هنري؟

معنى ذلك أنه عندما تتغير شدة التيار المار في الملف بمعدل 1 أمبير في الثانية تتولد فيه قوة دافعة مستحثة مقدارها 6 ميكرو فولت.

♦ ♦ التطبيقات المترتبة على خاصية الحث الذاتي:

من التطبيقات المترتبة على خاصية الحث الذاتي "إضاءة مصباح الفلوروسنت" ففيه يتم تفريغ الطاقة المغناطيسية المختزنة في ملفه في أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء وتحتوي على غاز خامل (مثل النيون) فتقوم هذه الطاقة بإكساب ذرات الغاز الخامل طاقة حركية تؤدي إلى اصطدامها مع بعضها البعض الأمر الذي ينتج عنه تأين هذه الذرات واصطدامها مع سطح الأنبوبة الداخلي المطلي بالمادة الفلورية مما يؤدي إلى انبعاث الضوء المرئي.

♦ ويظهر الحث الكهرومغناطيسي في عمل كثير من الأجهزة أبرزها "ملف الحث" أو "ملف رومكورف" والذي يستخدم كملف إشتعال في آلات الإحتراق الداخلي للسيارات.
♦ ♦ علل:

1 - يُراعى عند عمل ملفات المقاومات العيارية أن يكون السلك مزدوجاً؟

وذلك حتى يكون إتجاه التيار المار في أحد فرعي السلك عكس إتجاهه في الفرع الآخر فيكون مجالهما المغناطيسيان متساويان ومتضادين في الإتجاه فيُلاشي كلاً منهما الآخر وبذلك ينعدم الحث الذاتي للملف فلا يكون له أي تأثير على التيار الأصلي ويُقال أن المقاومة عديمة الحث.

2 - عند فتح دائرة مغناطيس كهربي تحدث شرارة كهربية عند موضع الفتح؟

لأنه عند فتح الدائرة يتناقص الفيض المغناطيسي بسرعة فيتولد في الدائرة قوة دافعة مستحثة طردية تكون كبيرة بالدرجة التي تسمح لها بالتغلب على مقاومة الهواء عند موضع الفتح فتتمر الشرارة الكهربية.

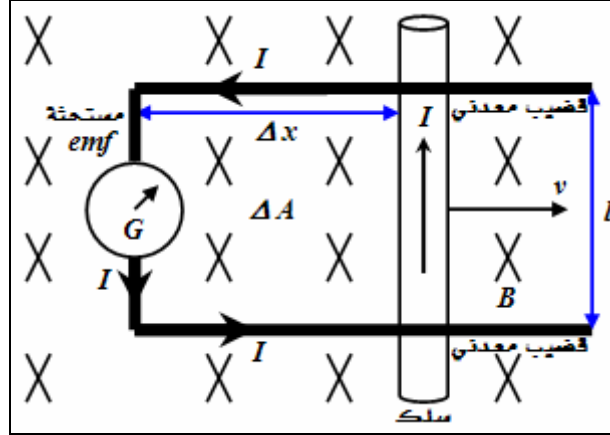
♦ ♦ التيارات الدوامية ♦ ♦

♦ عند وضع قطعة معدنية في مجال مغناطيسي متغير (كالمجال المغناطيسي الناشئ عن تيار متردد) فإن التغير في عدد خطوط الفيض المغناطيسي التي تخترق هذه القطعة المعدنية يعمل على تولد تيارات مستحثة فيها تكون عمودية على إتجاه المجال وتسمى بـ "التيارات الدوامية" لأنها تسير في مسارات دائرية كالدوامة.

♦ ويستفاد من هذه التيارات الدوامية في صنع أفران لصهر الفلزات تسمى "أفران الحث".

♦ القوة الدافعة الكهربية المستحثة في سلك مستقيم ♦

- بفرض أن لدينا سلكاً طوله l متر ينزلق على قضبان معدنية وموضوع عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم كثافته فيض B تسلا وإتجاهه عمودياً على الصفحة للداخل (كما هو مبين بالشكل المقابل).



- فإذا تحرك السلك نحو اليمين مسافة قدرها Δx متر في فترة زمنية قدرها Δt ثانية فإن التغير في المساحة ΔA يُعطي من العلاقة:

$$\Delta A = l\Delta x$$

وبالتالي يكون التغير في الفيض المغناطيسي عبارة عن:

$$\Delta \Phi_m = B\Delta A = Bl\Delta x$$

ولكن القوة الدافعة المستحثة في السلك المستقيم هي:

$$emf = -\frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t}$$

وبالتالي يكون:

$$emf = -\frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t} = -\frac{Bl\Delta x}{\Delta t} = -Bl\left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)$$

$$\text{but } v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{emf = -Blv}$$

- ومنها نحصل على القوة الدافعة المستحثة في سلك مستقيم حيث v هي السرعة التي يتحرك بها السلك.
- أما عندما يميل إتجاه سرعة حركة السلك بزاوية θ على إتجاه كثافة الفيض (الشكل السابق) فإن:

$$\boxed{emf = -Blv \sin \theta}$$

ومنها نلاحظ أنه للحصول على أقصى قيمة للقوة الدافعة المستحثة في موصل ما فلا بد أن يكون إتجاه حركة هذا الموصل عمودياً على إتجاه خطوط الفيض المغناطيسي ($\theta = 90^\circ$).

♦ أي أن العوامل التي تتوقف عليها القوة الدافعة المستحثة في سلك مستقيم هي:

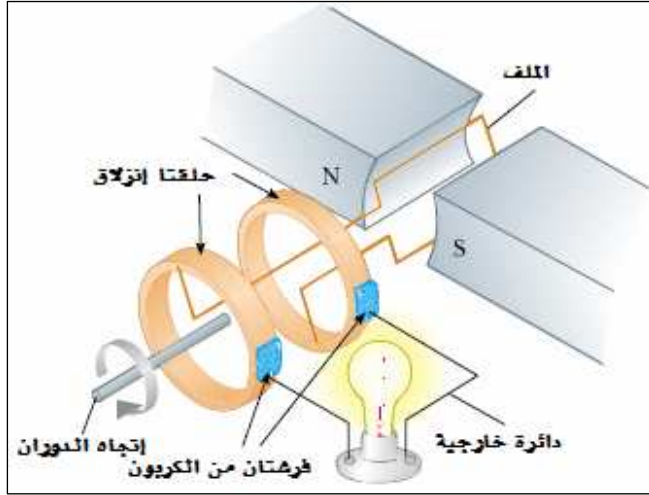
- 1 - كثافة الفيض المغناطيسي.
- 2 - طول السلك.
- 3 - سرعة حركة السلك.
- 4 - الزاوية المحصورة بين إتجاه سرعة حركة السلك وإتجاه كثافة الفيض.

❖ مولد التفر الكهرفف المتردد ❖

❖ المولد الكهرفف أو الءفنامو هو "آهاز لتآوفل الطاقفة المفكانفكة إلى طاقفة كهرففة عئء ءوران ملفه فف مآال مغناطفسف".

فعئء ءوران ملف بفن قطبف مغناطفس قوف فأنه فقطع آطوط الففض المغناطفسف ففءولء بفن طرففه قوفة ءافعة كهرففة مسءآة فمكن الآصول على ففار كهرفف مسءآ مآفر الشءة والإآآاه.

❖ تركفبه: فتركب الءفنامو (كما بالفكل) من:



1 - مغناطفس آابء: وهو عبارة عن مغناطفس قوف آءاً على شكل آءاء الفرس قطباه مآقابلان، وهو إما أن فكون مغناطفس ءائم أو مغناطفس كهرفف.

2 - ملف: وهو عؤو الإنتاج الكهرفف وهو عبارة عن ملف مسءطفل معلق بفن قطبف المغناطفس كما فمكن أن فكون من لفة وآءة أو عءة لفاء.

3 - آلقتا إنزلاق: فآآالان بطرفف الملف وهما ءوران مع الملف فف المآال المغناطفسف.

4 - فرشتان: وهما فرشتان آابآتان من الكربون كلاً منهامآ آلامس إآءف الآلقآفن المنزلقآفن فآآالان بالءائرة الآارآفة.

❖ آساب القوة ءافعة المسءآة المآولءة فف ملف الءفنامو:

- 1 - بفرض أن الملف فآكون من لفة وآءة وأن طول الملف هو l وأن كثافة الففض المغناطفسف هف B .
- 2 - عئءما فءور الملف آول محورف فأنه فصنع ءائرة نصف قطرها r وبالفآلفف فعطف سرعآه الآطفة v من العلاقة:

$$\boxed{v = r\omega} \quad : \quad \omega = 2\pi f$$

آفث ω هف السرعة الزاوفة، و f هو التردد.

- 3 - وفرض أن الملف بءأ الءوران عئءما كان مسآواه عموءافاً على آطوط الففض المغناطفسف (وفسمف هءا الوضف بـ "وضف الصفر") ثم وصل أثناء ءورانف إلى موضف آءفء بفآف كانت الزاوفة المآصورة بفن إآآاه السرعة الآطفة v وإآآاه كثافة الففض المغناطفسف B هف الزاوفة θ وعئءئذف وكما ءكرنا سابقاً فآكون القوة ءافعة المسءآة فف آءء آوانب الملف هف:

$$emf = Blv \sin \theta$$

ففءولء فف الآانب المآابل من الملف قوفة ءافعة مماآلة، وبالفآلفف فآكون القوة ءافعة المسءآة الكلية المآولءة فف الملف عبارة عن:

$$emf = 2Blv \sin \theta$$

وبالتعويض عن قيمة v نحصل على:

$$emf = 2Blv \sin \theta = 2Blr\omega \sin \theta = (2lr)B\omega \sin \theta$$

ولكن المقدار $(2lr)$ عبارة عن مساحة سطح الملف A حيث:

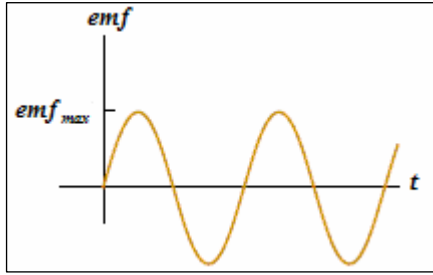
$$A = l \times 2r$$

حيث $2r$ هو عرض الملف . وبالتالي نحصل على العلاقة:

$$emf = BA\omega \sin \theta$$

وعندما يكون الملف مكوناً من عدد N لفة تكون القوة الدافعة المستحثة اللحظية المتولدة فيه هي:

$$emf = NBA\omega \sin \theta \rightarrow 1$$



ومنها نلاحظ أن القوة الدافعة المستحثة تتغير جيئياً مع الزمن.

4 - وعندما يدور الملف بزاوية قدرها 90° فإن $\sin 90^\circ = 1$

وعندها تبلغ القوة الدافعة المستحثة نهايتها العظمى، أي أن النهاية

العظمى للقوة الدافعة المستحثة هي:

$$emf_{max} = NBA\omega \rightarrow 2$$

♦ من 1 و 2 نلاحظ أن العلاقة بين القوة الدافعة المستحثة اللحظية والنهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة هي:

$$emf = emf_{max} \sin \theta$$

ويجب ملاحظة أن الزاوية θ تُعطي من العلاقة:

$$\theta = \omega t = 2\pi ft$$

- إذا:

$$emf = NBA\omega \sin \theta \Leftrightarrow emf = 2\pi NBAf \sin(2\pi ft)$$

$$emf = emf_{max} \sin \theta \Leftrightarrow emf = emf_{max} \sin(2\pi ft)$$

ومن المعادلة رقم 1 نجد أن القوة الدافعة المستحثة المتولدة في الدينامو تتوقف على العوامل التالية:

- 1 - عدد لفات الملف.
- 2 - كثافة الفيض المغناطيسي.
- 3 - مساحة وجه الملف.
- 4 - السرعة الزاوية التي يدور بها الملف.
- 5 - الزاوية التي يعملها الملف بين وضعه في لحظة معينة ووضعه عندما كان مستواه عمودياً على اتجاه المجال.

♦ ♦ ومما سبق نلاحظ أن:

التيار المار في الدائرة الخارجية يغير اتجاهه كل نصف دورة وأن تغيره هذا يمكن تمثيله بالمنحنى الجيبي الموضح سابقاً، حيث نجد أنه خلال دورة كاملة تزداد شدة التيار من الصفر إلى نهاية عظمى ثم تتناقص إلى الصفر في النصف الأول من الدورة ثم يتغير اتجاهه وتزداد من صفر إلى نهاية عظمى ثم تتناقص إلى الصفر مرة أخرى في النصف الثاني من الدورة ويتكرر ذلك في دورة.

♦ ويسمى التيار الذي يتغير بهذه الطريقة بـ "التيار المتردد"، أي أن "التيار المتردد" هو "التيار الذي يتغير اتجاهه بصفة دورية مع الزمن".

♦ والجدول التالي يلخص عمل الدينامو (مولد التيار المتردد):

م	وضع الملف بالنسبة لخطوط الفيض	زاوية الدوران θ	$\sin \theta$	القوة الدافعة المستحثة اللحظية emf
1		0°	0	0
2		90°	+1	$+emf_{max}$
3		180°	0	0
4		270°	-1	$-emf_{max}$
5		360°	0	0

♦ ♦ شدة التيار المتردد I :

رأينا فيما سبق أن شدة التيار المستحث تبلغ نهايتها العظمى عندما تبلغ القوة الدافعة المستحثة نهايتها العظمى وتنعدم شدة التيار المستحث عندما تنعدم القوة الدافعة المستحثة، أي أن شدة التيار المستحث تتناسب طردياً مع القوة الدافعة المستحثة، لذا يمكن التعبير عن شدة التيار I بقوانين مماثلة للقوانين المعبرة عن القوة الدافعة المستحثة وبالتالي يكون:

$$I = I_{max} \sin \theta \Leftrightarrow I = I_{max} \sin(2\pi ft)$$

♦ ♦ القيمة الفعالة للتيار المتردد ♦ ♦

♦ لاحظنا مما سبق أنه في كل دورة من دورات الملف تصل شدة التيار المتردد إلى نهايتها العظمى مرتين، فتكون $+I_{max}$ في النصف الأول و $-I_{max}$ في النصف الثاني من الدورة وبالتالي تكون القيمة المتوسطة له خلال دورة كاملة = صفر.

- ولكن عند مرور التيار المتردد في موصل ما فإن كمية الحرارة المتولدة لا تتوقف على اتجاه التيار المار حيث تُستنفذ الطاقة الكهربائية كطاقة حرارية نتيجة لحركة الشحنات الكهربائية (بغض النظر عن الاتجاه)، كما أن معدل الطاقة الكهربائية المستنفذة تتناسب طردياً مع مربع شدة التيار المار.

- لذا كانت أفضل طريقة لقياس القيمة الفعالة لشدة التيار المتردد هي إيجاد قيمة التيار الموحد الاتجاه (المستمر) الذي يولد نفس كمية الحرارة أو الذي يولد نفس القدرة التي يولدها التيار المتردد في مقاومة ما.

♦ ولقد وُجدَ أن القيمة الفعالة لشدة التيار المتردد $I_{eff} = 0.707 I_{max}$ من النهاية العظمى للتيار I_{max} ، أي أن:

$$I_{eff} = 0.707 I_{max}$$

وبالمثل مع القوة الدافعة المستحثة، أي أن:

$$emf_{eff} = 0.707 emf_{max}$$

إذاً يمكن تعريف "القيمة الفعالة لشدة التيار المتردد" بأنها "قيمة شدة التيار المستمر الذي يولد نفس كمية الحرارة أو الذي يولد نفس القدرة التي يولدها التيار المتردد في نفس الزمن".

♦ ما معنى أن القيمة الفعالة لشدة التيار المتردد = 2 أمبير؟

معني ذلك أن الطاقة الحرارية التي يولدها هذا التيار تساوي الطاقة الحرارية التي يولدها تيار مستمر شدته 2 أمبير في نفس الموصل وخلال نفس الزمن.

♦ أمثلة محلولة:

1 - ملف مستطيل الشكل أبعاده 5 و 10 سم يحتوي على 200 لفة وضع عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم كثافته فيضيه 4×10^{-3} تسلا . فإذا قُلب الملف في 0.1 ثانية . فما مقدار القوة الدافعة المتولدة فيه؟
المعطيات:

$$\diamond N = 200 \text{ Turns } \diamond B = 4 \times 10^{-3} \text{ Tesla } \diamond \Delta t = 0.1 \text{ sec}$$

$$A = 5 \times 10 = 50 \text{ cm}^2 = 50 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

الحل:

- الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف هو:

$$\Phi_m = BA = 50 \times 10^{-4} \times 4 \times 10^{-3} = 2 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

- وعندما يُقلب الملف يخترقه نفس الفيض المغناطيسي ولكن في الإتجاه المعاكس لذا يكون مقدار التغير في الفيض هو:

$$\Delta \Phi_m = 2 \times 10^{-5} - (-2 \times 10^{-5}) = 4 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

- وبالتالي يُعطي مقدار القوة الدافعة المستحثة المتولدة في الملف من العلاقة:

$$emf = -N \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t} = -200 \times \frac{4 \times 10^{-5}}{0.1} = -0.08 \text{ Volt}$$

2 - ملف مستطيل عدد لفاته 300 لفة وأبعاده 25 و 15 سم يدور بسرعة منتظمة مقدارها 1800 دورة في الدقيقة في مجال مغناطيسي كثافته فيضة 0.365 تسلا . فاحسب متوسط القوة الدافعة المستحثة المتولدة فيه خلال ربع دورة؟
المعطيات:

$$A = 25 \times 15 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \diamond N = 300 \text{ Turns } \diamond B = 0.365 \text{ Tesla } \diamond f = 1800 \text{ cycle / min}$$

الحل:

من المعروف أن: التردد = عدد الدورات ÷ الزمن بالثانية
إذاً:

$$f = \frac{1800}{60} = 30 \text{ cycle / sec}$$

ومنها نوجد زمن الدورة الكاملة حيث:

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow T = \frac{1}{f} = \frac{1}{30} \text{ sec}$$

وبالتالي يكون زمن ربع دورة هو:

$$t = \frac{1}{4} \times T = \frac{1}{4} \times \frac{1}{30} = \frac{1}{120} \text{ sec}.$$

وحيث أن الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف هو:

$$\Delta \Phi_m = BA = 0.365 \times 25 \times 15 \times 10^{-4} = 136.875 \times 10^{-4} \text{ Weber}$$

ويكون متوسط القوة الدافعة المستحثة المتولدة في الملف خلال ربع دورة هو:

$$emf = -N \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t} = -300 \times \frac{136.875 \times 10^{-4}}{1 / 120} = -492.75 \text{ Volt}$$

3 - ملف دينامو يتكون من 800 لفة مساحة وجهه 0.25 متر مربع يدور بمعدل 600 دورة في الدقيقة في مجال مغناطيسي كثافة فيضه 10^{-3} تسلا . إوجد قيمة القوة الدافعة المستحثة عندما يصنع زاوية قدرها 30° مع الفيض المغناطيسي؟

المعطيات:

$$A = 0.25 \text{ m}^2 \diamond N = 800 \text{ Turns} \diamond B = 10^{-3} \text{ Tesla} \diamond f = 600 \text{ cycle / min} \diamond \theta = 30^\circ$$

الحل:

$$\therefore \omega = 2\pi f = 2\pi \frac{600}{60} = 62.8$$

$$\Rightarrow emf = NBA\omega \sin \theta = 800 \times 10^{-3} \times 0.25 \times 62.8 \times \sin 30^\circ = 6.28 \text{ Volts}$$

4 - إذا كانت القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربائية الناتجة من مولد كهربائي متردد هي 122 فولت، فأحسب قيمة القوة الدافعة المستحثة عندما يدور الملف بزاوية قدرها 50° ؟

المعطيات:

$$emf_{eff} = 122 \text{ Volts} \diamond \theta = 50^\circ$$

الحل:

$$\therefore emf_{eff} = 0.707 emf_{max}$$

$$\Rightarrow 122 = 0.707 emf_{max} \Rightarrow emf_{max} = 172.56 \text{ Volts}$$

$$\text{but } emf = emf_{max} \sin \theta$$

$$\Rightarrow emf = 172.56 \sin 50^\circ = 132.18 \text{ Volts}$$

5 - إذا كانت قيمة شدة التيار الفعالة في دائرة ما هي 10 أمبير وفرق الجهد الفعال هو 240 فولت . فما هي قيمة النهاية العظمى لكلاً من التيار والقوة الدافعة؟

المعطيات:

$$I_{eff} = 10 \text{ Amp} \diamond emf_{eff} = 240 \text{ Volts}$$

الحل:

$$\therefore I_{eff} = 0.707 I_{max}$$

$$\Rightarrow I_{max} = \frac{10}{0.707} = 14.14 \text{ Amp}$$

$$\therefore emf_{eff} = 0.707 emf_{max}$$

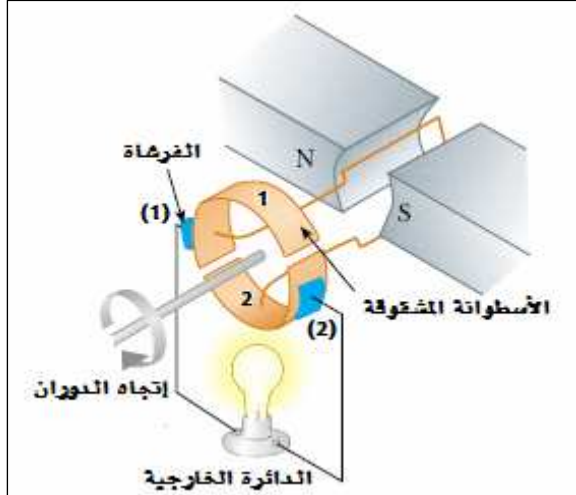
$$\Rightarrow emf_{max} = \frac{240}{0.707} = 339.5 \text{ Volts}$$

♦♦ تقويم التيار المتردد ♦♦

♦ يُقصد بـ "تقويم التيار المتردد" جعله يمر في اتجاه واحد أي جعله تيار مستمر، وذلك لأن الكثير من التطبيقات الحديثة تتطلب الحصول على تيار مستمر من تيار متردد مثل:

1 - تحضير بعض الفلزات من خلال التحليل الكهربائي لمركباتها.

2 - شحن التليفونات المحمولة وغيرها من التطبيقات.



♦ ومولد التيار المستمر أو دينامو التيار المتردد الموحد الإتجاه هو نفسه دينامو التيار المتردد مع تعديل بسيط وهو إستبدال الحلقتين المعدنيتين بما يُسمى بـ "مقوم التيار" والذي يتركب (كما بالشكل) من:

- إسطوانة معدنية جوفاء مشقوقة إلى نصفين مثبتان على محور الدوران ومعزولان عنه كما يُعزلان عن بعضهما البعض بمادة عازلة تملأ الشق بينهما ويدوران مع الملف حول نفس محور الدوران ويُراعى أن يكون مستوى الشق عمودياً على مستوى

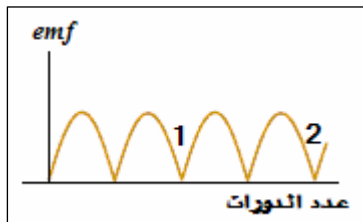
الملف حتى تلامس الفرشتان المادة العازلة في اللحظة التي يكون فيها مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسي أي اللحظة التي تكون فيها القوة الدافعة المستحثة المتولدة في الملف = صفراً.

♦ شرح عمل دينامو التيار المستمر:

1 - بفرض أن الملف بدأ الدوران من اللحظة التي يكون فيها مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسي أي اللحظة التي تكون فيها القوة الدافعة المستحثة المتولدة في الملف = صفراً.

2 - ويفرض أن الملف سيدور في الإتجاه الموضح في الشكل لذا نلاحظ أنه خلال النصف الأول للدورة ستكون الفرشاة ف (1) ملامسة لنصف الأسطوانة رقم 1 والفرشاة ف (2) ملامسة لنصف الأسطوانة رقم 2 وبالتالي يمر التيار الكهربائي في الملف في اتجاه معين يترتب عليه أن يمر التيار في الدائرة الخارجية في الإتجاه من ف (1) إلى ف (2).

أما في النصف الثاني للدورة فسينعكس وضع نصفي الأسطوانة بالنسبة للفرشتين فتلامس الفرشاة ف (1) نصف الأسطوانة رقم 2 والفرشاة ف (2) ملامسة لنصف الأسطوانة رقم 1 وبالتالي ينعكس اتجاه مرور التيار في الملف وبذلك يمر التيار في الدائرة الخارجية في الإتجاه من ف (1) إلى ف (2) وهو نفس اتجاه التيار في النصف الأول من الدورة . وبذلك تكون الفرشاة ف (1) موجبة دائماً والفرشاة ف (2) سالبة دائماً أي أن التيار الخارج من الدينامو يكون موحد الإتجاه.



♦ ويجب ملاحظة أن القوة الدافعة الكهربائية على الرغم من أنها أصبحت موحدة الإتجاه إلا أنها ليست ثابتة القيمة حيث تتغير قيمتها من صفر إلى نهاية عظمى ثم إلى صفر كل نصف دورة من دورات الملف (كما هو مبين بالشكل).

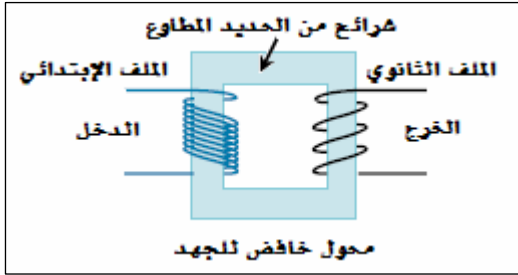
❖ وللحصول على تيار موحد الإتجاه وثابت الشدة تقريباً نستخدم عدد من الملفات بينها زوايا صغيرة وبالتالي يُقسم مقوم التيار إلى عدد من الأجزاء يساوي ضعف عدد الملفات حيث يوصل كل ملف بجزئين متقابلين.

وكما زادت عدد الملفات المستخدمة قل التعرج في الخط البياني الدال على تغير التيار في الدائرة وقرب من أن يكون خطأ مستقيماً. أي أن التيار الموحد يصبح ثابت الشدة تقريباً (تيار مستمر).

❖ ❖ المحول الكهربائي

- المحول الكهربائي هو جهاز يُستخدم لرفع أو خفض القوة الدافعة الكهربائية المترددة ويعتمد عمله على الحث المتبادل بين ملفين.

❖ ❖ تركيبه: كما بالشكل من:



1 - ملف ابتدائي: وهو عبارة عن ملف من سلك معدني معزول يتصل طرفاه بمصدر القوة الدافعة المترددة المراد رفعها أو خفضها.

2 - ملف ثانوي: وهو عبارة عن ملف من سلك معدني معزول أيضاً يتصل طرفاه بالدائرة المراد إمدادها بالقوة الدافعة المترددة الناتجة.

3 - قلب من الحديد المطاوع: يُصنع على هيئة عدة صفائح رقيقة معزولة عن بعضها البعض لتقليل الطاقة الكهربائية المفقودة والحد من التيارات الدوامية. ويلف الملف الابتدائي والثانوي حول القلب الحديدي.

❖ ❖ فكرة العمل:

عند غلق دائرة الملف الثانوي يمر تيار متردد في الملف الابتدائي فيتولد حوله وبداخله مجال مغناطيسي ويعمل القلب الحديدي على تجميع خطوط الفيض المغناطيسي داخل الملف الثانوي فتتولد فيه أيضاً قوة دافعة مستحثة مترددة أكبر أو أقل من القوة الدافعة للمصدر ويمر تيار كهربائي متردد في دائرة الملف الثانوي يكون تردده نفس تردد التيار في الملف الابتدائي.

❖ ❖ العلاقة بين القوتين الدافعتين الكهربيتين في ملفي المحول:

1 - بدايةً نفترض عدم وجود أي فقد في الفيض المغناطيسي (أي أن الفيض المغناطيسي الناتج عن الملف الابتدائي يمر بأكمله إلى الملف الثانوي) وأن عدد لفات الملف الابتدائي هو N_p وعدد لفات الملف الثانوي هو N_s .

2 - عند مرور التيار المتردد في الملف الابتدائي وغلق دائرة الملف الثانوي فإنه يتولد فيه (أي الثانوي) قوة دافعة مستحثة أو فرق جهد مستحث V_s يمكن تعيينه من العلاقة:

$$V_s = -N_s \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t} \rightarrow 1$$

3 - عند فتح دائرة الملف الثانوي وبقاء الملف الابتدائي متصلاً بالمصدر فإنه تتولد في الملف الابتدائي قوة دافعة مستحثة بالحث الذاتي V_p تتزن مع القوة الدافعة للمصدر وتعمل على تحديد قيمة التيار بحيث لا يزداد أكثر من اللازم فيحترق الملف الابتدائي وهي تُعطى من العلاقة:

$$V_p = -N_p \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t} \rightarrow 2$$

وبقسمة المعادلاتين 1 و 2 نحصل على:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \rightarrow 1^*$$

وهذه العلاقة تُبين كيفية ارتباط القوة الدافعة للملف الثانوي V_s بالقوة الدافعة للملف الابتدائي V_p . كما نلاحظ أن القوة الدافعة المستحثة V تتناسب تناسباً طردياً مع عدد لفات الملف N أي أن:

$$V \propto N$$

♦ ومنها أيضاً نلاحظ أن هناك نوعان من المحولات هما:

1 - المحول الرافع للجهد: وفيه يكون عدد لفات الملف الثانوي أكبر من عدد لفات الملف الابتدائي وبالتالي تكون القوة الدافعة المستحثة في الثانوي أكبر من القوة الدافعة المستحثة في الملف الابتدائي حيث:

$$N_s < N_p \Rightarrow V_s < V_p$$

2 - المحول الخافض للجهد: وفيه يكون عدد لفات الملف الثانوي أقل من عدد لفات الملف الابتدائي وبالتالي تكون القوة الدافعة المستحثة في الثانوي أصغر من القوة الدافعة المستحثة في الملف الابتدائي حيث:

$$N_s > N_p \Rightarrow V_s > V_p$$

♦ ♦ العلاقة بين شدتي التيارين في ملفي المحول:

من المعروف أن:

$$\boxed{\text{الطاقة الكهربائية} = \text{فرق الجهد } V \times \text{شدة التيار } I \times \text{الزمن } t}$$

وبفرض عدم وجود فقد في الطاقة الكهربائية فإنه تبعاً لقانون بقاء الطاقة يكون:

$$\text{الطاقة الكهربائية المستنفذة في الملف الابتدائي} = \text{الطاقة المستنفذة في الملف الثانوي}$$

أي أن:

$$V_s \times I_s \times t = V_p \times I_p \times t \Leftrightarrow V_s \times I_s = V_p \times I_p \Rightarrow \frac{V_s}{V_p} = \frac{I_p}{I_s} \rightarrow 2^*$$

من 1^* و 2^* نحصل على العلاقة التالية:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \Rightarrow V \propto N \propto \frac{1}{I}$$

أي أن : شدة التيار في أي ملف من الملفين تتناسب عكسياً مع عدد لفاته، ومعني ذلك أنه إذا كان عدد لفات الملف الثانوي ضعف عدد لفات الملف الابتدائي فإن تيار الملف الثانوي ينخفض إلى النصف وترتفع فيه القوة الدافعة إلى الضعف.

ومنها نتبين أهمية استخدام محولات رافعة عند محطات توليد الكهرباء وذلك لأنه عند رفع الجهد إلى قيمة عالية جداً تقل شدة التيار إلى قيم منخفضة جداً وبالتالي يقل معدل الفقد في القدرة الكهربائية والتي تُعطي من العلاقة التالية:

$$\text{القدرة الكهربائية} = \text{فرق الجهد } V \times \text{شدة التيار } I = \text{المقاومة } R \times \text{مربع شدة التيار } I^2$$

فلو تم خفض التيار الكهربائي المار في أسلاك النقل بواسطة المحول الرفع بمقدار $1/100$ من قيمته الأصلية فإن الطاقة المفقودة ستقل بمقدار $1/10000$ من قيمة الطاقة المفقودة إذا ظل التيار في الملف الابتدائي بنفس شدته الأولى.

♦ ♦ استخدامات المحول الكهربائي:

- 1 - تشغيل بعض الأجهزة المنزلية كالتلفزيون والثلاجات والأجراس.
- 2 - نقل القدرة الكهربائية من محطات توليد الكهرباء إلى أماكن إستهلاكها على مسافات بعيدة عبر الأسلاك المعدنية دون فقد يُذكر في الطاقة الكهربائية، حيث تستخدم محولات رافعة للجهد عند محطات التوليد بينما تُستخدم محولات خافضة للجهد عند أماكن الإستهلاك لخفض القوة الدافعة المترددة وزيادة التيار.

♦ ♦ كفاءة المحول الكهربائي:

إذ لم يكن هناك فقد للطاقة الكهربائية في المحول بمعنى أن الطاقة الكهربائية المستنفذة في الملف الابتدائي تساوي الطاقة الكهربائية المستنفذة في الملف الثانوي فإن كفاءة المحول تكون 100% ولكن مثل هذا المحول غير موجود عملياً.

فـ "كفاءة المحول" هي عبارة عن "النسبة بين الطاقة الكهربائية في الملف الثانوي والطاقة الكهربائية في الملف الابتدائي" ويُرمز لها بالرمز η ، أي أن:

$$\eta = \frac{V_s \times I_s \times t}{V_p \times I_p \times t} = \frac{V_s \times I_s}{V_p \times I_p}$$

وتُضرب هذه العلاقة في 100 للحصول على النسبة المئوية أي:

$$\eta = \frac{V_s \times I_s}{V_p \times I_p} \times 100$$

♦ وسبب عدم وجود محول كفاءته 100% هو أنه يحدث فقد للطاقة للأسباب التالية:

1. تحول جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية بسبب مقاومة الأسلاك: ولعلاج ذلك تصنع الأسلاك من النحاس ويجب أن تكون غليظة حتى تكون مقاومتها صغيرة.
2. تحول جزء آخر من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية نتيجة تولد تيارات دوامية في القلب الحديدي: ولعلاج ذلك يصنع القلب الحديدي من شرائح رقيقة جداً من الحديد المطاوع السيلكوني وتُعزل عن بعضها عزلاً تاماً فتزيد مقاومة القلب الأمر الذي يُضعف من التيارات الدوامية.

3. تحول جزء ثالث من الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية تُستنفذ في تحريك الجزيئات المغناطيسية للقلب الحديدي: لذا يُصنع القلب الحديدي من الحديد المطاوع لسهولة حركة جزيئاته.

4. تسرب بعض خطوط الفيض المغناطيسي خارج القلب الحديدي فلا تقطع لفات الملف الثانوي: لذا يجب وضع الملف الابتدائي داخل الملف الثانوي أو قريباً منه.

♦ ♦ أمثلة محلولة:

1 - جرس كهربائي مُركب على محول كهربائي كفاءته 80 % يُعطي 8 فولت إذا كانت القوة الدافعة الكهربائية في المنزل 220 فولت . فما عدد لفات الملف الثانوي إذا كان عدد لفات الملف الابتدائي 1100 لفة ؟ وما هي شدة التيار في الملف الثانوي إذا كانت شدة التيار المار في الملف الابتدائي 0.1 أمبير ؟
المعطيات:

$$\eta = 80\% \quad N_p = 1100 \text{ Turns} \quad V_s = 8 \text{ Volts} \quad V_p = 220 \text{ Volts} \quad I_p = 0.1 \text{ Amp}$$

الحل:

$$\therefore \quad \eta = \frac{V_s \times I_s}{V_p \times I_p} \times 100 \quad \text{and} \quad \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \quad \Rightarrow \quad \eta = \frac{V_s \times N_p}{V_p \times N_s} \times 100$$

$$\Rightarrow \quad N_s = \frac{V_s \times N_p}{V_p \times \eta} \times 100 = \frac{8 \times 1100}{220 \times 80} \times 100 = 50 \text{ Turns}$$

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$\Rightarrow \quad I_s = \frac{N_p}{N_s} \times I_p = \frac{1100}{50} \times 0.1 = 2.2 \text{ Amp}$$

2 - إذا كان جهد الملف الابتدائي في محول خافض هو 110 فولت وجهد ملفه الثانوي هو 48 فولت فأحسب شدة التيار الذي يمر في الملف الابتدائي إذا كانت شدة التيار في الملف الثانوي 5.5 أمبير علماً بأن الطاقة الكهربائية في الملف الابتدائي تفقد 4 % عند انتقالها إلى الملف الثانوي ؟
المعطيات:

$$V_s = 48 \text{ Volts} \quad V_p = 110 \text{ Volts} \quad I_s = 5.5 \text{ Amp}$$

الحل:

$$\eta = 100\% - 4\% = 96\%$$

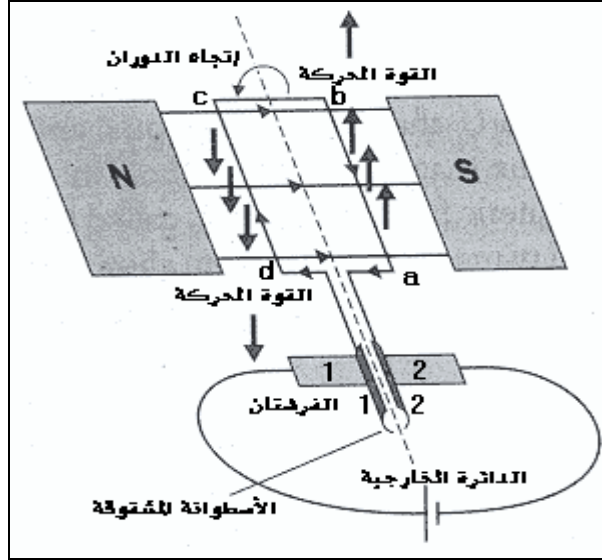
$$\therefore \quad \eta = \frac{V_s \times I_s}{V_p \times I_p} \times 100 \quad \Rightarrow \quad I_p = \frac{V_s \times I_s}{V_p \times \eta} \times 100 = \frac{48 \times 5.5}{110 \times 96} \times 100 = 2.5 \text{ Amp}$$

❖ ❖ محرك التيار الكهربائي المستمر (الموتور) ❖ ❖

❖ محرك التيار الكهربائي المستمر أو الموتور هو جهاز يُستخدم لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية (حركية).

❖ تركيبه:

تركيب الموتور يشبه إلى حد كبير تركيب الدينامو حيث يتركب من:



1. مغناطيس قوي على شكل حذاء الفرس قطباه المقعران متقابلان.
2. ملف مستطيل الشكل من سلك من النحاس المعزول عدد لفاته كبير وملفوف طويلاً حول قلب من الحديد المطاوع مكون من صفائح رقيقة معزولة لتقليل التيارات الدوامية، والملف ومعه القلب الحديدي قابلان للدوران بين قطبي المغناطيس.
3. يتصل طرفا الملف بنصفي أسطوانة نحاسية مشقوقة طويلاً إلى نصفي مثبتان على محور الدوران ومعزولان عنه وعن بعضهما بمادة عازلة ويُراعى أن يكون المستوى المار بالشق الفاصل لنصفي الأسطوانة عمودياً على مستوى الملف.
4. فرشتان من الكربون أو المعدن ثابتتان وتلامسان نصفي الأسطوانة أثناء دورانها وتوصلان عند تشغيل الموتور بقطبي البطارية الخارجية.

❖ فكرة عمله:

وفكرة عمل الموتور هي نفسها فكرة عمل الجلفانومتر ذو الملف المتحرك حيث أنه إذا مر تيار كهربائي في سلك موضوع عمودياً على مجال مغناطيسي فإن السلك سيتأثر بقوة تعمل على تحريكه في اتجاه عمودي على كلاً من اتجاه التيار واتجاه المجال المغناطيسي.

ولكن الفرق بينهما أن ملف المحرك الكهربائي يجب أن يستمر في الدوران في نفس الاتجاه الأمر الذي ينتج عنه أن يعكس التيار الكهربائي المار في ملف المحرك اتجاهه كل نصف دورة.

♦ **تعيين إتجاه حركة السلك:**

يتم تعيين إتجاه حركة السلك باستخدام قاعدة " اليد اليسرى لفلمنج " السابق ذكرها في الفصل السابق.

♦ **شرح عمل المحرك خلال دورة كاملة للملف:**

1 - عندما يكون مستوى الملف أفقياً أي موازياً لخطوط الفيض المغناطيسي تكون الفرشاة (1) ملامسة لنصف الأسطوانة 1 والفرشاة (2) ملامسة لنصف الأسطوانة 2 وعندئذ يمر التيار في الإتجاه $abcd$ ويتطابق قاعدة اليد اليسرى لفلمنج على كلاً من السلكين نلاحظ أن السلك ab يتأثر بقوة إلى أعلى بينما يتأثر السلك cd بقوة إلى أسفل وينشأ عن هاتين القوتين إزدواج يعمل على دوران الملف في الإتجاه المبين بالشكل السابق وبالتالي يكتسب الملف طاقة حركية.

2 - بدوران الملف يقل البعد العمودي بين القوتين وبالتالي يقل عزم الإزدواج تدريجياً حتى ينعدم تماماً عندما يكون مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسي ولكنه يستمر في الدوران تحت تأثير قصوره الذاتي (الناتج عن طاقة الحركة التي إكتسبها).

3 - بإستمرار الدوران يصبح مستوى الملف أفقياً مرة أخرى ولكن في هذه المرة تتبادل نصفا الأسطوانة موضعيهما بالنسبة للفرشتان فينعكس إتجاه التيار المار في الملف ويمر في الإتجاه $dcba$ ويتطابق قاعدة فلمنج لليد اليسرى على الوضع الجديد نجد أن السلك ab يتأثر بقوة إلى أسفل بينما يتأثر السلك cd بقوة إلى أعلى وينشأ عن هاتين القوتين إزدواج يعمل على دوران الملف في نفس الإتجاه الأول فيزداد عزم الإزدواج تدريجياً حتى يصبح نهاية عظمى عندما يكون مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض المغناطيسي .

4 - بإستمرار الدوران يقل البعد العمودي بين القوتين مرة أخرى وبالتالي يقل عزم الإزدواج تدريجياً حتى ينعدم تماماً عندما يكون مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسي ولكنه يستمر في الدوران تحت تأثير قصوره الذاتي وتتبادل نصفا الأسطوانة موضعيهما بالنسبة للفرشتان فينعكس إتجاه التيار المار في الملف مرة أخرى ويستمر في الدوران في نفس الإتجاه ويزداد عزم الإزدواج تدريجياً حتى يصبح نهاية عظمى عندما يكون مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض المغناطيسي وبذلك يكون الملف قد أتم دورة كاملة، وتكرر هذه العملية ويستمر الملف في الدوران وبذلك نحصل على طاقة ميكانيكية من الطاقة الكهربائية المستمدة من البطارية.

♦ **ولزيادة قدرة الموتور والإحتفاظ بعزم دوران ثابت تقريباً عند النهاية العظمى نستخدم عدة ملفات بين مستوياتها زوايا صغيرة متساوية وفي هذه الحالة تُقسم الأسطوانة إلى عدد من القطع يساوي ضعف عدد الملفات ويُفصل بين القطع مادة عازلة ثم يوصل طرفا كل ملف بقطعتين متقابلتين تلامسان الفرشتان أثناء الدوران عندما يكون الملف المتصل بهما أفقياً (وضع أقصى عزم إزدواج).**

♦♦ تعليقات هامة ♦♦

1 - يعمل التيار المستحث العكسي المتولد بالحث الكهرومغناطيسي في ملف الموتور على إنتظام معدل دورانه؟

وذلك لأنه:

- عند زيادة سرعة الموتور تزداد شدة التيار العكسي فتقل شدة التيار المحرك للموتور فتقل سرعته، وعند إبطاء سرعة الموتور تقل شدة التيار العكسي ويزيد الفرق بين التيارين فتزيد سرعته.
- عند سرعة معينة يثبت الفرق بين التيارين (تيار البطارية والتيار العكسي) فتثبت سرعة دوران ملف الموتور.

2 - لا يعمل المحول الكهربائي بالتيار المستمر؟

وذلك لأن التيار المستمر يولد مجال مغناطيسي ثابت الشدة والإتجاه وبالتالي لا يحدث تغير في الفيض المغناطيسي الذي يقطع الملف الثانوي فلا يتولد فيه قوة دافعة مستحثة.

3 - تُصنع أسلاك الملفين الابتدائي والثانوي في المحول من النحاس؟

وذلك لصغر المقاومة النوعية للنحاس فتقل مقاومة الملفات وبالتالي يقل مقدار الطاقة الكهربائية التي تُفقد على هيئة حرارة.

4 - في المحول الكهربائي يكاد ينعدم مرور التيار الأصلي في الملف الابتدائي رغم إتصاله بمصدر التيار عندما تكون دائرة الملف الثانوي مفتوحة؟

وذلك لتولد قوة دافعة مستحثة عكسية بالحث الذاتي في الملف الابتدائي تكاد تكون مساوية للقوة الدافعة للمصدر ومضادة لها في الإتجاه فينعدم تقريباً التيار في الملف الابتدائي ولا يحدث إستهلاك يُذكر في الطاقة الكهربائية.

الوحدة الخامسة

"الفيزياء الحديثة"

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

المجلد الثاني عشر

« إزكواجية الموجة والجسيم »

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الخامسة / الفصل الثاني عشر: "إزدواجية الموجة والجسيم"

إزدواجية الموجة والجسيم

❖ مقدمة:

بدايةً ينبغي أن نعلم أن علم الفيزياء ينقسم إلى قسمين أساسيين هما:

(1) الفيزياء الكلاسيكية أو التقليدية. (2) الفيزياء الحديثة.

❑ ف "الفيزياء الكلاسيكية" تشمل كل ما درسناه حتى الآن فهي تفسر مشاهدتنا اليومية وتجاربنا المعتادة (وذلك على المستوى الملحوظ) كما أنها (وهذا هو المهم) تعمل على التفرقة الكاملة بين الموجات والجسيمات (فالجسيم يتركز في موضع معين في لحظة ما، ويتميز بخواص معينة مثل الكتلة والسرعة والطاقة وما إلى ذلك ... أما الموجة فتتميز بتردد وطول موجي وتنتشر بشكل مستمر أي أنها ليست متمركزة في موضع معين في لحظة ما كما أن طاقتها موزعة في الفضاء وليست محصورة في منطقة معينة) وعليه فإنها (أي الفيزياء الكلاسيكية) لا تستطيع تفسير الكثير من الظواهر التي تتضمن تفاعل الضوء مع المادة.

❑ أما "الفيزياء الحديثة" فقد ظهرت في أواخر القرن 19 مع إتجاه البحوث نحو دراسة الأجسام على المستوى الذري أو دون الذري (المتناهية في الصغر كالجزئ والذرة والإلكترون) حيث فشلت قوانين الفيزياء الكلاسيكية عن وصف حركة هذه الأجسام وتفسير الظواهر المرتبطة بها كإشعاع الجسم الأسود والتأثير الكهروضوئي.

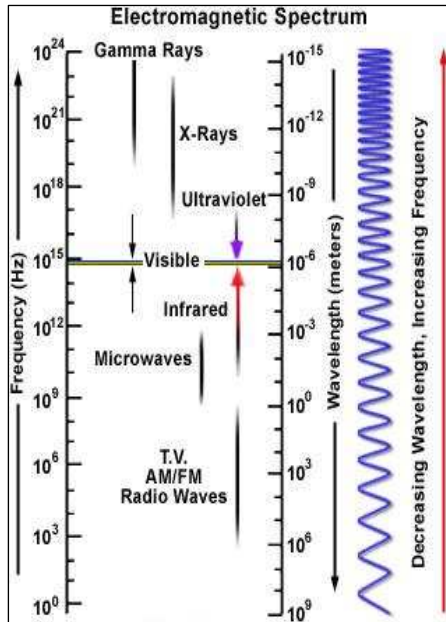
❖ أي أن الفيزياء الحديثة:

1. تتعامل مع مجموعة كبيرة من الظواهر العلمية التي قد لا نراها بصورة مباشرة (مثل الظواهر سابقة الذكر).
2. تتناول العديد من آثار الكون التي لا تستطيع الفيزياء الكلاسيكية تفسيرها وخاصة على المستوى الذري.
3. تفسر كل الظواهر الإلكترونية التي هي أساس الإلكترونيات والاتصالات الحديثة.
4. تفسر التفاعلات الكيميائية على مستوى الجزيئات والتي تمكن العالم الدكتور / أحمد زويل من تصوير بعضها باستخدام "كاميرا الليزر" فائقة السرعة.
5. ألغت بعض الفروق الموجودة بين الموجة والجسيم ونادت بـ "الطبيعة المزدوجة" (فالجسيمات لها خواص موجية والموجات لها خواص جسيمية).
6. تعتبر كمدخل مهم لدراسة "الفيزياء الكمية".

❖ ❖ إشعاع الجسم الأسود ❖ ❖

❖ درسنا فيما سبق أن:

الضوء عبارة عن موجات لأنه يتمتع بخصائص الموجات التي يمكن إيجازها في الانعكاس والانكسار



والتداخل والحيود.

الضوء لا يحتاج إلى وسط مادي لينتشر فيه.

الضوء المرئي هو عبارة عن جزء بسيط من مدي واسع

من الموجات التي تسمى بالموجات الكهرومغناطيسية التي

تنتشر جميعها في الفراغ بسرعة ثابتة c قدرها

3×10^8 م/ث، وتختلف هذه الموجات فيما بينها في

تردداتها (وبالتالي طولها الموجي) معطية ما يسمى

بالطيف الكهرومغناطيسي (وفيه تُرتب هذه الموجات

حسب طولها الموجي بدءاً من الموجات اللاسلكية ذات

الطول الموجي الكبير نسبياً ومروراً بأشعة الرادار ثم

الأشعة تحت الحمراء ثم الضوء المرئي فالأشعة فوق

البنفسجية حتى تصل إلى الأشعة ذات الطول الموجي القصير جداً وهي الأشعة السينية وأشعة

جاما) (الشكل المقابل).

❖ أما عن مصادر الضوء فتتنوع فمنها:

1 - الأجسام المتوهجة بذاتها مثل الشمس والنجوم.

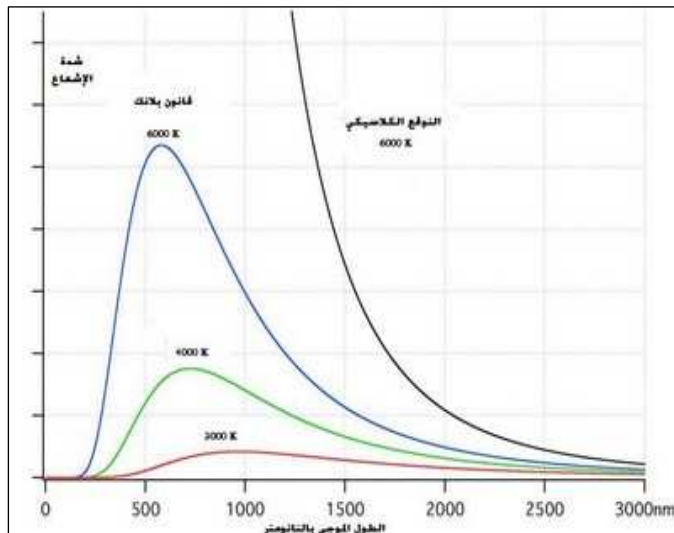
2 - الأجسام الصلبة المحماة مثل قطعة متوهجة من الفحم وفتيلة التنجستين لمصباح كهربائي.

3 - الغازات التي حدث لها تفريغ كهربائي مثل لمبة النيون المعتادة.

وأي من هذه المصادر لا يُشع كل الأطوال الموجية الموجودة في الطيف الكهرومغناطيسي بنفس الدرجة، بل

تختلف شدة الإشعاع باختلاف الطول الموجي.

وبالتالي فإن اللون الغالب على الضوء الصادر من أيها يتغير بتغير المصدر، حيث نجد أن أحد هذه الأطوال



الموجية (وهو طول موجة الضوء الصادر من

المصدر) تصاحبه أقصى شدة إشعاع (ويُرمز

لها بالرمز λ_m) وذلك لأن الطول الموجي

للضوء الصادر من مصدر ما يتوقف على

درجة حرارة هذه المصدر (سيأتي لاحقاً).

❖ ❖ ويرسم العلاقة البيانية بين شدة

الإشعاع والطول الموجي عند درجات حرارة

مختلفة نحصل على المنحنى المقابل والذي

يُعرف بـ "منحنى بلانك"، وبدراسة هذا

المنحنى وُجد الآتي:

1 - لاحظ العالم "فيين" أنه كلما زادت درجة حرارة المصدر كلما كان الطول الموجي الذي عنده أقصى شدة إشعاع (قمة المنحنى) أقصر والعكس صحيح ولقد صاغ هذه النتيجة في قانون يُعرف بـ "قانون فيين" وينص على أن "الطول الموجي الذي يُصاحب أقصى شدة إشعاع يتناسب تناسباً عكسياً مع درجة الحرارة المطلقة".

2 - عند درجة حرارة 6000 درجة كلفينية وهي درجة حرارة سطح الشمس نجد أن شدة الإشعاع العظمى تقع عند الطول الموجي 500 نانومتر أي في منطقة الضوء المرئي ومن هذا المنحنى نجد أن حوالي 40% من الطاقة الإشعاعية للشمس تكون في صورة ضوء مرئي وحوالي 50% تقريباً تكون في صورة إشعاع حراري (تقع في منطقة الأشعة تحت الحمراء ذات التأثير الحراري "الجزء الأيمن من المنحنى") أما باقي الإشعاع فيقع في منطقة الأشعة فوق البنفسجية (الجزء الأيسر).

3 - عند درجة حرارة 3000 درجة كلفينية وهي درجة حرارة المصباح الكهربائي المتوهج نحصل على نفس المنحنى مع إختلاف بسيط وهو أن الطول الموجي المقابل لقمة المنحنى يقع عند 1000 نانومتر تقريباً كما نجد أن حوالي 20% فقط من طاقته الإشعاعية عبارة عن ضوء والباقي عبارة عن طاقة حرارية.

4 - إذا زاد الطول الموجي جداً أو قصر جداً فإن شدة الإشعاع تقترب من الصفر وذلك لكل المنحنيات عند درجات الحرارة المختلفة.

♦ كل هذه الملاحظات والمشاهدات لم تستطع الفيزيائي الكلاسيكية تفسيرها وذلك لأنه تبعاً لها وحيث أن الإشعاع عبارة عن موجات كهرومغناطيسية فإن شدة الإشعاع تزداد بزيادة التردد (نقصان الطول الموجي).
... فلماذا إذاً تقل شدة الإشعاع عند الترددات العالية !!! ...

♦ ♦ إستمر هذا الحال حتى أواخر العام 1900 عندما وجد العالم " بلانك " أن المنحنى السابق يتكرر مع كل الأجسام الساخنة التي تشع طيفاً متصلاً من الإشعاع، وليس فقط الشمس، بل يحدث ذلك أيضاً للأرض وجميع الكائنات الحية ...

♦ ف "الأرض" باعتبارها جسم غير متوهج نجد أنها تمتص الإشعاع الصادر من الشمس ثم تُشعه مرة أخرى... ونظراً لأن درجة حرارتها أقل بكثير من درجة حرارة سطح الشمس فإننا نجد أن الطول الموجي المقابل لقمة المنحنى يقع عند 10 ميكرون (0.01 نانومتر) أي في منطقة الأشعة تحت الحمراء.

- هذا، وتستخدم الأقمار الصناعية وأجهزة القياس المحمولة جواً وأجهزة القياس الأرضية لتصوير الإشعاع الصادر عن سطح الأرض وتسجيل مناطق الطيف المختلفة الصادرة منها، والتي منها:

1. الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من الأرض.

2. الضوء المرئي.

3. الموجات الميكرومترية والتي تستخدم في الرادار.

- وترجع أهمية عملية تصوير الإشعاع الصادر من الأرض في تحليل هذه الصور وتحديد مصادر الثروة الطبيعية الموجودة في باطن الأرض.

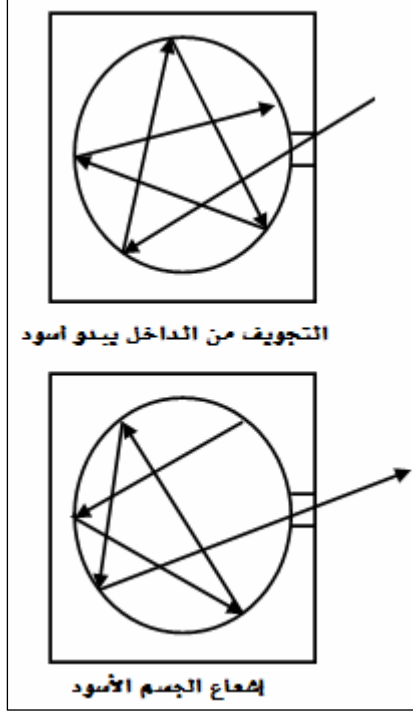
♦ أما بالنسبة لـ "الكائنات الحية" فقد وُجدَ أن الإشعاع الحراري الصادر منها يَبْقَى فترة حتى بعد إنصرافهم.

- يُفيد التصوير الحراري للإشعاع الصادر من الكائنات الحية في:

1. التطبيقات العسكرية من خلال "أجهزة الرؤية الليلية" والتي تستخدم لرؤية الأجسام المتحركة في الظلام بوضوح من خلال ما تبثه من إشعاع حراري.
2. الطب وخاصة في مجال الأورام والأجنة.

3. مجال إكتشاف الأدلة الجنائية فيما يُسمى بـ "تقنية الإستشعار عن بُعد".

❖ ولتوضيح هذه الظاهرة (ظاهرة إمتصاص الأجسام للإشعاع الساقط عليها ثم إشعاعه مرة أخرى) أقترح "بلانك" استخدام ما يُسمى بـ "الجسم الأسود" وهو "الجسم الذي يمتص كل ما يسقط عليه من



أشعة ذات أطوال موجية مختلفة ثم يُعيد إشعاعها مرة أخرى بصورة مثالية" فهو ممتص مثالي وفي نفس الوقت باعث مثالي (أي أنه أفضل الأجسام في إمتصاصه كما أنه أفضلها أيضاً في إصداره للإشعاع) (والجسم الأسود جسم افتراضي لأنه لا يوجد جسم مثالي 100% حيث لا بد وأن يُفقد جزء من طاقة الإشعاع).

❖ وكمثال جيد للجسم الأسود نعتبر "عادةً" ثقباً صغيراً في تجويف مادي مغلق ذي سطح داخلي أسود ومعزول بصورة جيدة (حتى تظل درجة حرارته ثابتة) لذا فإن أي إشعاع يدخل التجويف عبر الثقب يظل محصوراً بداخله حيث يتعرض لانعكاسات متتالية على الجدران الداخلية للتجويف فيفقد طاقته تدريجياً نتيجة الأمتصاص قبل أن يخرج من الثقب جزء ضئيل منه وهو ما يُسمى بـ "إشعاع الجسم الأسود" وبالتالي فإن الثقب الصغير يُعتبر بمثابة الجسم الأسود.

❖ ولتفسير إشعاع الجسم الأسود افترض "بلانك" عدة فروض أهمها:

1. أن الإشعاع الكهرومغناطيسي يتألف من وحدات صغيرة جداً أو دفعات من الطاقة تسمى بـ "الكم" أو "الفوتون" (والكم إصطلاح يُقصد به كمية محدودة لا تقبل التجزئة كما أنها تُمثل أصغر كمية يمكن وجودها) وبالتالي فإن الإشعاع الصادر عن الجسم الأسود عبارة عن سيل من هذه الفوتونات.
2. طاقة كل وحدة أو دفعة E تتناسب طردياً مع تردد الإشعاع ν بقانون "بلانك" التالي:

$$E = h\nu \quad (1)$$

و h هو ثابت بلانك حيث $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ Joule} \cdot \text{sec}$.

3. الإشعاع الصادر من الجسم المتوهج يكون نتيجة تذبذب ذراته (المثارة، كما سيتبين لاحقاً) وطاقة هذه الذرات المتذبذبة كمما أيضاً أي غير متصلة، وتُعطي طاقة كل مستوى من العلاقة:

$$E = nh\nu \quad : \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

♦ ♦ التأثير الكهروضوئي ♦ ♦

♦ من المعروف أن الذرات أي ذرات تتكون من نواة موجبة وإلكترونات سالبة تدور حولها وفي حالة الفلزات أو المعادن نجد أن هذه الإلكترونات حرة الحركة داخل المعدن ولكنها لا تستطيع أن تغادره بسبب قوي التجاذب التي تكون دائماً للداخل (تحت تأثير جذب النواة لها) وهو ما يُسمى بـ "حاجز جهد السطح"، ولكن هذا لا يمنع أن تخرج هذه الإلكترونات من سطح المعدن إذا ما أُعطيت كمية مناسبة من الطاقة سواء كانت في صورة طاقة حرارية أو طاقة ضوئية.

♦ فمثلاً : في حالة "أنبوبة أشعة الكاثود" الموجودة في شاشة التليفزيون والكمبيوتر تكون الطاقة المعطاة في صورة حرارة.

- **التركيب:** وتتركب هذه الأنبوبة من وعاء زجاجي مخروطي الشكل مفرغ تماماً من الغازات يحتوي على (من اليسار إلى اليمين) { فتيلة التسخين . الكاثود . شبكة . الأنود (وهذه تكون ما يُسمى بـ "المدفع الإلكتروني") . زوج من الألواح الأفقية Y . زوج من الألواح الرأسية X (زوجي الألواح هذه تُعرف بـ "الألواح الحارفة") } .

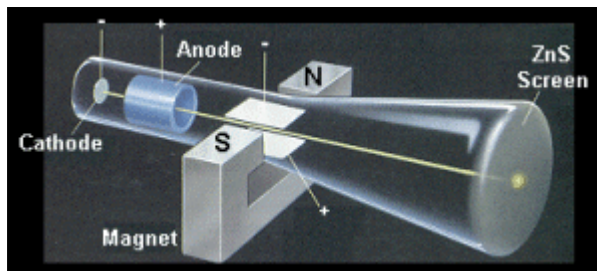
- **فكرة العمل:**

+ يتم تسخين الكاثود بواسطة فتيلة التسخين فتنتطلق منه الإلكترونات التي يتم تعجيلها بواسطة الأنود الذي يكون على هيئة قرصين يوجد في وسط كلاً منهما ثقب صغير للحصول على شعاع إلكتروني دقيق مُعجل يصطدم بالشاشة المتصلة بالقطب الموجب للدائرة الخارجية، فيصدر ضوءاً تختلف شدته من نقطة إلى أخرى حسب شدة الإشارة المرسلة.

+ كما يتم التحكم في شدة التيار الإلكتروني (وبالتالي عدد الإلكترونات المنطلقة) بواسطة الشبكة (التي تكون متصلة بالكاثود) الموجودة بين الكاثود والأنود.

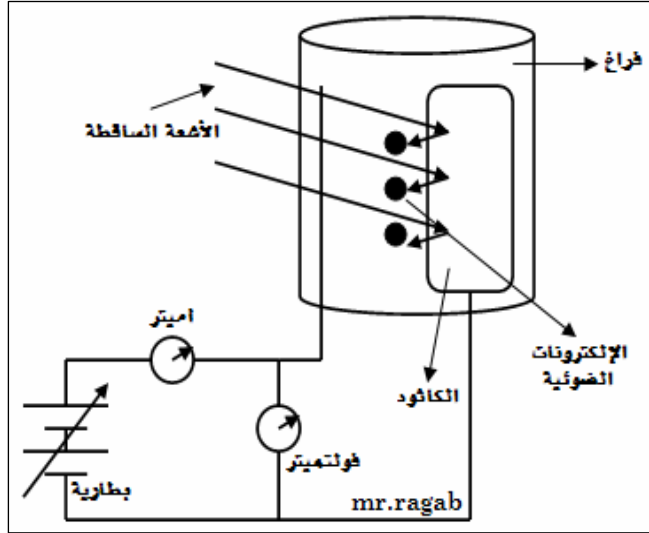
+ أما توجيه شعاع الإلكترونات فيتم بواسطة الألواح الحارفة (مع العلم بأن الألواح الأفقية تحرف النقطة المضيئة وبالتالي الشعاع الإلكتروني في الاتجاه الرأسي بينما تحرفه الألواح الرأسية في الاتجاه الأفقي) والمسقط عليها مجالات كهربائية ومغناطيسية مناسبة بحيث يمسح الشعاع الشاشة أفقياً بسرعة ثابتة وفي اتجاه واحد ثم يعود إلى موضع البداية في زمن لحظي ويستمر هذا المسح دورياً ونقطة نقطة حتى تكتمل الصورة.

♦ ♦ ♦ والشكل التالي يوضح أحد نماذج أنبوبة أشعة الكاثود :



❖ أما عندما يسقط ضوء على الكاثود بدلاً من تسخينه فإن التيار يمر أيضاً خلال الدائرة ومعنى ذلك أن الإلكترونات تحررت بفعل الضوء وتُسمى في هذه الحالة بـ "الإلكترونات الكهروضوئية" وتسمى الظاهرة ككل بـ "التأثير الكهروضوئي".

❖ فـ "التأثير الكهروضوئي" هو "ظاهرة انبعاث الإلكترونات من سطح الفلز تحت تأثير الضوء الساقط عليه".
❖ ولدراسة هذه الظاهرة نستخدم الجهاز المبين بالشكل المقابل .



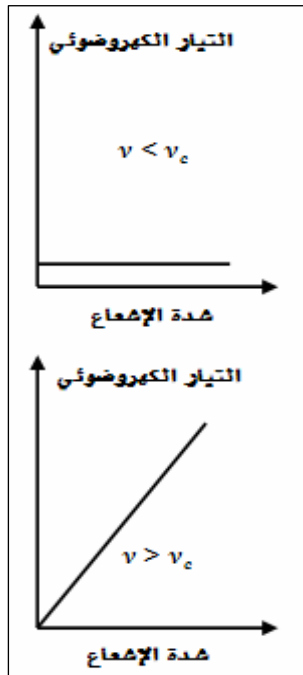
- وقد بينت النتائج والملاحظات العملية أن:

- 0 هناك شرط أساسي لحصول هذه الظاهرة وهو أن يكون تردد الإشعاع الساقط أكبر من قيمة معينة تُسمى بـ "التردد الحرج ν_c "، فلا يمكن حدوثها مهما كانت شدة الإشعاع الساقط ما لم يزد تردده عن ν_c .
- 0 إنطلاق الإلكترونات (وبالتالي طاقتها الحركية) يتناسب مع تردد الإشعاع الساقط وليس له أي علاقة بشدته.

0 إنطلاق الإلكترونات يكون لحظياً مهما كانت شدة الإشعاع منخفضة.

- 0 يتناسب عدد الإلكترونات المنطلقة (وبالتالي التيار الكهروضوئي) طردياً مع شدة الإشعاع الساقط إذا ما زاد تردده عن القيمة الحرجة.

❖ وبمناقشة هذه النتائج من خلال النظرية الكلاسيكية للضوء (التي تعتبر أن الضوء عبارة عن موجات فقط) نجد أن هناك تناقضاً واضحاً فمثلاً:



1. لو كان إمتصاص الإلكترونات للطاقة يتم بشكل مستمر فإن كل إلكترون يجمع الطاقة بالتدريج ولا يتحرر حتى تبلغ طاقته قيمة كافية لتحريره من الفلز. ولو كان هذا صحيحاً لوجب أن يحصل التأثير الكهروضوئي عندما تكون شدة الإشعاع عالية بغض النظر عن تردده وهذا يُخالف الملاحظة الأولى.
2. ولنفس السبب، فإنه ينبغي إزدياد الطاقة الحركية للإلكترونات المنطلقة بزيادة شدة الإشعاع وهذا يُخالف الملاحظة الثانية.
3. كل ما سبق سيؤدي إلى تأخر زمني في انبعاث الإلكترونات وخاصة عندما تكون شدة الإشعاع منخفضة ولن تستكمل الإلكترونات الطاقة الكافية لفصلها عن المعدن إلا بعد فترة طويلة وهذا يُخالف الملاحظة الثالثة.

❖ أما في عام 1905 فقد قدم العالم "أينشتاين" تفسيراً لظاهرة التأثير الكهروضوئي بناءً على فرض بلانك ويتلخص هذه التفسير فيما يلي:

"عندما يسقط فوتوناً طاقته $h\nu$ على سطح فلز ما وكانت هذه الطاقة مساوية لقيمة معينة تُسمى بـ "دالة الشغل E_w " (دالة الشغل أو طاقة الفصل أو طاقة الربط كلها مصطلحات تدل على أقل طاقة كافية لتحرير الإلكترون من الذرة أو من سطح المعدن) حيث:

$$E_w = h\nu_c$$

فإن هذا الفوتون يستطيع بالكاد أن يحرر الإلكترون من سطح المعدن ويكون:

$$h\nu = E_w$$

0 وعليه إذا كانت $h\nu$ أقل من E_w أو كانت $\nu < \nu_c$ فإن الإلكترون لا يستطيع أن يتحرر مهما كانت شدة الإضاءة.

0 أما إذا كان تردد الإشعاع الساقط $h\nu$ أكبر من التردد الحرج أي أن طاقته أكبر من دالة الشغل للمعدن فإن الإلكترون سيتحرر أما فرق الطاقة فيخرج في صورة طاقة حركية للإلكترونات المنطلقة ويكون:

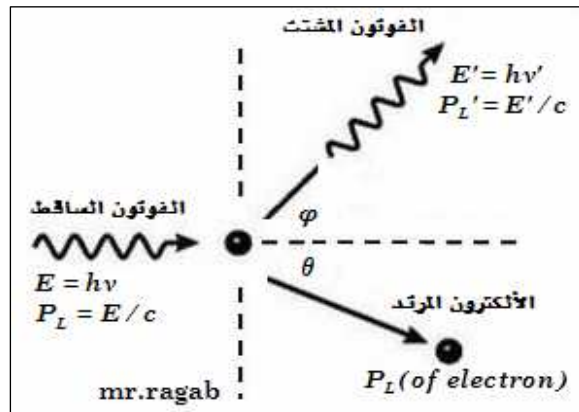
$$h\nu = E_w + K.E. = h\nu_c + K.E. \quad 0$$

0 وتزداد طاقة الحركة $K.E.$ هذه بزيادة تردد الإشعاع الساقط لأنه من المعادلة السابقة نلاحظ أن دالة الشغل ذات قيمة ثابتة.

0 كما نلاحظ أن التردد الحرج ν_c هو خاصية مميزة للمعدن وعليه فإن دالة الشغل E_w تختلف من معدن لآخر كما أنها لا تعتمد على شدة الضوء الساقط أو زمن التعرض له أو حتى فرق الجهد بين المهبط والمصعد.

- والمعادلة السابقة هي "معادلة أينشتاين في التأثير الكهروضوئي" ومن خلالها يمكن تفسير النتيجتين الأولى والثانية، أما بالنسبة للإنتقال الآني للإلكترونات فإن أي إلكترون يمتص فوتوناً من فوتونات الإشعاع الساقط يتحرر فوراً ولا يحتاج إلى زمن طويل لتجميع الطاقة، وبالنسبة للنتيجة الرابعة فإن شدة الإشعاع الساقط تتناسب مع عدد الفوتونات الساقطة إذا كان الشعاع وحيد اللون (أي أن له طول موجي وحيد القيمة وبالتالي يتكون من فوتونات ذات طاقة متساوية بخلاف الضوء الأبيض فإنه يحتوي على أطوال موجية مختلفة وبالتالي على فوتونات ذات طاقات مختلفة) لذا فإنها تتناسب مع عدد الإلكترونات المنبعثة.

♦♦ ظاهرة (تأثير) كومبتون ♦♦



■ أعطت ظاهرة التأثير الكهروضوئي تأكيداً جديداً للنظرية الجسيمية للإشعاع أي نظرية الفوتونات الأمر الذي دفع العلماء إلى إجراء تجارب عديدة كانت إحداها تجربة "تشتت الأشعة السينية" والمعروفة بـ "تأثير كومبتون" (الشكل المقابل).

■ فقد لاحظ العالم "كومبتون" في هذه التجربة أن الأشعة المنتشرة تكون ذات تردد أصغر قليلاً

من الأشعة الساقطة، فعند سقوط فوتون عالي التردد (أحد فوتونات الإشعة السينية أو أشعة جاما) على إلكترون حر فإن تردد هذا الفوتون يقل ويتغير اتجاهه وفي نفس الوقت تزداد سرعة الإلكترون مع تغير اتجاهه أيضاً.

- ولا يمكن تفسير ذلك في ضوء النظرية الكلاسيكية، الأمر الذي حدا بالعالم "كومبتون" إلى استخدام الصورة الجسيمية للإشعاع واعتبار هذه الظاهرة كحالة اصطدام بين فوتونات الأشعة الساقطة والإلكترونات الحرة في المادة تماماً كما تصطدم كرات البلياردو.
- وعليه فإن الفوتون في هذه الحالة يعتبر جسيماً له طاقة E وكمية حركة P_L وبالتالي كتلة وسرعة وأيضاً يكون للإلكترون سرعة وكتلة وبالتالي كمية حركة وطاقة.
- وتطبيق قانون بقاء الطاقة الذي تكون فيه (طاقة الفوتون + طاقة الإلكترون) قبل التصادم = (طاقة الفوتون + طاقة الإلكترون) بعد التصادم وكذا تطبيق قانون بقاء كمية الحركة الذي فيه كمية الحركة قبل التصادم = كمية الحركة بعد التصادم استطاع كومبتون أن يحصل على نتائج تتطابق مع المشاهدات التجريبية.

❖ ❖ خواص الفوتون ❖ ❖

❖ مما سبق نصل إلى أن الفوتون:

1. هو كم من الطاقة مُركّز في حيز صغير جداً ولا يقبل التجزئة فهو يتفاعل كوحدة كاملة ويُعطي طاقته من المعادلة (1).

2. يتحرك بسرعة ثابتة هي سرعة الضوء c مهما كان تردده.

3. له كتلة m وله سرعة c وبالتالي تكون له كمية تحرك هي P_L .

- ومن ناحية أخرى ... فقد أثبت "إينشتاين" من خلال "النظرية النسبية" ارتباط الكتلة والطاقة بعلاقة واحدة هي:

$$E = mc^2 \quad (2)$$

والتي تُبين أن الكتلة والطاقة وجهان لعملة واحدة ويمكن لأحدهما أن يتحول إلى الآخر ... أي أن النقص أو الفقد في الكتلة يتحول إلى طاقة .. وهذا هو أساس القنبلة النووية ..

فقد وجد أنه خلال الإنشطار النووي يحدث نقص في الكتلة بمقدار ضئيل جداً يتحول (تبعاً للعلاقة السابقة) إلى كمية هائلة من الطاقة وذلك لأن عامل التحويل هو مربع سرعة الضوء أي c^2 والذي يبلغ $(9 \times 10^{16} \text{ m}^2 / \text{sec}^2)$ أي أنه مقدار كبير جداً.

وللعلم : هذا بالنسبة لتحويل الكتلة إلى طاقة أما بالنسبة لتحويل الطاقة إلى كتلة فيحدث في عملية تسمى بـ "إنتاج الزوج" فيها تتحول الطاقة (أشعة جاما) إلى كتلة (إلكترون وبوزيترون).

وبعد أن تبين إمكانية التحويل من طاقة إلى كتلة والعكس فإن قانون بقاء الكتلة وقانون بقاء الطاقة المنفصلين في الفيزياء الكلاسيكية يندمجان معاً في النظرية النسبية في قانون واحد هو "قانون بقاء الكتلة والطاقة".

- نعود مرة ثانية إلى الفوتون ذو الطاقة $E = h\nu$ فإنه حسب معادلة أينشتاين السابقة يملك أثناء حركته كتلة تُعطي من العلاقة:

$$E = h\nu = mc^2 \quad \text{or} \quad m = \frac{h\nu}{c^2} \quad (3)$$

وبالتالي تكون كمية حركته P_L (وهي حاصل ضرب الكتلة في السرعة) هي:

$$P_L = mc = \frac{h\nu}{c^2} \times c = \frac{h\nu}{c} \quad \text{or} \quad P_L = \frac{h\nu}{c} \quad (4)$$

♦ أما عندما يسقط شعاع من الفوتونات على سطح ما بمعدل $\phi_L \text{ photons / sec}$ فإن كل فوتون يسقط على السطح وينعكس عنه يُعاني تغيراً في كمية الحركة بمقدار $\Delta P_L = 2mc$.
♦ وللشعاع ككل يكون $\Delta P_L = 2mc\phi_L$ حيث ϕ_L تمثل عدد الفوتونات (مجرد عدد وليس كمية فيزيائية) الساقطة في الثانية.

♦ وبالتالي فإن القوة التي يؤثر بها شعاع الفوتونات على السطح تكون عبارة عن التغير في كمية التحرك للشعاع لكل ثانية، أي أن:

$$F = \frac{\Delta P_L}{\Delta t} = 2mc\phi_L = 2\left(\frac{h\nu}{c^2}\right)c\phi_L = 2\left(\frac{h\nu}{c}\right)\phi_L \quad : \quad \Delta t = 1 \text{ sec}$$

- أي أن:

$$F = \frac{2P_w}{c} \quad (5)$$

حيث P_w هي القدرة بـ "الوات *Watt*" للطاقة الضوئية الساقطة على السطح.

♦ مثال : إحسب القوة التي يؤثر بها شعاع قدرته 1 وات على سطح حائط؟

من القانون السابق يكون:

$$F = \frac{2P_w}{c} = \frac{2 \times 1}{3 \times 10^8} = \frac{0.67}{10^8} \text{ Newtons}$$

وهذه القوة صغيرة جداً فلا تؤثر تأثيراً ملحوظاً على سطح الحائط، ولكن يمكن أن تؤثر بدرجة كبيرة على إلكترون حر وذلك لصغر كتلته فتقذفه بعيداً... وهذا ما يفسر ظاهرة "كومبتون".

♦ العلاقة بين الطول الموجي وكمية التحرك الخطية للفوتون ♦

♦ إلى هنا نكون قد إقتنعنا بأن الفوتون له طبيعة مزدوجة (موجة - جسيم)، فيُعبّر عن الطابع الجسيمي له بمعادلة بلانك:

$$E = h\nu$$

أما الطابع الموجي فيظهر من المعادلة:

$$c = \lambda\nu$$

حيث هو λ طول الموجة الخاص به و ν تردده و c سرعة إنتشاره، إذاً :

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{c}{\nu} \times \frac{h}{h\nu} = \frac{h}{h\nu/c}$$

$$\text{but} \quad P_L = \frac{h\nu}{c} \quad \text{so} \quad \lambda = \frac{h}{P_L} \quad (6)$$

والمعادلة رقم 6 هي العلاقة التي تجمع بين الطبيعة المزدوجة (الموجية والجسيمية) للفوتون. ♦ ♦ وتبعاً لهذه المعادلة :

- إذا كان الطول الموجي λ أكبر بكثير من المسافات البينية لذرات السطح فإن الفوتونات تعامل هذا السطح كسطح متصل وبالتالي تنعكس عنه طبقاً للنظرية الموجية.
- أما إذا كان الطول الموجي مساوياً للمسافات البينية فإن الفوتونات تنفذ من خلال الذرات تماماً كما في حالة الأشعة السينية.

♦ ♦ مثال: إحسب كتلة الفوتون وكمية حركته إذا كان طول موجته 380 نانومتر؟
المعطيات:

$$\lambda = 380 \text{ nanom.} \quad \diamond \quad c = 3 \times 10^8 \text{ m / sec} \quad \diamond \quad h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ Joule.sec}$$

إذاً:

$$c = \lambda v \Rightarrow v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \times 10^9}{380} = 7.89 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\text{but } m = \frac{hv}{c^2} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 7.89 \times 10^{14}}{9 \times 10^{16}} = 5.81 \times 10^{-36} \text{ kg}$$

$$\text{and } P_L = \frac{hv}{c} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 7.89 \times 10^{14}}{3 \times 10^8} = 1.74 \times 10^{-27} \text{ kgm / sec}$$

♦ ♦ الطبيعة الموجية للجسيم ♦ ♦

- درس الفيزيائي الفرنسي "لويس دي برولي" الطبيعة المزدوجة التي يتصف بها الإشعاع وأحس بالتناظر القائم في الكون وتسأل: إذا كانت للموجات طبيعة جسيمية فلماذا لا يكون للجسيم (وبالتالي للمادة) طبيعة موجية؟!!!
- لذا فقد اقترح في رسالته للدكتوراة عام 1924 اقتراحاً مفاده أن "للمادة أيضاً طبيعة موجية بالإضافة إلى طبيعتها الجسيمية".
- فكما أن للإشعاع ذي الطول الموجي λ كمية تحرك خطية P_L تُعطي من العلاقة $P_L = hv / c$ يكون للجسيم المادي (إلكترون أو بروتون أو نيوترون أو أي جسيم دقيق) ذو كمية التحرك الخطية P طول موجي مصاحب λ يُعطي من العلاقة:

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv} \quad (7)$$

ويسمى الطول الموجي λ في هذه الحالة بـ "طول موجة دي برولي للجسيم".

- ويُنبأ على هذا التناظر والتماثل الموجود بين الموجات والجسيمات ... وحيث أن الشعاع الضوئي مكون من مجموعة هائلة من الفوتونات لها طول موجة مصاحب يصف سلوكها الجماعي من حيث الانتشار والانعكاس والانكسار والتداخل والحيود، كما تصف شدة الموجة تركيز الفوتونات بمعنى أن الفوتون يحمل الصفات الوراثية للموجة من حيث التردد والطول الموجي والسرعة.
- فإنه يمكننا تطبيق نفس المنطق على الجسيمات ... بمعنى أن شعاع الإلكترونات يمكن النظر إليه على أنه مكوناً من عدد كبير جداً من الإلكترونات لها طول موجي مصاحب يصف سلوكها

الجماعي ... وبالمثل فإن الإلكترون الواحد يحمل الصفات الوراثية للشعاع كله من حيث الشحنة والكتلة وكمية التحرك .. وأيضاً .. تدل شدة الموجة المصاحبة على تركيز الإلكترونات. ■ كما يكون لهذه الموجة المصاحبة نفس خواص الموجات التقليدية من إنتشار وإنعكاس وإنكسار وتداخل وحيود.

♦ وهنا يتبادر إلى أذهاننا .. سؤال ..!!!

هل معنى ما سبق أنه يمكن إستخدام شعاع من الإلكترونات كما نستخدم شعاع من الضوء ؟؟؟
والإجابة هي : نعم :::

وأكبر دليل على ذلك هو "الميكروسكوب الإلكتروني".

♦ ♦ الميكروسكوب الإلكتروني ♦ ♦

♦ يعتبر الميكروسكوب الإلكتروني من الأجهزة العملية التي تعتمد على الطبيعة الموجية للإلكترونات . وهو يشبه الميكروسكوب الضوئي في نواح كثيرة منها (أن تجميع الشعاع الإلكتروني أو الأشعة الضوئية أو تضيقها يتم بواسطة عدسات مناسبة، كما يحدث لكل منهما خاصيتي التداخل والحيود).
- أما الإختلاف الرئيسي بينهما فيكمن في "القدرة على التحليل"، حيث يمتاز الميكروسكوب الإلكتروني بقدرة تحليلية عالية جداً وأيضاً تمييز التفاصيل الدقيقة، وذلك لأنه يعتمد في عمله (كما يتضح من الاسم) على الشعاع الإلكتروني، وكما درسنا سابقاً فإن الإلكترون المتحرك تصحبه دائماً موجات يتوقف طولها على طاقة الإلكترون فكلما زادت هذه الطاقة كلما قصر الطول الموجي للإلكترون تبعاً للعلاقة التالية:

$$E = mc^2 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

♦ وحيث أن الإلكترونات يمكن أن تُحمل بطاقة حركة عالية جداً ومن ثم يكون لها أطوال موجية قصيرة جداً وعليه يكون معامل التكبير للميكروسكوب الإلكتروني كبير جداً بحيث يستطيع أن يرصد أجساماً صغيرة لا يستطيع الضوء المرئي أن يرصدها لأن الطول الموجي للشعاع الإلكتروني يكون أقصر ألف مرة على الأقل من الطول الموجي للضوء المرئي.

♦ أما العدسات المستخدمة فيه فهي عدسات مغناطيسية تعمل على تركيز شعاع الإلكترونات في نقطة معينة.

♦♦ ميكانيكا الكم ♦♦

- مع بداية القرن العشرين وأثناء دراسة النظم المؤلفة من جسيمات متناهية في الصغر أكتشفت ظواهر عجزت الفيزياء التقليدية عن تفسيرها، فظهرت فرضيات أُضيفت إلى الفيزياء التقليدية لتناسب هذه الظواهر وانتهى الأمر أخيراً إلى نظرية متكاملة سُميت بـ "ميكانيكا الكم".
- وقد بُنيت هذه الميكانيكا على فروض أساسية صاغها الفيزيائي النمساوي "إروين شرودنجر" على النحو التالي:

(1) يدور الإلكترون حول الذرة في مدارات معينة تسمى بـ "مستويات الطاقة" تكون فيها طاقة الإلكترون ذات قيم ثابتة.

(2) لا تنبعث الطاقة من الذرة إلا إذا إنتقل الإلكترون من مستوى معين إلى مستوى أدنى منه.

(3) تصدر هذه الطاقة على هيئة فوتون طاقته $h\nu$ وهي تساوي فرق الطاقة بين المستويين وتسمى هذه العملية بـ "الإسترخاء".

(4) ينتقل الإلكترون من مستوى معين إلى مستوى أعلى منه عندما يمتص الذرة كمية من الطاقة (على هيئة فوتون أيضاً) مساوية لفرق الطاقة بين المستويين وتسمى هذه العملية بـ "الإستثارة".

(5) إذا كانت طاقة الفوتون الساقط أكبر من طاقة التآين للذرة فإن الإلكترون يتحرر من الذرة نهائياً تاركاً الذرة عبارة عن أيون موجب.

(6) عملية الإستثارة وعملية الإسترخاء عمليتان متلازمتان، وفي حالة الإتزان الحراري تكون الذرة مستقرة.

(7) هناك دالة تصف حالة الإلكترون داخل الذرة تسمى بـ "الدالة الموجية ψ " هذه الدالة تعبر عن احتمالية وجود الإلكترون في مكان ما في لحظة معينة، فـ "الإحتمالية" هي مقدار موجب تتراوح قيمته بين صفر (في حالة التأكد من عدم وجود الجسيم في ذلك المكان عند تلك اللحظة فمثلاً إحتمالية وجود الإلكترون داخل الذرة بالقرب من النواة تساوي صفر) ولا يسقط في النواة ويفني الكون، وأيضاً إحتمالية وجود الإلكترون داخل الذرة بعيداً عن النواة تقترب من الصفر وذلك بسبب تأثير جذب النواة له وبالتالي فإن الإلكترون يظل محبوساً داخل الذرة (وبين الواحد (حين الجزم بأن الجسيم يوجد في مكان معين في لحظة معينة).

♦♦ هذا ... وقد وجد أن فروض ميكانيكا الكم تتفق نتائجها مع المشاهدات العملية في كل ما يتصل بالجسيمات المحبوسة في حيز ضيق (أو الجسيمات المقيدة)، أما إذا كان الحيز كبير نسبياً (أي بالنسبة للجسيم) فعندئذ يمكن إستخدام الميكانيكا الكلاسيكية.

♦ ♦ مثال: احسب الطول الموجي لكرة كتلتها 140 كجم تتحرك بسرعة 40 م/ث , ثم احسب الطول الموجي للإلكترون إذا كان يتحرك بنفس السرعة؟
المعطيات:

$$m = 140\text{kg} \quad v = 40\text{m / sec} \quad m_e = 9.1 \times 10^{-31}\text{ kg} \quad h = 6.625 \times 10^{-34}\text{ Joule.sec}$$

أولاً: الطول الموجي لكرة:

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{140 \times 40} = 1.18 \times 10^{-37}\text{ m}$$

ثانياً: الطول الموجي للإلكترون:

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{m_e v} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 40} = 1.82 \times 10^{-5}\text{ m}$$

ومن خلال هذا المثال يمكن طرح سؤال هام وهو:

لماذا لا تظهر الخواص الموجية للأجسام المحيطة بنا ؟؟؟

يرجع هذا الأمر إلى أن طول موجة الأجسام المتحركة ذات الكتلة الكبيرة نسبياً يكون صغيراً جداً ... فكما رأينا في المثال أن الخواص الموجية للمرة السابقة يمكن أن تظهر فقط عندما تصطدم بشبكة حيود يبلغ عرض فتحتها 1.18×10^{-37} متر ولكن هذه المسافة أصغر بكثير من أبعاد الذرة (10^{-10} متر) كما أنها أصغر من أبعاد النواة (10^{-13} متر) أيضاً وعليه لا يمكن أن تظهر الخواص الموجية للمرة لدي اصطدامها بأجسام حقيقية، أما بالنسبة لموجة الإلكترونات فإنه يمكن ملاحظة حيودها عند اصطدام الإلكترونات بذرات البلورات ...

المجلد الثالث عشر

«الأطراف الخرية»

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

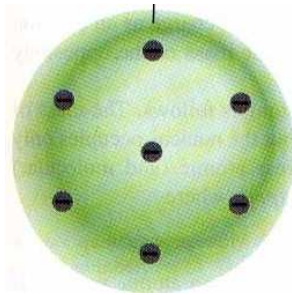
الوحدة الخامسة / الفصل الثالث عشر: " الأطياف الذرية "

الأطياف الذرية

❖ مقدمة:

لقد كان تطور مفهوم الذرة يسير جنباً إلى جنب مع تطور علمي الكيمياء والفيزياء، لذا فقد جرت عدة محاولات لوضع فرضيات ونماذج للذرة تحاول التوفيق بين النموذج المقترح والمعطيات التجريبية، ومن هذه النماذج:

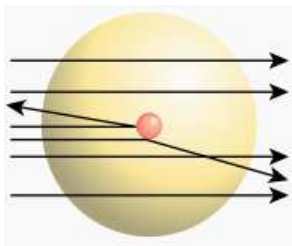
نموذج طومسون



- بعد إكتشاف الإلكترون تمكن الفيزيائي "ج ج طومسون" في إحدى تجاربه من قياس الشحنة النوعية للإلكترون (أو ما يُسمى بـ "نسبة الشحنة إلى الكتلة" له) e / m_e .
- وعليه وضع نموذجاً للذرة إفترض فيه أن الذرة مؤلفة من كرة مصمته من مادة ذات شحنة موجبة تتوزع داخلها الإلكترونات سالبة الشحنة بشكل منتظم، وفيه أيضاً تكون الشحنة السالبة الكلية للذرة مساوياً للشحنة الموجبة لها لأن الذرة متعادلة كهربياً.

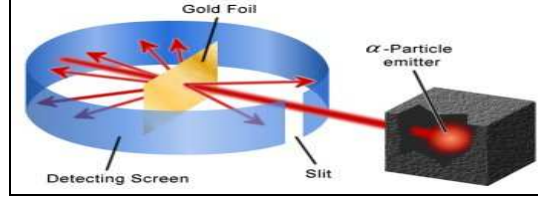
نموذج رذرفورد

في عام 1911 أجري "رذرفورد" تجربته الشهيرة في تشتيت أشعة ألفا والتي تُعد دليلاً قاطعاً على عدم صلاحية نموذج "طومسون" فعند توجيه حزمة من جسيمات ألفا ^4_2He السريعة إلى شريحة رقيقة جداً من الذهب (سمكها حوالي 10^{-4} سم) لاحظ رذرفورد الآتي:



1. معظم جسيمات ألفا تنفذ خلال الشريحة دون أن تُعاني أي انحراف يُذكر في مسارها مما يعني أن معظم الذرة فارغ.
 2. تنحرف نسبة قليلة من هذه الجسيمات عن مسارها الأول بزوايا صغيرة مما يدل على إقترابها من جسيم كبير نسبياً مماثل لها في الشحنة.
 3. بعض هذه الجسيمات ينحرف بزوايا كبيرة إلى نفس جهة صدورها، بل إن عدداً منها يرتد بزوايا 180° تقريباً الأمر الذي يعني اصطدامها بجسيم كبير نسبياً مماثل لها في الشحنة.
- ❖ وبناءً على هذه الملاحظات والنتائج وضع "رذرفورد" نموذجاً لتركيب الذرة على النحو التالي:
1. تتركز معظم كتلة الذرة في حجم صغير جداً منها يُسمى بـ "النواة" التي تحمل الشحنة الموجبة.
 2. تدور الإلكترونات بسرعة كبيرة في الفضاء الشاسع حول النواة، لأنها لو كانت ساكنة لانجذبت للنواة.

3. الذرة متعادلة كهربياً وبالتالي فإن عدد الإلكترونات السالبة خارج النواة = عدد الشحنات الموجبة داخلها.
4. معظم حجم الذرة فراغ وبالتالي فإن الحجم الذي تشغله النواة والإلكترونات ضئيل جداً مقارنةً بحجم الذرة ككل.



❖ الصعوبات التي صادفت نموذج رذرفورد

بعد أن استقر الرأي على اعتماد نموذج رذرفورد وُجِهَت إليه بعض الانتقادات الخاصة باستقرار الذرة وتفسير خطوط الطيف.

❖ أولاً: بالنسبة لاستقرار الذرة:

- ❑ فإذا ما افترضنا أن الإلكترونات تدور حول النواة بسرعة كبيرة فإن هذا النظام يبدو مستقراً من الناحية الميكانيكية لأن الإلكترون سيكون متزنًا تحت تأثير قوة جذب النواة الموجبة المُعادلة للقوة الطاردة المركزية الناتجة عن دوران الإلكترونات حول النواة في مدارات دائرية.
- ❑ ولكن هذا لا يحل المشكلة ذلك لأن الإلكترون وهو يدور حول النواة سيكتسب عجلة مركزية ... وأي شحنة تتحرك بعجلة لابد لها "تبعاً للنظرية الكهرومغناطيسية" من أن تُصدر طاقة كهرومغناطيسية (إشعاع كهرومغناطيسي) بشكل مستمر.
- ❑ وتكون هذه الطاقة المفقودة على حساب الطاقة الكلية للإلكترون في مداره ... الأمر الذي يتسبب في إقتراب الإلكترون من النواة بشكل تدريجي ويتخذ مساراً حلزونياً حتي يسقط على النواة فتتهار الذرة ويفني الكون... ولكن هذا لا يحدث في الواقع.

❖ ثانياً: بالنسبة لتفسير خطوط الطيف للعناصر:

- ❑ وهذا يرتبط بالتفسير السابق .. فحيث أن الذرة تشع الطاقة باستمرار... لذا فإنه يجب أن يحتوي الإشعاع الناتج على كل الترددات الممكنة أي أن تصدر الذرة "طيفاً مستمراً".
- ❑ ولكن هذا يُخالف المشاهدات العملية، إذ أن طيف العناصر يكون "طيف خطي" (خطوط طيفية متقطعة) أي على هيئة خطوط ذات أطوال موجية محددة تميز كل عنصر عن الآخر.

نموذج بور

❖ من أكثر النماذج التي استحوذت على إعجاب العلماء وتقديرهم هو نموذج "بور" الذري، ففيه يعتمد "بور" على نموذج "رذرفورد" السابق واستطاع تجاوز تناقضاته بإستعمال فكرة "الكم" التي إستخدمها كلاً من "بلانك" و "أينشتاين" من قبل.

❖ وقد نصت فرضيات هذا النموذج على:

1. تتركز معظم كتلة الذرة في حجم صغير جداً منها يُسمى بـ "النواة" التي تحمل الشحنة الموجبة.

2. الذرة متعادلة كهربياً وبالتالي فإن عدد الإلكترونات السالبة خارج النواة = عدد الشحنات الموجبة داخلها.

3. تدور الإلكترونات بسرعة كبيرة في الفضاء الشاسع حول النواة في مدارات محددة تُعرف بـ "الأغلفة" لكل منها مستوى طاقة معين، ولا تصدر الذرة أي إشعاع طالما كان الإلكترون في مستوى الطاقة الخاص به.

❖ وإلى جانب هذه الفرضيات وضع "بور" الفروض الثلاثة التالية:

4. لا تنبعث الإشعاعات الكهرومغناطيسية (الفوتونات) من الإلكترونات إلا عندما يقفز الإلكترون من مستوى معين (ولتكن طاقته E_2) إلى المستوى الأدنى منه (طاقته E_1 مثلاً)، وتكون طاقة الفوتون المنبعث $h\nu$ مساوية للفرق بين طاقة المستويين.

فإذا كانت $E_2 > E_1$ فإن طاقة الفوتون تُعطي من العلاقة:

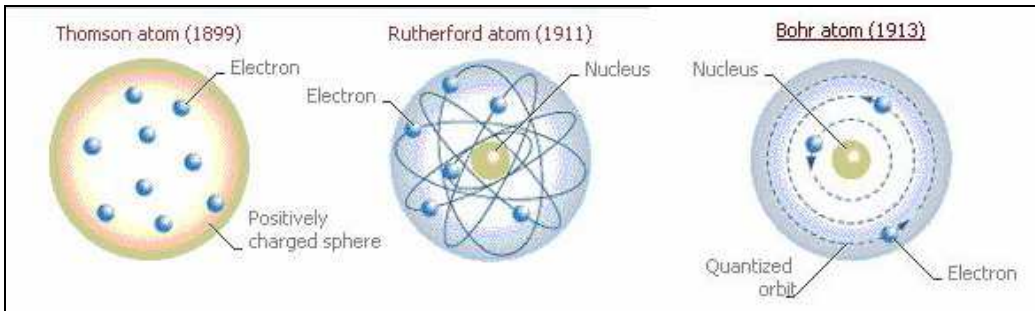
$$h\nu = \Delta E = E_2 - E_1 \quad (1)$$

حيث ν هو تردد الإشعاع المنبعث.

5. القوى الكهربائية (قوة التجاذب بين النواة والإلكترون) والقوى الميكانيكية (قوى الطرد المركزي) تكون قابلة للتطبيق على المستوى الذري.

6. يمكن حساب طاقة المدار تقديرياً باعتبار أن الموجة المصاحبة للإلكترون موجة موقوفة.

❖ والشكل التالي يوضح الفرق بين شكل الذرة في ضوء النماذج الثلاث السابقة :



الطيف الخطي لذرة الهيدروجين

❖ عندما تكتسب مجموعة من ذرات الهيدروجين كمية من الطاقة فإنها لا تُثار كلها بنفس الدرجة، حيث نجد أن الإلكترونات الموجودة في المستوى الأول (المستوى الأرضي حيث $n = 1$) لتلك الذرات تنتقل إلى مستويات مختلفة أعلى حيث $n = 2$ or 3 or 4 or وذلك حسب كمية الطاقة التي يتلقاها كل إلكترون في كل ذرة والتي يجب أن تكون مساوية للفرق بين طاقة المستوى النهائي n وطاقة المستوى الأول أي $(E_2 - E_1)$.

❖ لا تبقى الذرة في حالة الإثارة إلا لفترة قصيرة جداً (حوالي 10^{-8} ثانية) ثم تعود بعدها إلى حالة الأول، وبمعنى آخر: لا تبقى الإلكترونات في المستويات العليا إلا لفترة قصيرة جداً تهبط بعدها إلى مستواها الأرضي مرة أخرى.

❖ وكما سبق وأن بينّا... فإن الإلكترون عندما يهبط من المستوى الطاقة الأعلى إلى مستوى أدنى فإن فرق الطاقة يخرج في شكل إشعاع كهرومغناطيسي تردده ν وطاقته تساوي $h\nu$ حيث:

$$h\nu = \Delta E = E_2 - E_1 \quad \text{and} \quad \lambda = c / \nu$$

❖ ولقد وجدَ عملياً... أنه عند إثارة ذرة الهيدروجين فإنها تُعطي خمس مجموعات من الخطوط الطيفية التي تُعرف بـ "المتسلسلات" كل مجموعة منها تُقابل طاقة محددة وبالتالي تردد محدد.

❖ وهذه المتسلسلات هي:

1. متسلسلة "ليمان": وتنتج عندما ينتقل الإلكترون من أي من المستويات العليا التي لها $n > 1$ إلى المستوى الأول K حيث $n = 1$.

وتقع هذه المجموعة في منطقة الأشعة فوق البنفسجية ذات الترددات العالية.

2. متسلسلة "بالمر": وتنتج عندما ينتقل الإلكترون من أي من المستويات العليا التي لها $n > 2$ إلى المستوى الثاني L حيث $n = 2$.

وتقع هذه المجموعة في منطقة الضوء المرئي.

3. متسلسلة "باشن": وتنتج عندما ينتقل الإلكترون من أي من المستويات العليا التي لها $n > 3$ إلى المستوى الثالث M حيث $n = 3$.

وتقع هذه المجموعة في منطقة الأشعة تحت الحمراء.

4. متسلسلة "براكيت": وتنتج عندما ينتقل الإلكترون من أي من المستويات العليا التي لها $n > 4$ إلى المستوى الرابع N حيث $n = 4$.

وتقع هذه المجموعة في منطقة الأشعة تحت الحمراء أيضاً.

5. متسلسلة "بفوند": وتنتج عندما ينتقل الإلكترون من أي من المستويات العليا التي لها $n > 5$ إلى المستوى الخامس O حيث $n = 5$.

وتقع هذه المجموعة في أقصى المنطقة تحت الحمراء وتتميز بأنها أكبر الأطوال الموجية.

المطياف

بدايةً: يمكن تعريف "الطيف" على أنه "نواتج تحليل الضوء إلى مكوناته المرئية وغير المرئية"، ويمكن أن نفرق بين نوعين إثنين من الطيف هما: الطيف المستمر والطيف الخطي.

(1) فـ "الطيف المستمر" هو "الطيف الذي يشتمل على كل الأطوال الموجية في مدى معين موزعة توزيعاً مستمراً أو متصلاً".

(2) أما "الطيف الخطي" فهو "الطيف الذي يشتمل على بعض الأطوال الموجية موزعة توزيعاً غير متصل".

❖ استخدامه: يستخدم المطياف في الحصول على الطيف النقي للعناصر.

❖ تركيبه: يتكون المطياف من ثلاث أجزاء رئيسية هي:

1 - المُجمع: وهو يشتمل على مصدر الضوء الذي يوجد أمامه فتحة مستطيلة ضيقة يمكن التحكم في إتساعها بواسطة مسمار محوي وتضبط هذه الفتحة حتى تكون دائماً في بؤرة عدسة محدبة.

2 - منضدة قابلة للدوران يوضع عليها منشور ثلاثي من الزجاج بشرط أن يكون في وضع النهاية الصغرى للانحراف (يمكن مراجعة خواص هذا الوضع في فصل الضوء).

3 - التليسكوب: وهو يتكون من عدستين هما العدسة الشيئية والعدسة العينية، ويقوم التليسكوب بتكوين صورة الطيف على الكاشف الذي يكون عبارة عن لوح فوتوغرافي حساس.
❖ طريقة العمل:

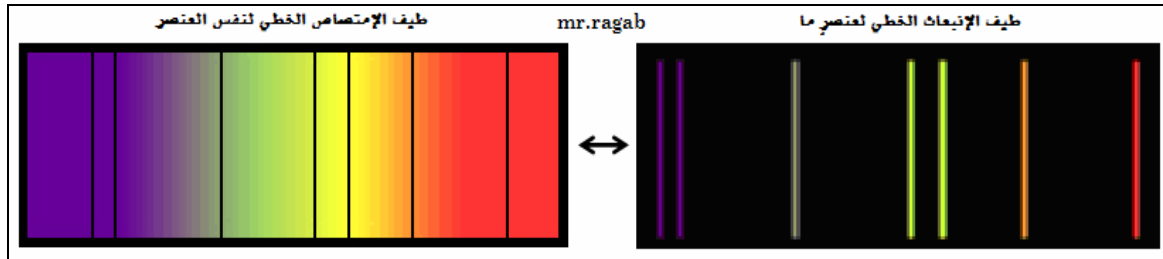
(1) يسقط شعاع من الضوء الأبيض المتألق على الفتحة المستطيلة ومن ثم على المنشور.
(2) يُوجّه التليسكوب لإستقبال الأشعة المارة خلال المنشور ويجب ملاحظة أن أشعة كل لون تكون متوازية فيما بينها وغير موازية لأشعة الألوان الأخرى، لذا تعمل العدسة الشيئية على تجميع كل لون منها في بؤرة خاصة به على المستوى البؤري لهذه العدسة التي يمكن رؤيتها بواسطة العدسة العينية، وبذلك يتم الحصول على طيف نقي.

❖ أنواع الأطياف !!!

بدراسة أطياف المواد المختلفة التي تشعها ذراتها المثارة نجد أنه يمكن تقسيم هذه الأطياف إلى نوعين رئيسيين هما:

1 - طيف الإنبعث: وهو الطيف الناتج عن انتقال الذرات المثارة من المستويات العليا إلى المستويات الدنيا، وقد يكون هذا الطيف مستمراً كالتيف المتولد عن الأجسام الصلبة المتوهجة إلى درجة البياض حيث تظهر فيه مناطق الطيف متصلة ببعضها دون أي فاصل بينها، أو يكون خطياً على شكل خط أو عدة خطوط رفيعة ملونة تختلف حسب موضعها من الطيف بينها مناطق سوداء وذلك كالتيف الناتج عن الغازات والأبخرة الملتهبة.

2 - طيف الإمتصاص: وهو الطيف الناشئ عن إعتراض غاز أو بخار للضوء الأبيض (الطيف المستمر) حيث يمتص الغاز من ألوان الطيف الأطوال الموجية الخاصة بطيفه الخطي ويظهر مكانها خطوط سوداء لذا يسمى هذا النوع بـ "طيف الإمتصاص الخطي".



❖ و "خطوط فراونهوفر" الموجودة في طيف الشمس تمثل أطياف إمتصاص خطية للعناصر الموجودة في جو الشمس، الأمر الذي أثبت وجود عنصري الهيليوم والهيدروجين في الشمس.

❖ ملحوظة هامة: تسمى "الأطياف الخطية" بـ "الأطياف الذرية" لأنه توجد علاقة وثيقة بين الطيف الخطي لعنصر ما وبين التركيب الذري له، فلكل عنصر طيف خطي مميز له ويعتبر صفة من صفات هذا العنصر.

الأشعة السينية

✕ **الأشعة السينية:** هي أشعة كهرومغناطيسية عالية الطاقة، طولها الموجي قصير حيث يقع بين الأطوال الموجية للأشعة فوق البنفسجية وأشعة جاما.

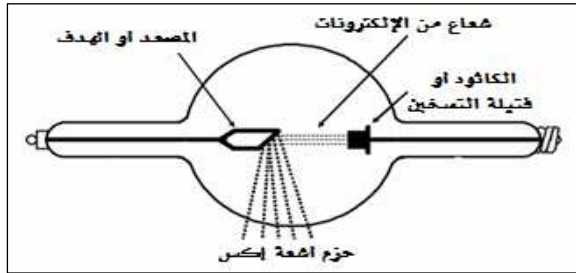
✕ تم إكتشاف هذه الأشعة بواسطة العالم "رونجن" عام 1895 أثناء دراسته لخواص التفريغ الكهربائي للغازات، ونظراً لعدم معرفته بماهية هذه الأشعة الجديدة فقد أطلق عليها اسم "أشعة إكس"، كما تسمى أيضاً بـ "أشعة رونجن".

❖ خواص الأشعة السينية)))

تمتاز هذه الأشعة بأنها:

- 1 - ذات قدرة كبيرة على إختراق المواد.
- 2 - ذات قدرة كبيرة على تأيين الغازات.
- 3 - تحيد في البلورات.
- 4 - تؤثر على الألواح الفوتوغرافية الحساسة.
- 5 - غير مشحونة وتسير في خطوط مستقيمة.

❖ توليد الأشعة السينية بواسطة " أنبوبة كولدج ")))



0 يوضح الشكل التالي الجهاز الذي إستخدمه

العالم "كوليدج" لتوليد الأشعة السينية والذي مازالت فكرته تستخدم حتى الآن.

0 فعند تسخين الفتيلة (الكاثود) تنبعث منها الإلكترونات وتحت تأثير المجال الكهربائي العالي جداً (فرق الجهد بين الأنود والكاثود)

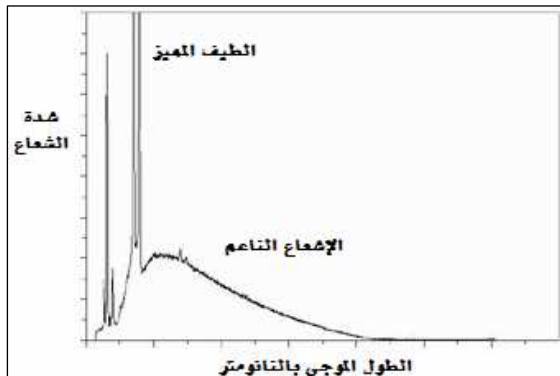
تكتسب هذه الإلكترونات طاقة حركة كبيرة وتنطلق نحو الأنود (الهدف) فتصطدم به ويتحول جزء من طاقتها أو معظمها إلى أشعة إكس.

❖ طيف الأشعة السينية)))

❖ بدراسة طيف الأشعة السينية الصادرة من هدف ما نحصل على طيف يتكون من مركبتين (كما بالشكل):

1 - طيف مستمر: في حدود معينة وهو لا يعتمد على مادة الهدف.

2 - طيف خطي: ويسمى بـ "الطيف المميز للأشعة السينية" حيث يُقابل أطوال موجية معينة تميز العنصر المميز لمادة الهدف.



أولاً: بالنسبة للطيف المستمر:

0 فينشأ الطيف المستمر عن الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من الإلكترونات التي تكتسب عجلة نتيجة تغير سرعتها بالنقصان عند مرورها بالقرب من أنوية ذرات مادة الهدف (وذلك طبقاً للنظرية الكهرومغناطيسية أو نظرية ماكسويل - هرتز للإشعاع) ويسمى هذا النوع من الإشعاع بـ "الإشعاع المستمر" أو "الإشعاع الناعم" أو "إشعاع الضرملة أو الكبح".

0 والفرق بين طاقة الإلكترونات الأصلية وطاقتها بعد مرورها في مادة الهدف يظهر على شكل إشعاع كهرومغناطيسي يحتوي على جميع الأطوال الموجية الممكنة لأن الإلكترونات تفقد طاقتها على شكل دفعات وبدرجات متفاوتة.

ثانياً: بالنسبة للطيف الخطي:

0 فينتج الطيف الخطي عندما يصطدم الإلكترون المعجل (بواسطة المجال الكهربائي بين الأنود والكاثود) في أنبوبة الأشعة السينية بإحدى الذرات الموجودة في مادة الهدف حيث ينتقل جزءاً من طاقته إلى أحد الإلكترونات الداخلية في هذه الذرة.

0 وعليه... إذا كانت الطاقة الممتصة كافية لأن يخرج الإلكترون من الذرة نهائياً أو أن ينتقل من مستوى الطاقة الخاص به إلى مستوى أعلى فإن الذرة تصبح في حالة إثارة عالية وعند رجوعها إلى حالتها الأرضية عن طريق أن يحل إلكترون من أحد المستويات العليا محل الإلكترون الخارج من الذرة أو أن يعود الإلكترون إلى مستواه الأول... وفي كلتا الحالتين يظهر الفرق بين طاقة المستويين على شكل إشعاع كهرومغناطيسي مميز له طول موجي محدد.

❖ ويلاحظ في هذا الطيف الخطي أن:

1 - الطول الموجي للأشعة المميزة لا يتوقف على فرق الجهد المستخدم ولكن يتوقف على نوع العنصر المستخدم كهدف، فكلما زاد العدد الذري له كلما نقص الطول الموجي للإشعاع المميز.

2 - عند فروق الجهد المنخفضة قد لا تظهر الأشعة المميزة.

3 - يمكن حساب الطول الموجي للأشعة السينية من العلاقة:

$$\lambda = hc / \Delta E$$

التطبيقات الهامة للأشعة السينية

❖ يمكن الاستفادة من خصائص الأشعة السينية في عدد من التطبيقات الهامة... فمثلاً:



1 - من أهم خصائص الأشعة السينية قابليتها للحيود عند مرورها في البلورات لذلك تستخدم في "دراسة التركيب البلوري للمواد"، حيث يحدث تداخل بين الموجات التي تنفذ من بين الذرات كما لو كانت فتحات عديدة تماماً مثلما يحدث التداخل في الشق المزدوج، وهو يشبه بذلك ما يسمى بـ "محزوز الحيود" حيث تتكون هدب مضيئة وأخرى مظلمة تبعاً لفرق المسار بين الموجات المتداخلة.

2 - حيث أن الأشعة السينية لها قدرة كبيرة على النفاذ لذا تستخدم في الكشف عن

العيوب التركيبية في المواد المستخدمة في الصناعات المعدنية.

3 - ويترتب على خاصية النفاذ أيضاً أن لها القدرة على تصوير العظام لتحديد الكسور أو الشروخ أو في بعض التشخيصات الطبية الأخرى.

الفصل الرابع عشر

«الليزر»

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الخامسة / الفصل الرابع عشر: " الليزر "

الليزر

❖ مقدمة:

ⓧ معناه:

تُمثل كلمة الـ "ليزر" Laser الحروف الأولى من مجموعة من الكلمات الإنجليزية التي تعني:
"تكبير أو تضخيم شدة الضوء بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع"

أو:

"Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation"

ⓧ أهميته:

قلما ترك إكتشاف علمي من أثر على مجالات وتطبيقات العلم المختلفة مثلما ترك إكتشاف أشعة الليزر، فقد شملت تطبيقاته جميع فروع العلم بلا إستثناء مثل الفيزياء والكيمياء والجيولوجيا والبيولوجيا والبصريات والطب والهندسة وبالأخص الإتصالات.

ⓧ تاريخه:

تمكن الفيزيائي الأمريكي "ميمان" عام 1960 من صناعة أول ليزر بواسطة بلورة من الياقوت المطعم بالكروم، وبعده بأشهر أمكن تصنيع الليزر الغازي مثل ليزر الهيليوم - نيون، ثم توالى بعده تصنيع الأنواع المختلفة من الليزر.

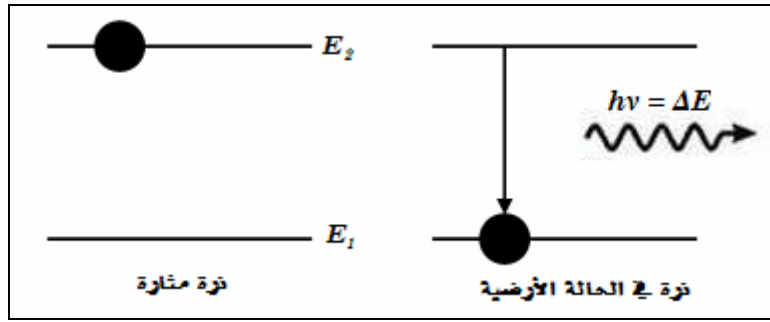
❖ ❖ الانبعاث (أو الإشعاع) التلقائي والانبعاث المستحث ❖ ❖

ⓧ درسنا فيما سبق أن للذرة مستويات طاقة أدناها يسمى بـ "المستوى الأرضي" والذي تكون فيه الذرة في حالتها العادية، أما المستويات التي تليه فتسمى بـ "مستويات الإثارة" للذرة ولذلك عندما تكون الذرة في أي منها فإنها تسمى بـ "الذرة المثارة".

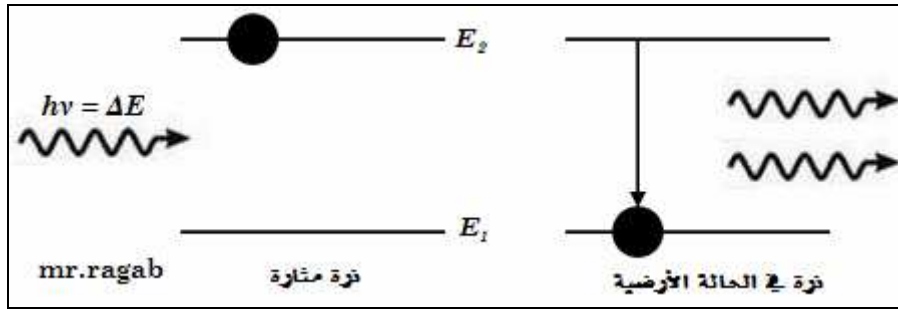
ⓧ وإذا رمزنا لطاقة المستوى الأرضي بالرمز E_1 والمستويات الإثارة بالرموز $E_2, E_3, E_4, \dots$ مثلاً، فإنه عندما تُقذف ذرة في حالتها العادية بفوتوناً طاقته $(E_2 - E_1)$ فإنها تمتصه وتنتقل من المستوى الأرضي إلى مستوى الإثارة الذي طاقته E_2 .

ⓧ ولكن سرعان ما تتخلص الذرة (بعد فترة زمنية قصيرة جداً حوالي 10^{-8} ثانية تسمى بـ "فترة العمر") من طاقة الإثارة هذه بإشعاعها على شكل فوتون آخر لتعود إلى حالتها العادية.

ⓧ يسمى هذا النوع من الإشعاع بـ "الإشعاع التلقائي" وهو النوع السائد في معظم مصادر الضوء العادية، ويكون للفوتون المنبعث نفس تردد الفوتون المسبب للإثارة أما إتجاهه وطوره فهما عشوائيان.



✗ أما عندما يسقط فوتون طاقته $(E_2 - E_1)$ على ذرة مثارة أصلاً (موجودة في مستوى الإثارة الذي طاقته E_2 ولم تنتهي فترة العمر لها) فإن هذا الفوتون يُجبر الذرة إلى أن تفقد طاقة إثارتها على شكل فوتون آخر له نفس تردد واتجاه وطور الفوتون الساقط وتعود إلى حالتها الأرضية. ✗ يسمى هذا النوع من الإشعاع بـ "الإشعاع المستحث" وهو السائد في مصادر الليزر.



♦ ملحوظة: انطلاق الفوتونات من ذرات المادة بهذه الطريقة تجعلها (أي الفوتونات):

- ✗ تتجمع في حزم متوازية وبصورة مترابطة لمسافات طويلة جداً.
- ✗ ذات تركيز عالي أو شدة عالية على طول مسار الحركة.
- ✗ لا تعاني من التشتت أو الانكسار الذي تُعانيه حزم الفوتونات المنبعثة عن طريق الإشعاع التلقائي.

♦ مقارنة بين الانبعاث التلقائي والانبعاث المستحث:

الانبعاث المستحث	الانبعاث التلقائي	
يحدث عندما يسقط الفوتون على ذرة مثارة أصلاً (أي قبل انتهاء فترة بقائها في الحالة المثارة)، حيث يُجبر هذا الفوتون الذرة على العودة إلى حالتها الأرضية عن طريق إطلاق الفرق بين طاقة المستويين (الإثارة والأرضي) على شكل فوتونات لها نفس تردد الفوتون الساقط.	يحدث عندما يسقط فوتوناً ما على ذرة في حالتها الأرضية، حيث يمتص الإلكترون طاقة هذا الفوتون وينتقل إلى مستوى أعلى (أي تُثار الذرة). وعندما تعود الذرة إلى حالتها العادية بعد انتهاء فترة بقائها في الحالة المثارة فإنها "تلقائياً وبدون أي مؤثر خارجي" تشع الفرق بين طاقتي المستويين على شكل فوتونات لها نفس تردد الفوتون الساقط.	المنشأ
فوتونان.	فوتون واحد.	عدد الفوتونات المنبعثة
1. لها طول موجي موحد. 2. لها نفس الطور والاتجاه، كما تتحرك على شكل أشعة متوازية تماماً.	1. تغطي مدي واسع من الأطوال الموجية للطيف الكهرومغناطيسي. 2. تتحرك بصورة عشوائية تماماً (الاتجاه)	خواص الفوتونات المنبعثة

3. لا تخضع لقانون التربيع العكسي حيث تظل شدة الإشعاع ثابتة لمسافات طويلة أثناء إنتشارها.	3. تخضع لقانون "التربيع العكسي" حيث يقل التركيز أثناء الإنتشار بحيث تتناسب شدة الإشعاع عكسياً مع مربع المسافة المقطوعة.	والطور غير محددين).
يعتبر النوع السائد في مصادر الليزر المختلفة.	يعتبر النوع السائد في مصادر الضوء العادية.	الوجود

❖ ❖ خصائص أشعة الليزر ❖ ❖

❖ تمتاز أشعة الليزر عن الضوء العادي بعدد من الخصائص هي:

1. النقاء الطيفي:

فشعاع الليزر عبارة عن حزمة ضوئية غاية في النقاء من ناحية الطول الموجي حيث تنتج خطأ طيفياً واحداً فقط له مدى ضئيل جداً من الأطوال الموجية تتركز شدته عند هذا المدى المعين وبالتالي يمكن اعتبار أشعة الليزر "أحادية الطول الموجي" تقريباً.

- في حين يحتوي كل خط من خطوط الطيف العادية على مدى كبير من الأطوال الموجية تتفاوت في شدتها من طول موجي لآخر.

2. التركيز أو التوازي:

فأشعة الليزر عبارة عن حزمة رفيعة جداً تسير في خطوط مستقيمة أقرب ما تكون إلى التوازي، حيث نجد أن قطر هذه الحزمة يظل ثابتاً أثناء الإنتشار لمسافات طويلة وبالتالي يمكن نقل الطاقة الضوئية عبر هذه المسافات دون فقد يذكر.

- في حين نجد أن قطر حزمة الضوء الصادرة من المصادر العادية يزداد أثناء إنتشارها نتيجةً للشتت.

3. الترابط:

فتنتلق الفوتونات المكونة لأشعة الليزر بصورة مترابطة زمائياً ومكانياً، كما تكون متفقة في الطور مما يجعلها أكثر تركيزاً.

- أما فوتونات الضوء العادي فتنتلق بصورة عشوائية غير مترابطة وفي أزمنة مختلفة.

4. الشدة:

فأشعة الليزر الساقطة على سطح ما لا تخضع لقانون التربيع العكسي للمسافات وبالتالي تحتفظ بشدة ثابتة لوحدة المساحات من هذا السطح.

- أما الأشعة الضوئية العادية فتخضع لهذا القانون، بمعنى أنه إذا زادت المسافة بين مصدر الضوء والسطح إلى ضعف قلت كمية الضوء الساقطة على وحدة المساحات منه إلى الربع، وذلك بسبب عدم ترابط موجاته.

❖ العناصر الأساسية لليزر ❖

❖ تتكون أجهزة توليد الليزر على إختلاف أنواعها وأشكالها وطاقتها من ثلاثة عناصر أساسية هي:
(1) الوسط الفعال:

وهو المادة الفعالة لإنتاج الليزر، وهو إما أن يكون:

- 0 بلورات صلبة: مثل الياقوت الصناعي.
- 0 بلورات صلبة شبه موصلة: مثل بلورات السيليكون.
- 0 صبغات سائلة: مثل الصبغات العضوية المذابة في الماء.
- 0 غازات: وهذه إما أن تكون ذرات مثل الهيليوم أو النيون وإما أن تكون جزيئات ثاني أوكسيد الكربون.

0 غازات متأينة: مثل الأرجون المتأين.

(2) مصدر الطاقة:

وهو المسئول عن إكساب مادة الوسط الفعال الطاقة اللازمة لإثارتها، وطاقة الإثارة هذه إما أن تكون في صورة:

0 طاقة كهربية:

ويتم ذلك إما باستخدام مصادر للترددات الراديوية أو باستخدام التفريغ الكهربى بواسطة فرق جهد مستمر عالى، والنوع الثانى (التفريغ الكهربى) غالباً ما يستخدم في أجهزة الليزر الغازية مثل ليزر ثاني أوكسيد الكربون وليزر الهيليوم - نيون وليزر الأرجون.

0 طاقة ضوئية:

وتُعرف هذه الطريقة بـ "الضخ الضوئي" ويمكن أن تتم بوسيلتين مختلفتين هما:

1. المصابيح الوهاجة ذات القدرة العالية: كما في ليزر الياقوت.

2. أشعة الليزر أيضاً: كما في ليزر الصبغات السائلة.

0 طاقة حرارية:

بإستخدام التأثير الحراري الناتج عن الضغط الحركي للغازات في إثارة المواد الفعالة.

0 طاقة كيميائية:

بإستخدام الطاقة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية بين المواد الفعالة مثل التفاعلات التي تتم بين مزيج من الهيدروجين والفلور أو التفاعلات التي تتم بين خليط من فلوريد الديوتيريوم وثاني أوكسيد الكربون.

(3) التجويف الرنيني:

وهو الوعاء الحاوي والمنشط لعملية التكبير، وهو إما أن يكون:

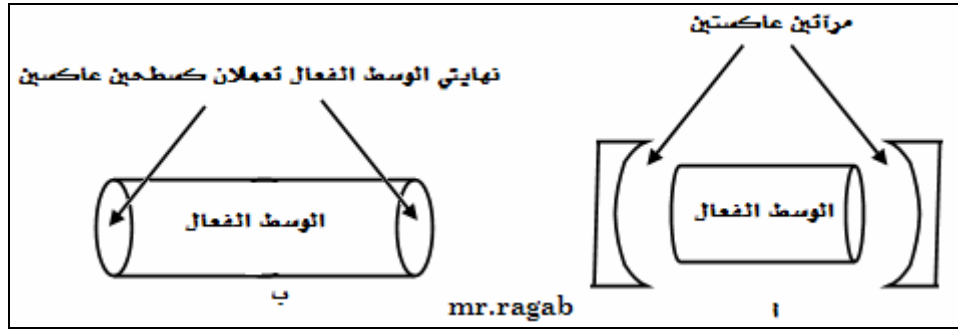
1. تجويف رنيني خارجي: ويكون على شكل مرآتين متوازيتين يحصران بينهما المادة الفعالة بحيث

تكون الإنعكاسات المتعددة بينهما الأساس في عملية التكبير الضوئي، كما في الليزر الغازية.

2. تجويف رنيني داخلي: حيث يتم طلاء نهايتي المادة الفعالة لتعملان كمرآتين يحصران بينهما المادة

الفعالة بحيث تكون إحدى هاتين المرآتين "شبه منفذة" حتى تسمح لبعض أشعة الليزر المتولدة

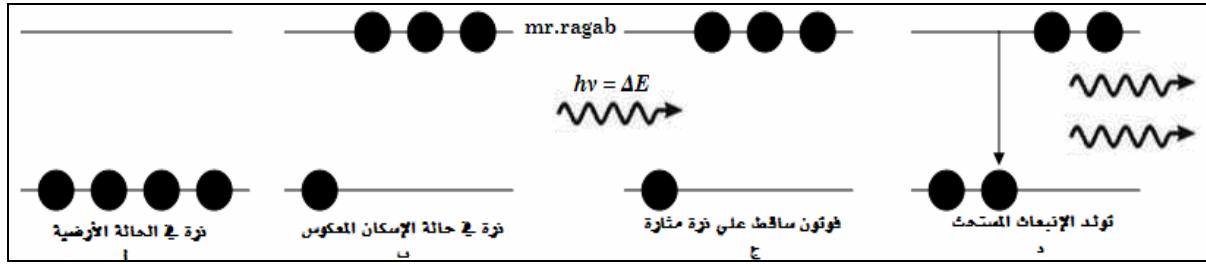
بالممرور، كما في الليزرات الصلبة بصفة عامة مثل ليزر الياقوت.



❖ ❖ نظرية عمل الليزر ❖ ❖

❖ يعتمد "الفعل الليزري" على الوصول بذرات أو جزيئات الوسط الفعال إلى حالة "الإسكان المعكوس" وهي الحالة التي يكون فيها عدد الذرات الموجودة في مستويات الإثارة العليا أكبر من عددها في المستويات الدنيا".

❖ وبالتالي تتهاى الفرصة لفوتونات الانبعاث المستحث أن يتضخم عددها عند مرورها ذهاباً وإياباً خلال الوسط الفعال نتيجةً للانعكاسات المتتالية بين سطحي المرآتين، حيث يتم حث الذرات الواقعة على مسار الشعاع لتنتج فوتونات جديدة وهكذا يتضخم الشعاع بواسطة "الانبعاث المستحث".



<< ليزر الهيليوم / نيون >>

❖ تم إختيار هذين العنصرين نظراً لتقارب قيم مستويات الإثارة شبه مستقرة (حيث تبقى الذرة في مستويات الإثارة فترة عمر طويلة نسبياً) في كل منهما.

❖ تركيب الجهاز:

1. أنبوبة من الكوارتز تحتوي على خليط من غازي الهيليوم والنيون بنسبة 10 : 1 تحت ضغط جوي منخفض حوالي 0.6 ميلي متر زئبق.
2. يوجد عند نهايتي الأنبوبة مرآتان مستويتان ومتوازيتان ومتعامدتين على محور الأنبوبة معامل انعكاس أحدهما 99.5% والأخرى شبه منفذة ومعامل انعكاسها 98%.
3. مصدر كهربائي إما أن يكون مجال كهربائي عالي التردد يعمل على إثارة ذرات الهيليوم والنيون، أو أن يكون فرق جهد كهربائي مستمر يعمل على إحداث تفريغ كهربائي للغازات داخل الأنبوبة.

❖ عمل الجهاز:

1. يؤدي فرق الجهد المسلط على الأنبوبة إلى إثارة ذرات الهيليوم إلى مستويات الطاقة العليا لها.
2. تصطدم ذرات الهيليوم المثارة بذرات النيون الغير مثارة تصادماً غير مرن فتنتقل الطاقة من ذرات الهيليوم المثارة إلى ذرات النيون الغير مثارة (نتيجة لتقارب قيم مستويات الطاقة المثارة في كل

منهما) مما يؤدي إلى إثارة ذرات النيون (إلى مستويات الإثارة العليا مناظرة لتلك الموجودة في ذرات الهيليوم المثارة).

3. وحيث أن مستويات الإثارة في ذرات النيون تتميز بفترة عمر طويلة نسبياً (حوالي 10^{-3} ثانية) لذا تسمى بـ "مستويات الإثارة شبه المستقرة"، وبناءً عليه تتراكم ذرات النيون المثارة ويزداد عددها عن الذرات الموجودة في المستويات الأرضية، وبالتالي يتحقق في ذرات النيون شرط "الإسكان المعكوس".

4. تهبط أول مجموعة من ذرات النيون تم إثارتها هبوطاً تلقائياً إلى مستويات إثارة أقل مُطلَقة فوتونات طاقتها تعادل الفرق بين طاقة المستويين وتنتشر هذه الفوتونات عشوائياً في جميع الاتجاهات داخل الأنبوبة.

5. مجموعة الفوتونات التي تتحرك في اتجاه محور الأنبوبة تصادف في طريقها لإحدى المرأتين العاكستين فترتد مرة أخرى داخل الأنبوبة ولا تستطيع الخروج.

6. أثناء حركة الفوتونات بين المرأتين داخل الأنبوبة تصطدم ببعض ذرات النيون الموجودة في مستوى الإثارة شبه المستقر والتي لم تنته فترة العمر لها فتحثها على إطلاق فوتونات لها نفس طاقة واتجاه الفوتونات المصطدمة بها فيتضاعف بذلك عدد الفوتونات المتحركة داخل الأنبوبة بين المرأتين.

7. تتكرر هذه الخطوة عدة مرات وفي كل مرة يتضاعف عدد الفوتونات المتحركة بين المرأتين، وهكذا يتم تضخيم الإشعاع.

8. عندما تبلغ شدة الفوتونات داخل الأنبوبة حداً معيناً، ينفذ جزءاً منها من خلال المرآة شبه المنفذة وهو ما يسمى بـ "شعاع الليزر"، في حين تبقى باقي الفوتونات داخل الأنبوبة لتستمر عملية الإشعاع المستحث والإنتاج الليزر.

9. وبالنسبة لذرات النيون التي هبطت إلى مستويات الإثارة الأقل فإنها تفقد بعد فترة وجيزة ما بقي بها من طاقة في صور مختلفة منها الطاقة الحرارية لتهبط إلى المستوى الأرضي فتصطدم بها ذرات الهيليوم المثارة فتتمدها بالطاقة اللازمة لتنتقل إلى مستوى الإثارة شبه المستقر مرة أخرى... وهكذا دورياً.

10. بالنسبة لذرات الهيليوم التي فقدت طاقتها بالتصادم مع ذرات النيون وعادت إلى المستوى الأرضي، فإنها تثار مرة أخرى بواسطة التفريغ الكهربائي داخل الأنبوبة... وهكذا دورياً.

♦ ♦ تطبيقات على الليزر ♦ ♦

♦ يغطي ضوء الليزر مناطق عديدة من الطيف الكهرومغناطيسي بدءاً من المنطقة تحت الحمراء بالمنطقة المرئية حتى المنطقة فوق البنفسجية.

♦ يوجد حالياً أنواع مختلفة من الليزرز فمنها:

(1) ما يُركز الضوء في منطقة صغيرة جداً بالدرجة التي تكفي لإسالة الحديد أو ما يكفي لثقب الماس.

(2) ومنها ما يطلق طاقة كافية لتدمير الصواريخ والطائرات.

♦ ♦ ♦ وفيما يلي بعض التطبيقات الشائعة لإشعة الليزر:

1. التصوير المجسم أو الهولوجرافية:

- ◇ يعتبر التصوير الهولوجرافية أو كما يسمى بالتصوير في الفراغ أو التصوير ثلاثي الأبعاد من التطبيقات المثيرة لأشعة الليزر، ففيه يتم تسجيل الطور بالإضافة إلى السعة لتكون الصورة الناتجة ثلاثية الأبعاد، في حين تكون الصورة الناتجة من التصوير المعتاد مستوية أو ذات بعدين فقط حيث يتم فيها تسجيل السعة للأشعة الضوئية فقط.
- ◇ فمن المعروف أن صورة جسم ما تتكون عن طريق تجمع الأشعة الضوئية التي تنعكس عن هذا الجسم حاملةً معها معلومات عنه إلى حيث تتكون هذه الصورة (شبكة العين أو لوح فوتوغرافي حساس)، فتظهر هذه الصورة نتيجة الاختلاف في الشدة الضوئية للأشعة المنعكسة من نقطة إلى أخرى.

ولكن هل الشدة الضوئية هي كل ما تحمله هذه الأشعة من معلومات عن الجسم ؟

- ◇ لبيان ذلك نفترض شعاعين تركا الجسم عند نقطتين عليه فسيكون هناك اختلاف في السعة يظهر كاختلاف في الشدة الضوئية (لأن الشدة الضوئية تتناسب مع مربع السعة) كما سيكون هناك اختلاف في طول المسار الذي يقطعه كل شعاع من كل من النقطتين إلى مكان تكون الصورة وذلك بسبب وجود تضاريس على سطح الجسم.

- ◇ أي أن الأشعة المنعكسة عن (أو التي تترك) سطح جسم ما تحمل "بالإضافة إلى الاختلاف فيما بينها في الشدة الضوئية" اختلافًا في طول المسار الضوئي وبمعنى آخر اختلافًا في الطور يساوي (فرق المسار $\times \lambda / 2\pi$).

- ◇ وبالتالي فإن ما نحصل عليه من التصوير العادي من صور مستوية "ثنائية الأبعاد" يكون نتيجة فقد جزء من المعلومات التي تحملها موجات الضوء لأن اللوح الفوتوغرافي يقوم بتسجيل الاختلاف في الشدة الضوئية فقط.

- ◇ وفي عام 1948 اقترح الفيزيائي المجري "جابر" إمكانية الحصول على المعلومات المفقودة من الأشعة الضوئية المنعكسة عن الجسم باستخدام "حزمة أخرى من الأشعة المتوازية لها نفس الطول الموجي" تسمى بـ "الأشعة المرجعية".

- ◇ تلتقي هذه الأشعة بالأشعة المنعكسة عن الجسم، والحاملة لمعلوماته، على اللوح الفوتوغرافي فيحدث التداخل الضوئي بين حزمتي الأشعة.

- ◇ وبعد تحميض اللوح الفوتوغرافي تظهر هدب التداخل الناتجة وهي تمثل صورة مشفرة لما يسمى بـ "الهولوجرام" وبإضاءة الهولوجرام بأشعة ليزر لها نفس الطول الموجي والنظر خلاله دون أي عدسات نرى صورة ثلاثية الأبعاد للجسم.

- ◇ ولا يمكن تحقيق ذلك إلا باستخدام شعاع ضوئي فوتوناته مترابطة وهذا متوفر فقط في أشعة الليزر.

- ◇ ويمتاز هذا النوع من التصوير أيضاً بأنه يمكن تخزين عشرات الصور على الهولوجرام الواحد، كما يمكن الحصول على صور مجسمة للأجسام المتحركة.

2. في الطب:

- فمن المعروف أن الشبكية تحتوي على خلايا حساسة للضوء ، وعندما تصاب العين بانفصال بعض أجزاء الشبكية فإن هذه الأجزاء تفقد وظيفتها ، ومالم يتم علاجها بسرعة قد تتعرض العين إلى انفصال كامل للشبكية وتفقد قدرتها على الإبصار .
- وإذا تم تدارك هذا الأمر في بدايته فإن علاجها يكون عن طريق إجراء عملية تلحم فيها الأجزاء المنفصلة بالطبقة التي تحتها .
- وقد كانت هذه العملية قديماً تستغرق وقتاً وجهداً كبيرين، إلا أن أشعة الليزر التي تستخدم الآن لهذا الغرض وفرت كلاً من الجهد والوقت، فعملية الالتحام تتم في أجزاء صغيرة من الثانية حيث تصوب حزمة رفيعة جداً من الليزر خلال إنسان العين إلى الجزء المصاب بالانفصال أو التمزق فتعمل الطاقة الحرارية لأشعة الليزر على حدوث عملية الالتحام.
- وبذلك تتم حماية العين من استمرار انفصال الشبكية من ناحية، وحمايتها من التعرض لفقد الإبصار من ناحية أخرى.
- كما يستخدم الليزر في علاج حالات قصر وطول النظر وبذلك يستغني المريض عن النظارة، وأيضاً يمكن استخدام أشعة الليزر مع الإلصاق الضوئية في التشخيص والعلاج بواسطة "المنظار".

3. في الاتصالات:

حيث تستخدم أشعة الليزر والإلصاق الضوئية كبديل للكابلات الأرضية العادية.

4. في الصناعة وخاصة الصناعات الدقيقة.

5. في المجالات العسكرية:

فتستخدم أشعة الليزر في توجيه الصواريخ والقنابل الذكية بدقة عالية وأيضاً في رادار الليزر أو "الادار".

♦ ملحوظة هامة جداً:

كل ما قيل عن استخدام الليزر في الأغراض العسكرية من ناحية تدمير الصواريخ والطائرات أو القنابل الذكية لا يعني أن أشعة الليزر هي التي تقوم بتدمير الهدف بطاقتها الذاتية وإنما يتم تركيز أشعة الليزر وطاقتها على أجزاء حساسة في الهدف المقصود مما يؤدي إلى تعطيل فاعليته.

♦ فمثلاً:

® يتم تركيز الأشعة على خزان الوقود فترتفع درجة حرارته بشكل يكفي لإشعال الوقود فينفجر الصاروخ.

® أو يتم تركيز الأشعة على أجزاء من الغلاف الخارجي له فتحترق ويتشوه شكلها فيفقد الصاروخ بذلك إنسيابه الديناميكي في الهواء ويختل توازنه ويخرج عن مساره المرسوم.

® كما أنه من الممكن أن تركز أشعة الليزر على الأجهزة الإلكترونية الحساسة الموجهة للصاروخ فتسخن درجة حرارتها وتفقد فاعليتها ويتعطل توجيهها للصاروخ.

® أما في الطائرات المقاتلة فيكون هدف أشعة الليزر هي الطيار نفسه لسرعة تأثيره بتركيز الأشعة عليه.

® وبالنسبة للقنابل "الغبية" فتكمن الطاقة التدميرية في القنبلة ذاتها أما أشعة الليزر فتعطىها الدقة في التصويب.

6. في التسجيل على الأقراص المدمجة أو "أقراص الليزر".

7. في طابعات الليزر:

حيث تستخدم أشعة الليزر في نقل البيانات من الكمبيوتر إلى إسطوانة تسمى بـ "الدرم" عليها مادة حساسة للضوء ثم يقوم الحبر بالطباعة على الورق.

8. في الفنون والعروض الضوئية.

9. في تحديد المساحات والأبعاد بدقة.

10. في أبحاث الفضاء.

المجلد الخامس عشر

«الإلكترونيات الحديثة»

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الخامسة / الفصل الخامس عشر: "الإلكترونيات الحديثة"

الإلكترونيات الحديثة

❖ مقدمة:

✕ أصبحت الإلكترونيات والاتصالات السمة المميزة لعصرنا الحاضر فهي جزء لا يتجزأ من حياتنا، فالتليفزيون والتليفون المحمول والكمبيوتر والأقمار الصناعية وغيرها من النظم تعد شاهداً على التقدم الهائل في استخدام الإلكترونيات والاتصالات سواء في نقل المعلومات أو الثقافة أو حتى الترفيه، بل أنها أصبحت أيضاً عنصراً أساسياً في الحرب الحديثة، كذلك في مجال الطب سواء في التشخيص أو المتابعة أو العمليات الجراحية فالإلكترونيات لها دور أساسي.

✕ باختصار... لا يوجد مجال واحد من مجالات الحياة إلا وتلعب فيه الإلكترونيات دوراً حيوياً بدءاً من الألعاب الإلكترونية حتى الحرب الإلكترونية.

أصل علم الإلكترونيات

❖ يُبنى علم الإلكترونيات على سلوك الإلكترون، من المعروف أن هناك حالتان للإلكترون هما الإلكترون الحر والإلكترون المقيد.

⊕ فالإلكترون الحر "كالموجود في أنبوبة التليفزيون" يخضع لقوانين الفيزياء الكلاسيكية، أما الإلكترون المقيد فهو يخضع لقوانين الفيزياء الكمية.

⊕ والتقيد قد يكون داخل ذرة أو جزئ أو في جسم المادة التي قد تكون في الحالة الصلبة أو السائلة أو الغازية أو حتى في صورة بلازما (وهي الحالة الرابعة للمادة تكون فيها الأيونات الموجبة والسالبة معاً دون ارتباط).

⊕ وحيث أن المادة (أي مادة) تتكون من جزيئات فإن ما يميز هذه الحالات عن بعضها البعض هو المسافات بين الجزيئات، ففي الحالة الصلبة تكون هذه المسافات صغيرة وفي الحالة الغازية تكون كبيرة نسبياً أما في الحالة السائلة فتكون وسطاً بين الحالتين الصلبة والغازية.

⊕ وبالنسبة للحالة الصلبة (الجامدة) فإن ذرات أو جزيئات المادة تتقارب من بعضها حتى تصل إلى مسافة معينة (المسافات البينية) تكون عندها قوى التجاذب بين هذه الذرات أو الجزيئات مساوية لقوى التنافر فيما بينها، وعليه... فإن الذرة أو الجزيء في هذا الوضع تكون متزنة، وعندما تمتص الذرات كمية من الطاقة الحرارية فإنها تبدأ بالتذبذب حول مواضع إتزانها ولكن يفصل بينها فراغ (عبارة عن المسافات البينية بين كل ذرة وأخرى)، وهذه المسافات البينية أو الفراغات لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة لأنها أصغر بكثير من الطول الموجي لفوتونات الضوء المرئي الذي تحس به العين.

الإلكترون داخل الذرة "هذا الجزء يُعتبر مراجعة سريعة للفصول الثلاث السابقة"

❖ كما بينا سابقاً... فإن الإلكترون داخل الذرة يعتبر إلكترونًا مقيداً فهو لا يستطيع أن يغادرها من تلقاء نفسه بل يحتاج إلى طاقة خارجية لتحرره، وهذه الطاقة تسمى بـ "طاقة التآين" (وهي كمية الطاقة اللازمة لخروج الإلكترون نهائياً من الذرة) أي أن سبب بقاء الإلكترون داخل الذرة هو أن طاقته داخل الذرة أقل من طاقته وهو حر... ويسمى الفرق بين طاقة التآين وطاقة وضع الإلكترون داخل الذرة بـ "طاقة الربط".

⊕ كما أن هذا الإلكترون يمتلك قيم منفصل للطاقة أو طاقة متقطعة القيمة تبعاً لنموذج بور، حيث يشغل واحداً فقط من مستويات الطاقة المسموح بها ولا يمكنه أن يحصل على قيمة للطاقة تقع بين هذه المستويات.

⊕ وحيث أن الإلكترون داخل الذرة تحكمه قوانين الكم فإن احتمالية سقوط الإلكترون على النواة تساوي صفراً وكذلك وجوده عند المالا نهائية... مما يفسر بقاء الإلكترون مقيداً داخل الذرة وبالتالي سر استقرار الذرة.

⊕ ولما كان الإلكترون يشغل مستوى معيناً من الطاقة... فإنه لا يفقد الطاقة أو يمتصها طالما بقي في هذا المستوى.

⊕ أما عندما يمتص الإلكترون كمية معينة من الطاقة فإنه ينتقل إلى مستوى أعلى (وتسمى بعملية "الإثارة")، وإذا عاد إلى المستوى الأول فإنه يفقد الطاقة التي اكتسبها في صورة فوتون (وتسمى بعملية "الإسترخاء").

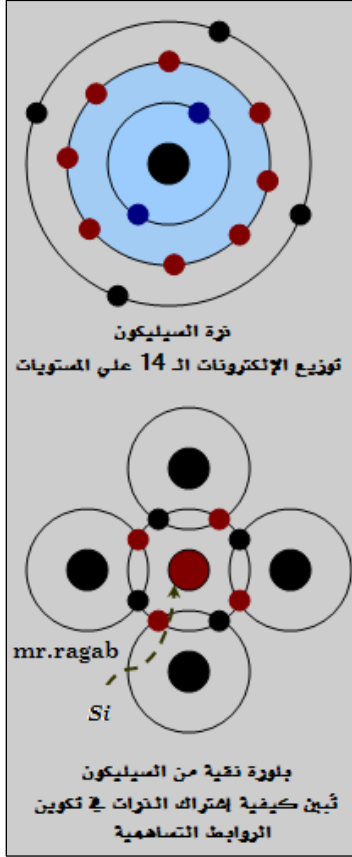
⊕ وبالنظر إلى توزيع الإلكترونات على مستويات الطاقة نجد أنه كلما زادت قيمة مستوى الطاقة فإن احتمالية وجود الإلكترون فيه تقل.

أشياء الموصلات

- ❖ يمكن تقسيم المواد الصلبة أو الجوامد من قدرتها على التوصيل الكهربائي والحراري إلى ثلاثة أنواع:
1. الموصلات: وهي مواد جيدة التوصيل للكهرباء والحرارة وذلك لوفرة الإلكترونات الحرة بها، مثل: الفضة والنحاس.
 2. العوازل: وهي مواد رديئة التوصيل للكهرباء والحرارة وذلك لندرة الإلكترونات الحرة بها، مثل: الزجاج.
 3. أشباه الموصلات: وهو مواد توجد بين الموصلات والعوازل تكون إلكتروناتها الحرة أقل ارتباطاً من العوازل وأكثر ارتباطاً من الموصلات، أي أنها ليست جيدة التوصيل كما أنها ليست رديئة التوصيل في درجات الحرارة العادية، أمثال: الجرمانيوم والسيليكون.
- ❖ وأشياء الموصلات منها ما هو شبه موصل نقي ومنها ما هو شبه موصل غير نقي.

أشياء الموصلات النقية "بلورة السيليكون"

❖ يعتبر السيليكون من العناصر المهمة في الكون فهو يدخل في تركيب الرمل وصخور القشرة الأرضية.



❖ تتتركب ذرة السيليكون من نواة موجبة يدور حولها 14 إلكترونًا في ثلاث مدارات في الترتيب التالي "الأول 2 إلكترون والثاني 8 إلكترونات و المدار الثالث والأخير فيحتوي على 4 إلكترونات" (الشكل المقابل).

❖ أما في بلورة (و "البلورة" هي "الترتيب الهندسي المنتظم لذرات المواد الصلبة") السيليكون النقي... فترتبط كل ذرة من ذرات السيليكون مع 4 ذرات مجاورة بروابط تساهمية أو تشاركية وبذلك تصبح كل ذرة محاطة بـ 8 إلكترونات أي تكتمل القشرة أو المستوى الخارجي لكل منها. هذا... ولا بد أن نميز بين نوعين من الإلكترونات في ذرة السيليكون:

⊕ النوع الأول: هو إلكترونات المستويات الداخلية، وهذه ترتبط بالنواة بشدة تحت تأثير جذب النواة لها.

⊕ أما النوع الثاني: فهو إلكترونات المستوى الخارجي أو إلكترونات التكافؤ وهذه لها حرية أكبر في الحركة بين المسافات البينية.

❖ وعند درجات الحرارة المنخفضة... تكون جميع الروابط بين الذرات في البلورة سليمة حيث تكون الإلكترونات شديدة الارتباط بذرات السيليكون ويصعب تحررها، فلا توجد إلكترونات حرة في هذه الحالة، وبالتالي تكون البلورة رديئة التوصيل الكهربائي.. بل أنها تكون عازلة تماماً عند الصفر المطلق.

❖ أما عند رفع درجة حرارة البلورة... تصبح الطاقة الحرارية كافية لكسر الروابط بين الذرات فتنتقل بعض الإلكترونات وتصبح "إلكترونات حرة"، ويترك مثل هذا الإلكترون ورائه مكاناً فارغاً في الرابطة المكسورة يُعبر عنه بـ "الفجوة" التي كان الإلكترون يشغلها.

☑ ولأن الذرة متعادلة كهربياً فإن غياب إلكترون عن الذرة يعني ظهور شحنة موجبة... وبالتالي فإن الفجوة تمثل شحنة موجبة.

☑ ويلاحظ أن الذرة التي كسرت أحد روابطها لا تسمى "أيوناً" لأن الفجوة سرعان ما تقتنص إلكترونًا آخر إما من رابطة مجاورة أو من الإلكترونات الحرة المنتشرة داخل البلورة فتعود الذرة كما كانت وتنتقل الفجوة إلى رابطة أخرى... وهكذا.

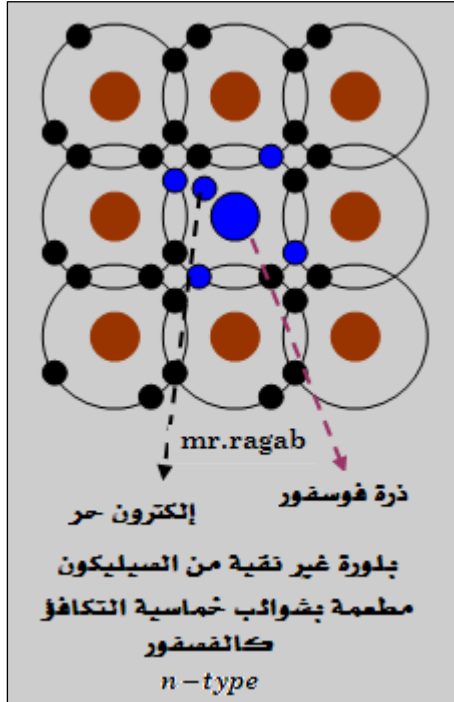
☑ وكلما زادت درجة الحرارة أكثر كلما زاد عدد الإلكترونات الحرة وعليه يزداد عدد الفجوات... مع ملاحظة أن عدد الإلكترونات الحرة = عدد الفجوات في حالة بلورة السيليكون النقية.

☑ وتظل هذه الزيادة مستمرة حتى تصل البلورة إلى حالة من الإتزان التي تسمى بـ "الإتزان الحراري أو الديناميكي" والتي عندها يكون عدد الروابط المكسورة في الثانية مساوياً لعدد الروابط التي يتم تكوينها في الثانية وبالتالي يبقى في النهاية عدد ثابت من الإلكترونات الحرة والفجوات لكل درجة حرارة.

☑ وكما يتحرك الإلكترون حركة عشوائية فإن الفجوات تتحرك أيضاً حركة عشوائية وبالتالي نستنتج أن أشباه الموصلات حساسة جداً للحرارة وبمعنى آخر: أن التوصيل الكهربائي لأشباه الموصلات يزداد بزيادة درجة الحرارة.

إضافة الشوائب أو التطعيم

♦ من مميزات أشباه الموصلات أنها حساسة جداً بالنسبة للشوائب (والشوائب تعني ذرات تختلف في التكافؤ عن ذرات البلورة النقية).



® فحيث أن السيليكون يقع في المجموعة الرابعة بالجدول الدوري "أي أنه رباعي التكافؤ"، فإنه عند إدخال ذرات أخرى (شوائب) من عناصر المجموعة الخامسة مثل الفوسفور P أو الأنثيمون Sb (خماسية التكافؤ أي تحتوي على 5 إلكترونات في مستوى الطاقة الأخير) إلى بلورة نقية من السيليكون فإنها تحل محل بعض ذرات السيليكون وبالتالي تشارك كل ذرة من ذرات الفوسفور (مثلاً) الخماسية بـ 4 إلكترونات "من أصل خمس إلكترونات" مع 4 إلكترونات من 4 ذرات سيليكون مجاورة لتكوين 4 روابط تساهمية (الشكل المقابل).

® وعليه يصبح الإلكترون الخامس في ذرة الفوسفور ضعيف الارتباط بها وبالتالي فإن أقل كمية من الطاقة تمكن أن تحرره من الذرة نهائياً (وتتحول إلى أيون موجب) ويصبح إلكترون حر يسهل إنتقاله داخل البلورة من مكان لآخر.

® ينضم هذا الإلكترون الحر إلى رصيد البلورة ككل من الإلكترونات الحرة، أي أنه قد أصبح للبلورة مصدر آخر للإلكترونات الحرة هو الشوائب... إذاً بإضافة شوائب إلى بلورة السيليكون النقية تزداد التوصيلية الكهربائية للبلورة نتيجة زيادة الإلكترونات الحرة بها.

® تسمى الذرة الشائبة وفي حالتنا هذه "ذرة الفسفور" بـ "الذرة المعطية" لأنها مصدر الإلكترونات الحرة كما أنها إكتسبت بخروج الإلكترون شحنة موجبة (صارت أيون موجب).

® وبالتالي فإن بلورة السيليكون المضاف إليها شوائب خماسية التكافؤ مثل ذرات الفسفور تسمى بـ "بلورة من النوع السالب" ويرمز لها بالرمز n - type لأن تركيز الإلكترونات الحرة فيها يكون أكبر من تركيز الفجوات أو الشحنات الموجبة بالإضافة إلى أن التوصيل الكهربائي يتم عن طريق حركة هذه الإلكترونات الزائدة والتي تسمى بـ "حاملات الشحنة السائدة".

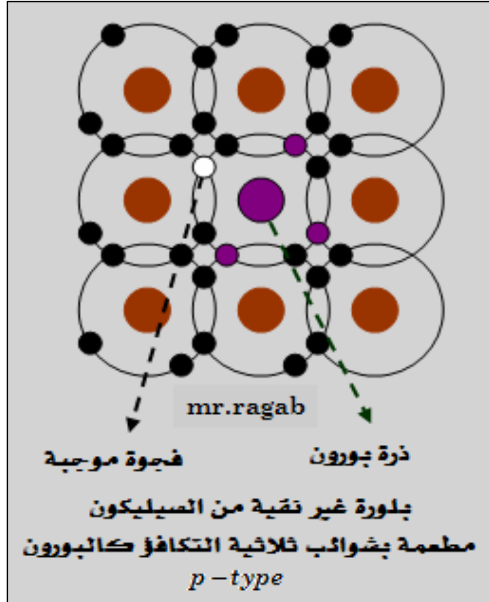
® وعند الإتزان الحراري تكون البلورة متعادلة كهربياً حيث يكون مجموع الشحنة الموجبة = مجموع الشحنة السالبة أي أن:

$$n = p + N_{Donors}$$

حيث N_{Donors} هو تركيز الشوائب أو الذرات المعطية أو الأيونات الموجبة و p هو تركيز الفجوات و n تركيز الإلكترونات الحرة.

❖ ويحدث عكس ما سبق عند إضافة شوائب ثلاثية التكافؤ... بمعنى...!!!

® أنه عند إدخال ذرات (شوائب) من عناصر المجموعة الثالثة مثل الألومنيوم Al أو البورون B



(ثلاثية التكافؤ أي تحتوي على 3 إلكترونات في مستوى الطاقة الأخير) إلى بلورة نقية من السيليكون فإنها تحل محل بعض ذرات السيليكون وبالتالي فإن كل ذرة من ذرات الألومنيوم (مثلاً) الثلاثية تشترك بالـ 3 إلكترونات مع 3 ذرات سيليكون مجاورة لها في حين يظهر مكان الإلكترون الناقص "ثقب" أو "فجوة" (الشكل المقابل).

® ولكي تحافظ البلورة على تماسكها، تقتنص ذرة الألومنيوم أحد الإلكترونات من إحدى الروابط المجاورة ليملاً هذه الفجوة ويترك في مكانه الأصلي "فجوة موجبة" وبالتالي تصبح ذرة الألومنيوم "أيوناً سالباً" لأنها إكتسبت إلكترونًا.

® وبالمثل تعمل كل فجوة موجبة على إقتناص إلكترونات سالبة... وعليه تتحرك الفجوات الموجبة داخل البلورة في عكس اتجاه الإلكترونات.

® تسمى الذرة الشائبة وفي حالتنا هذه "ذرة الألومنيوم" بـ "الذرة المستقبلية" لأنها مصدر الفجوات الموجبة كما أنها إكتسبت بإقتناص الإلكترون شحنة سالبة (صارت أيون سالب).

® وبالتالي فإن بلورة السيليكون المضاف إليها شوائب ثلاثية التكافؤ مثل ذرات الألومنيوم تسمى بـ "بلورة من النوع الموجب" ويرمز لها بالرمز $p - type$ لأن تركيز الفجوات الموجبة فيها يكون أكبر من تركيز الإلكترونات الحرة بالإضافة إلى أن التوصيل الكهربائي يتم نتيجة حركة هذه الفجوات الموجبة والتي تسمى بـ "حاملات الشحنة السائدة".

® وعند الإتزان الحراري تكون البلورة متعادلة كهربياً حيث يكون مجموع الشحنة الموجبة = مجموع الشحنة السالبة أي أن :

$$p = n + N_{Acceptor}$$

® حيث $N_{Acceptor}$ هو تركيز الشوائب أو الذرات المستقبلية أو الأيونات السالبة و p هو تركيز الفجوات و n تركيز الإلكترونات الحرة .

❖ وفي جميع الأحوال يكون :

$$np = n_i^2$$

حيث n_i هو تركيز الإلكترونات السالبة أو الفجوات الموجبة في حالة بلورة السيليكون النقية. ❖ والقانون السابق يسمى بـ "قانون فعل الكتلة" ومنه نجد أنه بزيادة تركيز الإلكترونات n يقل تركيز الفجوات p .

❖ وعلى سبيل التقريب نجد أنه في البلورة $n - type$ يكون :

$$\begin{aligned} n \gg p &\Rightarrow n \equiv N_D \\ \Rightarrow p = n_i^2 / n = n_i^2 / N_D &\Leftrightarrow \boxed{p = n_i^2 / N_D} \end{aligned}$$

أما بالنسبة للبلورة $p - type$ يكون:

$$\begin{aligned} p \gg n &\Rightarrow p \equiv N_A \\ \Rightarrow n = n_i^2 / p = n_i^2 / N_A &\Leftrightarrow \boxed{n = n_i^2 / N_A} \end{aligned}$$

المكونات أو النبائط الإلكترونية

❖ المكونات أو النبائط هي الوحدات التي تُبنى عليها كل الأنظمة الإلكترونية.

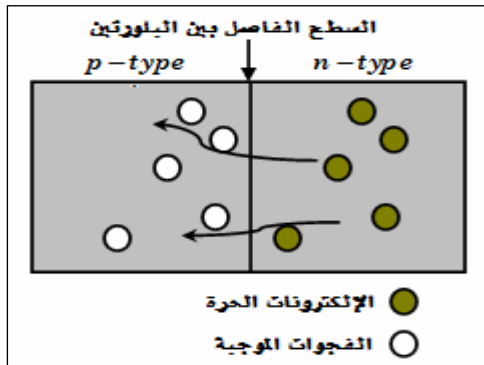
❖ ففي الأنظمة الإلكترونية يوجد الكثير من العناصر أو المكونات التي يتم تقسيمها إلى نوعين أساسيين هما:

- مكونات بسيطة (وتعرف بالمكونات غير الفعالة): مثل المقاومات والمكثفات والملفات الحثية.
- مكونات معقدة (وتعرف بالمكونات الفعالة): مثل الثنائيات والترانزستور والدوائر المتكاملة، وهذه تُمثل العناصر الأساسية في أي دائرة إلكترونية.

وبالإضافة إلى هذين النوعين يوجد كذلك نبائط متخصصة مثل النبائط الكهروضوئية ونبائط التحكم في التيار.

❖ وتتميز أشباه الموصلات التي تُصنع منها أغلب هذه النبائط بـ "حساسيتها للعوامل المحيطة بها مثل الضوء ودرجة الحرارة والضغط والإشعاع الذري والتلوث الكيميائي وغيرها من المؤثرات"، ولهذا فهي فإنها تستخدم كـ "محسات" أي كوسائل قياس لهذه العوامل المختلفة، فعن طريقها يمكن قياس شدة الضوء أو درجة الحرارة أو الضغط أو الرطوبة أو حتى الإشعاع الذري أو التلوث الكيميائي.

الثنائي أو الوصلة الثنائية أو الدايمود Diode



➡ تتكون الوصلة الثنائية أو الوصلة الموجبة - السالب $pn - junction$ من بلورتين إحداهما النوع الموجب $p - type$ والأخرى من النوع السالب $n - type$.

➡ وحيث أنه البلورة السالبة $n - type$ يكون تركيز الإلكترونات أكبر من تركيز الفجوات، وفي البلورة الموجبة $p - type$ يكون تركيز الفجوات أكبر من

تركيز الإلكترونات... لذا فإنه عند عمل الوصلة الثنائية "الموجبة - السالبة"... تعبر إلكترونات البلورة السالبة سطح إلتقاء البلورتين إلى البلورة الموجبة وتتحد مع الفجوات الموجودة بها مكونةً منطقة خالية من الشحنات المتحركة "الإلكترونات والفجوات" تسمى بـ "المنطقة الفاصلة أو المنطقة الخالية أو منطقة الإفرغ" (تتكون فقط من أيونات موجبة "عبارة عن شوائب البلورة

السالبة والتي فقدت الإلكترونات "أيونات سالبة" عبارة عن شوائب البلورة الموجبة والتي اكتسبت الإلكترونات".

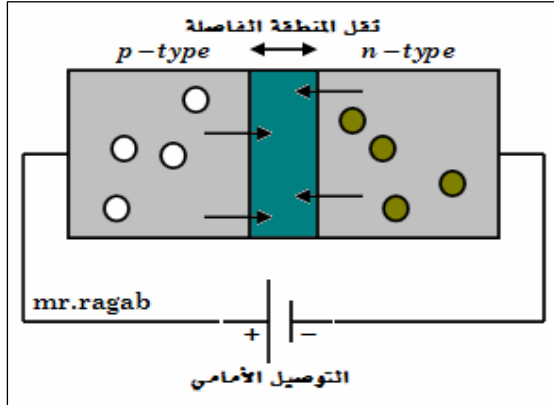
ونتيجة لفقد البلورة السالبة بعض إلكتروناتها فإنها تكتسب جهداً "موجباً"، بينما تكتسب البلورة الموجبة جهداً "سالباً" لانتقال الإلكترونات إليها.

ونتيجة لفرق الجهد بين هاتين المنطقتين "البلورتين" يتولد مجال كهربائي داخل المنطقة الفاصلة يتجه من البلورة السالبة (ذات الجهد الموجب) إلى البلورة الموجبة (ذات الجهد السالب) ينشأ عنه تيار كهربائي يسمى بـ "التيار الإنسيابي" يكون اتجاهه في نفس اتجاه المجال وعكس اتجاه "تيار الانتشار" المار في الوصلة ككل (حسب التعريف الإصطلاحي لإتجاه التيار أي من الطرف الموجب إلى الطرف السالب) (الشكل السابق).

وعند عدم وجود أي جهد خارجي... نجد أنه تحدث حالة من الإستقرار توقف عملية إنتقال الشحنات بين البلورتين مما يضمن أن تبقى كلاً منهما محتفظة بخواصها المختلفة عن الأخرى.

أما عند التأثير بجهد كهربائي خارجي (بطارية مثلاً) على الوصلة تكون أمامنا حالتين لتوصيل الوصلة بمصدر الجهد:

❖ الأولى:



"توصيل البلورة الموجبة من الوصلة بالقطب الموجب للبطارية وتوصيل البلورة السالبة بالقطب السالب للبطارية"

وفي هذه الحالة تتحرك الشحنات "الإلكترونات والفجوات" للداخل نتيجةً للتناافر الحادث بين:

✓ الإلكترونات الحرة الموجودة في البلورة السالبة والقطب السالب للبطارية فتتحرك مقتربة من المنطقة الفاصلة.

✓ الفجوات الموجبة الموجودة في البلورة الموجبة والقطب الموجب للبطارية فتتحرك مقتربة من المنطقة الفاصلة أيضاً.

"ويعني آخر: يكون المجال الكهربائي للبطارية عكس اتجاه المجال الداخلي في المنطقة الفاصلة فيضعفه" $\otimes$ وعليه... تقل حتى تنعدم تقريباً المنطقة الفاصلة وبالتالي يمر تيار كبير نسبياً (حيث تكون مقاومة الوصلة الثنائية صغيرة جداً) (الشكل المقابل).

$\otimes$ ويسمى التوصيل في هذه الحالة بـ "التوصيل أو الإنحياز الأمامي" ويسمى التيار الكبير المصاحب له بـ "التيار الأمامي".

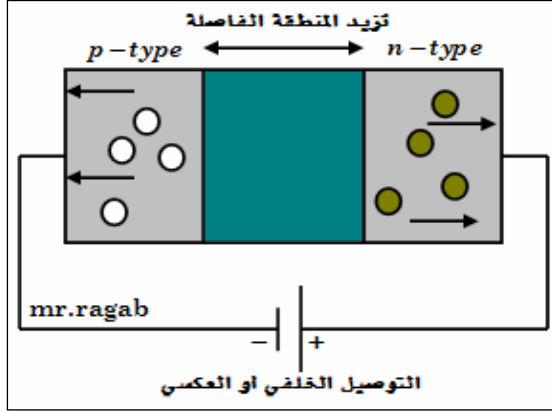
❖ الثانية:

"توصيل البلورة الموجبة من الوصلة بالقطب السالب للبطارية وتوصيل البلورة السالبة بالقطب الموجب للبطارية"

وفي هذه الحالة تتحرك الشحنات "الإلكترونات والفجوات" للخارج نتيجةً للتجاذب الحادث بين: ☒ الإلكترونات الحرة الموجودة في البلورة السالبة والقطب الموجب للبطارية فتتحرك مبتعدة عن المنطقة الفاصلة.

☒ الفجوات الموجبة الموجودة في البلورة الموجبة والقطب السالب للبطارية فتتحرك مبتعدة عن المنطقة الفاصلة أيضاً.

"وبمعنى آخر: يكون المجال الكهربائي للبطارية في نفس اتجاه المجال الداخلي في المنطقة الفاصلة فيقويه".



⊗ وعليه... تزداد المنطقة الفاصلة وبالتالي

يمر تيار صغير جداً (حيث تكون مقاومة الوصلة الثنائية كبيرة جداً).

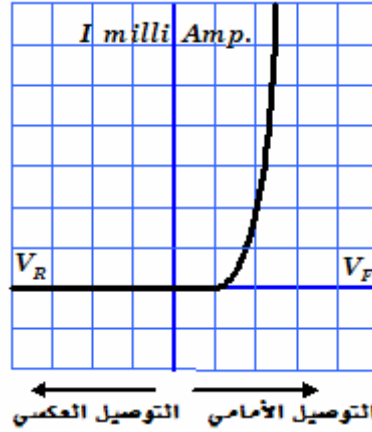
⊗ ويسمى التوصيل في هذه الحالة بـ

"التوصيل الخلفي أو العكسي" ويسمى التيار الضعيف المصاحب له بـ "التيار العكسي".

❖ أي أن الوصلة الثنائية تسمح بمرور التيار

الكهربي في الاتجاه الأمامي وتمنعه تقريباً في الاتجاه العكسي، يمكن تشبيهها بمفتاح يكون مغلقاً في الاتجاه الأمامي ومفتوحاً في الاتجاه العكسي (الشكل التالي).

❖ ومما سبق نجد أنه يمكن التأكد من سلامة الوصلة الثنائية باستخدام "أومميتر"، إذ يجب أن يُعطي مقاومة صغيرة جداً في حالة التوصيل الأمامي ومقاومة كبيرة جداً في حالة التوصيل الخلفي.



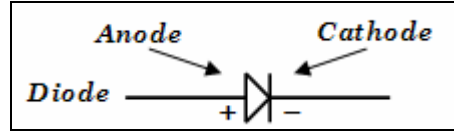
وهذا السلوك يختلف تماماً عن المقاومة العادية، إذ أنها توصل التيار بنفس القيمة إذا ما انعكس فرق الجهد.

❖ وللخصائص السابقة... يقوم الثنائي أو الوصلة الثنائية بدور مهم جداً في عملية تقويم "التيار المتردد" حيث تسمح بمرور التيار الكهربائي في النصف الأول من الدورة وتمنعه في النصف الثاني منها أي أنه يعمل على تحويل التيار المتردد AC إلى تيار مستمر DC.

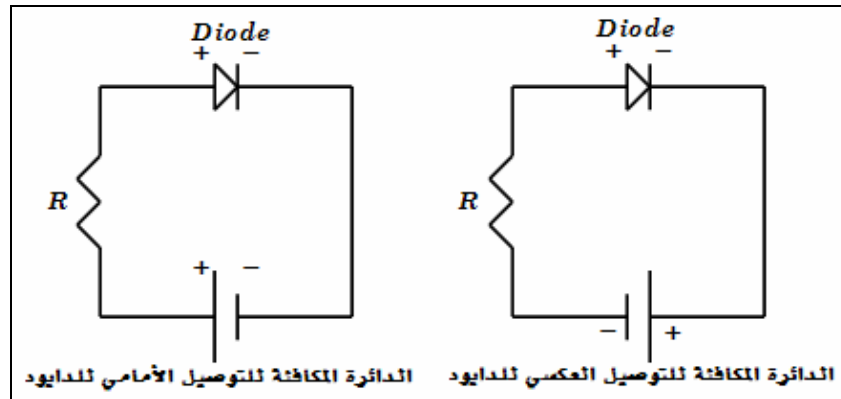
ويستفاد من هذه العملية في شحن بطاريات السيارات وأيضاً شحن التليفونات المحمولة.

♦ ملاحظات :

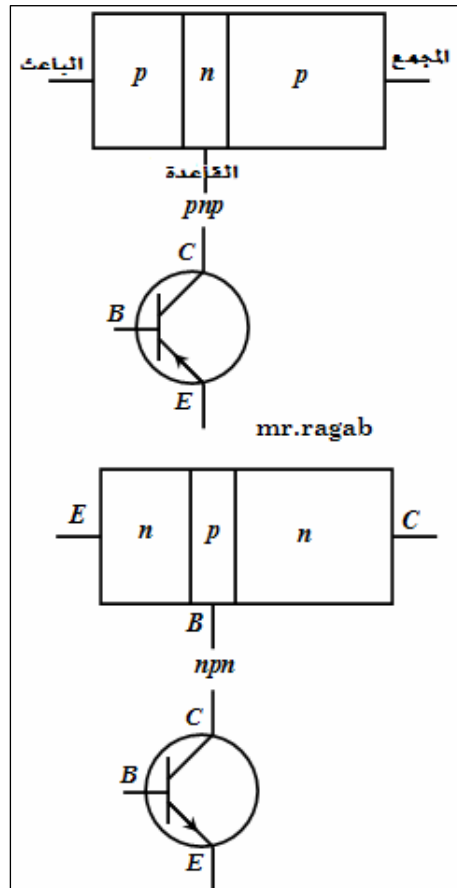
- يُرمز للتيار الأمامي بالرمز $I_{Forward}$ وللتيار الخلفي أو العكسي بالرمز $I_{Backward}$ ، وفرق الجهد الأمامي بالرمز $V_{Forward}$ والجهد العكسي بالرمز $V_{Backward}$ أو $V_{Reverse}$.
- والشكل التالي يوضح الرمز المكافئ للوصلة الثنائية أو كما تسمى بـ "الدايود"، حيث يمثل الشكل المثلث البلورة الموجبة أو الأنود، ويمثل الخط العمودي البلورة السالبة أو الكاثود.



- والشكل التالي يوضح استخدام الرمز المكافئ للدايود في نوعي التوصيل:



الترانزستور



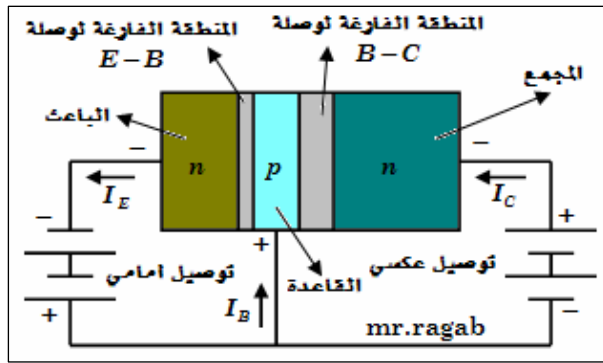
- يطلق اسم الترانزستور على الوصلة الثلاثية، حيث يتكون الترانزستور من طبقة شبه موصل موجب محصورة بين طبقتين من شبه موصل سالب ويسمى هذا النوع npn .
- أو من طبقة شبه موصل سالب محصورة بين طبقتين من شبه موصل موجب ويسمى هذا النوع pnp .
- ويتركب الترانزستور من 3 مناطق هي على الترتيب :
 1- الباعث E : وهو إحدي الطبقتين المحيطةتين بالقاعدة ويقوم بحقن أو ضخ حاملات الشحنة (الإلكترونات أو الفجوات) إلى القاعدة.
 2- القاعدة B : وهي طبقة شبه الموصل الوسطى وهي عبارة عن غشاء رقيق وعن طريقها تمر حاملات الشحنة من الباعث إلى المجمع.
 3- المجمع C : وهو الطبقة الأخرى المحيطة بالقاعدة ويقوم بجذب حاملات الشحنة من القاعدة.
 يتم ترتيب الوصلات الثلاثة على النحو السابق (الباعث

ثم القاعدة ثم المجمع $E \rightarrow B \rightarrow C$ (ويجب أن يكون سمك القاعدة صغيراً جداً لكي تسمح بعمل إتصال كهربائي بين الباعث والمجمع.

كما أن تركيز الشوائب بها (أي القاعدة) يكون قليلاً جداً في حين يكون تركيزها (أي الشوائب) في الباعث عالي جداً لأن عمله يكون حقن حاملات الشحنة إلى القاعدة.

وحيث أن القاعدة أقل سمكاً وأقل تركيزاً فإن معظم هذه الحاملات تمر إلى المجمع وسبب كبر مساحة سطح المجمع هو أنه يستخدم في إشعاع الطاقة الحرارية الناتجة من الحركة السريعة لحاملات الشحنة بصفة مستمرة.

ولدراسة عملية توصيل الترانزستور في دائرة ما، نأخذ على سبيل المثال، ترانزستور $n-p-n$ من النوع كالمبين بالشكل التالي وفيه:



وصلة الباعث/قاعدة موصلة توصيل أمامي (وبالتالي تكون مقاومتها صغيرة)، ووصلة القاعدة/المجمع موصلة توصيل عكسي (وبالتالي تكون مقاومتها كبيرة).
❖ وعليه تندفع الإلكترونات من الباعث إلى المجمع عبر القاعدة.

- فعندما تمر الإلكترونات عبر القاعدة فإن جزء

صغير منها يستهلك في الإتحاد مع الفجوات الموجودة بالقاعدة خلال عملية "الإلتام أو الإتحاد"، فإذا كان التيار المنطلق من الباعث هو I_E فإن ما يصل إلى المجمع أي تيار المجمع I_C يعطي من العلاقة:

$$I_C = a_e I_E \quad \Leftrightarrow \quad a_e = \frac{I_C}{I_E}$$

حيث a_e تُعرف بأنها النسبة بين تيار المجمع I_C وتيار الباعث I_E وتدل على مدى تقارب أو تساوي تيار المجمع مع تيار الباعث.

في حين تُعطي النسبة بين تيار المجمع I_C وتيار القاعدة I_B أو β_e من العلاقة:

$$\beta_e = \frac{I_C}{I_B} \quad \Leftrightarrow \quad I_C = \beta_e I_B$$

من الشكل السابق ومن قانون كيرشوف... نجد أن:

$$I_E = I_B + I_C \quad \Rightarrow \quad I_B = I_E - I_C$$

$$\text{but} \quad \beta_e = \frac{I_C}{I_B} \quad \Rightarrow \quad \beta_e = \frac{I_C}{I_E - I_C}$$

بالقسمة على I_E نحصل على:

$$\beta_e = \frac{I_C / I_E}{1 - I_C / I_E} = \frac{a_e}{1 - a_e} \quad \Leftrightarrow \quad \beta_e = \frac{a_e}{1 - a_e} \quad \Rightarrow \quad a_e = (1 - a_e) \beta_e$$

لكن:

$$I_C = \beta_e I_B \quad \& \quad I_C = a_e I_E \quad \Rightarrow \quad \beta_e I_B = a_e I_E = (1 - a_e) \beta_e I_E$$

$$\Rightarrow \quad I_B = (1 - a_e) I_E$$

- ❏ ولأن سمك القاعدة "كما سبق وأن بينا" صغير جداً، يصبح تيار الباعث مساوياً تقريباً لتيار المجمع... أي أن النسبة α_e تكون قريبة إلى الواحد الصحيح، وعليه تصبح النسبة β_e كبيرة جداً.
- ❏ وبالتالي يكون تيار المجمع I_C أكبر من تيار القاعدة I_B بالمقدار β_e والتي تسمى بـ "تكبير التيار"، أي أنه إذا وضعت إشارة كهربائية صغيرة في تيار القاعدة فإن تأثيرها يظهر مُكبراً في تيار المجمع.
- ❏ وهذه الفكرة الأساسية في عمل الترانزستور كمكبر وهو ما يسمى بـ "فعل الترانزستور".

الترانزستور كمفتاح

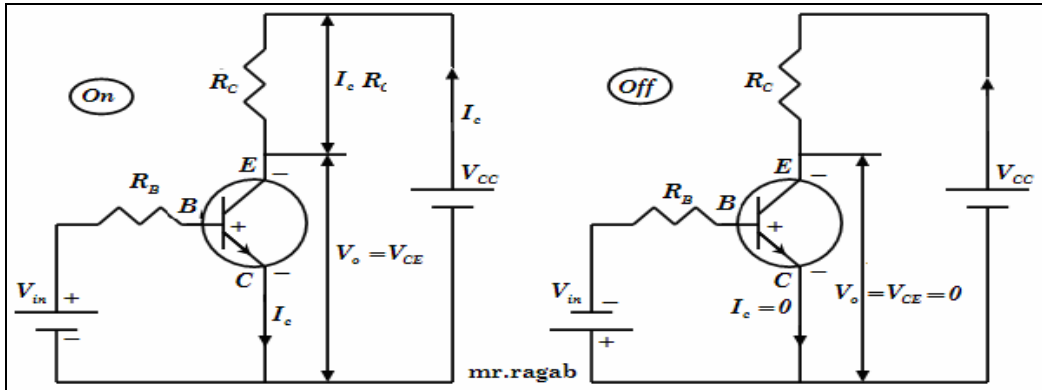
❖ في الشكل التالي... نجد أنه في دائرة المجمع (الجزء الأيمن من أي شكل) يكون:

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C$$

حيث V_{CC} هو جهد البطارية (ثابت دائماً) و V_{CE} هو فرق الجهد بين المجمع والباعث و I_C هو تيار المجمع و R_C هي المقاومة الموجودة في الدائرة (وهي ثابتة أيضاً).

- وبالتالي فإن أي زيادة في تيار المجمع تكون على حساب الجهد بين المجمع والباعث... أي أنه كلما زاد التيار I_C كلما قل الجهد V_{CE} حتى يصل إلى أقل قيمة له حوالي $0.2V$ عندما يكون تيار القاعدة I_B وبالتالي تيار المجمع كبيراً حيث $I_C = \beta_e I_B$.

❖ فإعتبار الشكل التالي... وفيه القاعدة هي الدخل والمجمع هو الخرج والباعث مشترك بينهما...



❖ فإن سلوك الترانزستور يكون على النحو التالي:

- عندما يكون الدخل كبيراً فإن الخرج يكون صغير.
- عندما يكون الدخل صغيراً يكون الخرج كبير.

❖ لذا يسمى الترانزستور في هذه الحالة بـ "العاكس".

❏ فإذا أعطينا القاعدة جهداً موجباً (وبمعنى آخر: توصيل القاعدة توصيلاً أمامياً "الشكل السابق

على اليمين") فإنه يسري تيار في المجمع بحيث يكون فرق الجهد عليه صغيراً.

❏ والعكس صحيح، أي إذا كان الجهد المسلط على القاعدة صغيراً أو سالباً (وبمعنى آخر: توصيل

القاعدة توصيلاً عكسياً "الشكل السابق على اليسار") ينقطع التيار المار في المجمع ويكون فرق الجهد عليه كبيراً وبالتالي الخرج كبير.

❏ وهكذا يستخدم الترانزستور كمفتاح (يوصل التيار أو لا يوصله).

كذا يمكن الإستدلال على قطبية الترانزستور باستخدام أوميتر بنفس الكيفية مع الداود (بلورة بلورة).

الإلكترونيات الرقمية

♦ تتعامل جميع الأجهزة الإلكترونية مع الكميات الطبيعية وتحولها إلى إشارات كهربية، فمثلاً:

- 1 - الميكروفون يحول الصوت إلى إشارة كهربية.
- 2 - كاميرا الفيديو تحول الصورة إلى إشارة كهربية.
- 3 - التليفزيون: ففيه يتحول الصوت والصورة إلى إشارة كهربية ثم إلى إشارة كهرومغناطيسية عند الإرسال.. والعكس عند الإستقبال.. حيث تتحول الإشارة الكهرومغناطيسية إلى إشارة كهربية ثم إلى صوت وصورة.

✓ و "الأجهزة الإلكترونية التي تتعامل مع الكميات الطبيعية (التي تُرسل متصلة وتأخذ أي قيمة حسب حالتها كما أنها تتغير باستمرار مع الزمن) كما هي" فتسمى بـ "الأجهزة الإلكترونية التناظرية أو القياسية".

✓ أما حديثاً فقد ظهر نوع جديد من الأجهزة تُعرف بـ "الأجهزة الإلكترونية الرقمية" كالألات الحاسبة وأجهزة الكمبيوتر والتي تعتمد في عملها على "النظام الثنائي" والذي فيه تُحول الإشارة الكهربائية إلى شفرة أساسها قيمتان فقط هما 1 و 0 (أي تتميز بنبضات منفصلة تُعبر عن حالتين فقط هما 1 و 0 أو "مضيئ وغير مضيئ" أو "حقيقي وزائف" أو "صحيح وخطأ" أو "عالي ومنخفض" أو "مغلق ومفتوح" وهكذا...).

✓ فمثلاً: يُعبر عن قيمة العدد 3 في النظام الثنائي بالرمز $(11)_2$ حيث يرمز الرقم 2 إلى النظام الثنائي، وهذه لا تُقرأ أحد عشر ولكنها :

$$3 = 1 \times 2^0 + 1 \times 2^1$$

→ حيث $2^0, 2^1, 2^2, \dots$ هي مراتب الخانات في النظام الثنائي، فتمثل 2^0 خانة الأحاد وتمثل 2^1 خانة العشرات وتمثل 2^2 خانة المئات... وهكذا، أي أن مراتب الخانات في النظام الثنائي تمثل قوي العدد 2.

→ تماماً... كما تُمثل $10^0, 10^1, 10^2, \dots$ مراتب الخانات في النظام العشري، فمثلاً: يمكن كتابة العدد 17 في الصورة العشرية على النحو التالي:

$$17 = 7 \times 10^0 + 1 \times 10^1$$

♦ ♦ وهكذا يتم تشفير كل عدد وكل حرف في النظام الثنائي، فيتم تحويل الإشارات الكهربائية المتصلة إلى إشارات رقمية من مصدر الإرسال عن طريق جهاز محول تناظري/رقمي أما عند المُستقبل فيحدث العكس حيث تتحول الإشارات الرقمية إلى تناظرية بواسطة محول رقمي/تناظري.

ولكن ما الحكمة من هذا التحويل...؟؟

فالحكمة من ذلك هو أنه توجد في الطبيعة إشارات كهربية غير منتظمة وغير مفيدة تسمى بـ "الضوضاء الكهربائية" مصدرها الحركة العشوائية للإلكترونات، تسبب هذه الحركة تياراً عشوائياً يُحدث تداخلاً في الإشارات التي تحمل المعلومات وتشوشها.

ويُلاحظ ذلك في حالة محطة إذاعية أو تليفزيونية ضعيفة حيث تظهر كشوشرة في الصوت أو كنقاط بيضاء وسوداء على الشاشة، هذه الضوضاء تُضاف دائماً إلى الإشارات التي تحمل المعلومات ويصعب التخلص منها.

® ولكن في حالة الإلكترونيات الرقمية... فإن المعلومة ليست في قيمة الإشارة "التي قد تُضاف إليها الضوضاء وتشوهها" ولكن المعلومة تكمن في الكود أو الشفرة الخاصة بها... هل هي 1 أم 0 ؟... ومن هنا كانت أهمية الإلكترونيات الرقمية...!!

® ويستخدم هذا النوع من الإلكترونيات على نطاق واسع في العصر الحالي مثل التليفونات المحمولة والقنوات الفضائية وأقراص الليزر، ومما زاد من أهميتها إختراع الكمبيوتر المبني على الإلكترونيات الرقمية، فكل ما يدخل إلى الكمبيوتر من بيانات يتحول إلى شفرات ثنائية كذلك تُجزأ الصور إلى عناصر صغيرة تسمى بـ "البكسلز" وتحول أيضاً إلى شفرة ثنائية.

® وفي كلٍ يقوم الكمبيوتر بجميع العمليات الحسابية بإستخدام ما يُعرف بـ "الجبر الثنائي أو جبر بول"، كما يقوم بتخزين المعلومات في الذاكرة المؤقتة أو حتى الذاكرة المستديمة مثل القرص الصلب على شكل مغنطة في اتجاه معين "يمكن أن يُعبر عنها بالرقم 0" أو في شكل مغنطة في الإتجاه المضاد "ويعبر عنها بالرقم 1".

البوابات المنطقية

👍 يعتمد الكثير من التطبيقات الحديثة للإلكترونيات على عناصر رقمية من دوائر إلكترونية يُطلق عليها "البوابات المنطقية" فهي تتحكم في إنبسياب المعلومات عبر النظام حيث أنها تُفتح أو تُغلق تبعاً للعمليات التي تحدث عند المداخل.

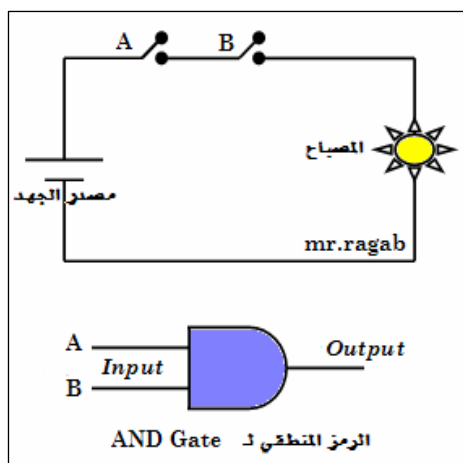
👍 ومن اسمها... تستطيع هذه الدوائر أن تقوم بعمليات منطقية مثل النفي NOT والتوافق AND والإختيار OR والتي تعتمد بدورها على الجبر الثنائي أو الجبر البولي.

👍 وعلى العموم... يمكن تمثيل تلك العمليات عن طريق دائرة مكونة من مصباح كهربي ومفتاح ومصدر جهد... فيكون للمصباح حالتين فقط هما إما أن يكون مطفاً وسنرمز له بـ 0 أو أن يكون مضاء ورمزه 1، كذلك يكون للمفتاح حالتين فقط أيضاً... هما إما أن يكون مفتوح ويُرمرز له بـ 0 أو أن يكون مغلق ورمزه 1.

♦ ♦ ♦ ومن أهم هذه البوابات:

1. بوابة التوافق AND Gate :

♦ وبوابة AND لها مدخلان أو أكثر ولها مخرج واحد فقط، ويمكن تمثيلها بمفتاحين أو أكثر موصلة



على التوالي في دائرة كهربائية كما بالشكل المقابل:

♦ ويمكن تمثيل الحالات المختلفة للدائرة بالجدول التالي:

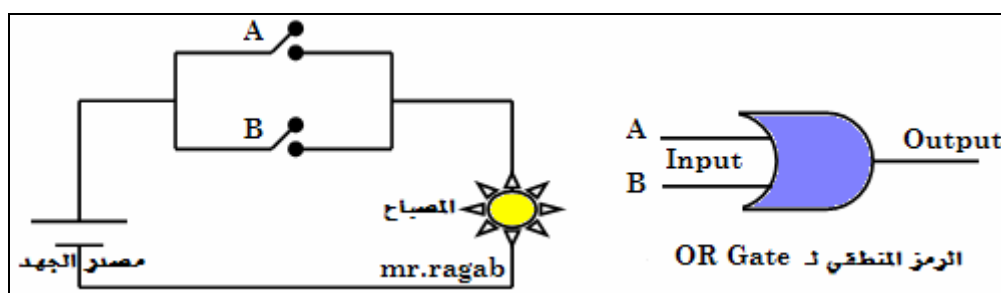
Input		Output	حالة المفاتيح		حالة المصباح
A	B		A	B	
0	0	0	مفتوح	مفتوح	غير مضاء
0	1	0	مفتوح	مغلق	غير مضاء
1	0	0	مغلق	مفتوح	غير مضاء
1	1	1	مغلق	مغلق	مضاء

♦ ومنه نجد أن المصباح لا يضيئ إلا إذا كان كلا من المصباحين مغلقين "1 1"، أي لا يوجد هناك خرج

للدائرة إلا إذا إتفق الدخلان على نفس القيمة وهي 1.

2. بوابة الاختيار OR Gate :

♦ وهذه البوابة لها مدخلان أو أكثر ولها مخرج واحد فقط أيضاً، ويمكن تمثيلها بمفتاحين أو أكثر موصلة على التوازي في دائرة كهربائية كما بالشكل المقابل:



♦ ويمكن تمثيل الحالات المختلفة للدائرة بالجدول التالي:

Input		Output	حالة المفاتيح		حالة المصباح
A	B		A	B	
0	0	0	مفتوح	مفتوح	غير مضاء
0	1	1	مفتوح	مغلق	مضاء
1	0	1	مغلق	مفتوح	مضاء
1	1	1	مغلق	مغلق	مضاء

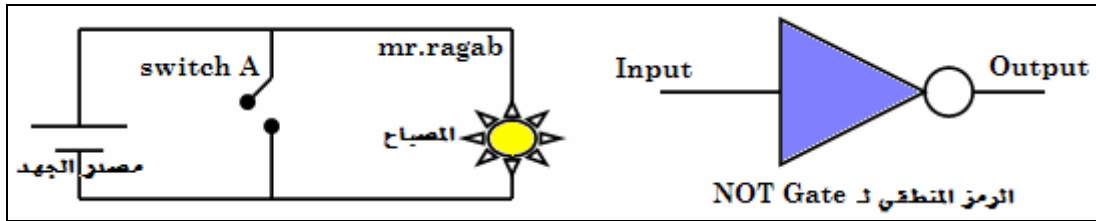
♦ ومنه نجد أن المصباح يضاء عندما يكون أي من المصباحين أو كلاهما مغلقاً "1 1"، أي يلزم توافر أحد الدخلين على الأقل لنحصل على الخرج "1".

3. بوابة النفي أو العكس NOT Gate :

❖ كما يبدو من اسمها... فإن هذه البوابة تُغير الدخل إلى عكسه... فإذا كان الدخل "1" فإن الخرج يكون "0" والعكس صحيح.

Input	Output	حالة المفتاح	حالة المصباح
0	1	مفتوح	مضاء
1	0	مغلق	غير مضاء

❖ وتمتاز هذه البوابة بأن لها مدخل واحد فقط وخرج واحد فقط، ويمكن تمثيلها بالدائرة الكهربائية المبينة بالشكل المقابل:



👍 وعلى هذه العمليات ومثيلاتها تقوم معظم الأنظمة الرقمية حيث يتكرر تنفيذها كثيراً وبسرعة كبيرة جداً.

👍 ويمكن تنفيذ هذه البوابات باستخدام الترانزستور وفي هذه الحالة يعمل الترانزستور كمفتاح وليس كمكبر.

👍 وهكذا يمكن أن نوظف الترانزستور على أنه عاكس NOT Gate أو أنه دائرة توافقية AND Gate إذا كان له أكثر من باعث بحيث لا يوصل تياراً إلا إذا كان كل باعث عليه جهداً موجباً أي (1).

👍 كذلك يمكن تصور الترانزستور على أنه بوابة إختيار OR Gate إذا كان لدينا زوج من الترانزستور موصلين على التوازي بحيث يكفي أن يوصل أحدهما التيار أي أن يكون (1) فيكون الخرج (1).

👍 وأيضاً... يمكن استخدام الترانزستور في صنع دوائر الذاكرة حيث تخزن البيانات إما على الصورة (0) أو (1) إلى أن يزول التيار في حالة الذاكرة المؤقتة RAM فيزول ما تم تخزينه... أو أن يتم تخزين البيانات والمعلومات بصورة مستديمة على القرص الصلب فلا يتم محوها إلا بتعليمات المستخدم.

👍 وبنفس الكيفية يتم تخزين البيانات على الأقراص المدمجة CD... فيتم تسجيلها بالرموز (0) و (1) بواسطة شعاع من الليزر يقوم بحفر حفرة على قرص من البلاستيك (فيدل الرقم 1 على وجود حفرة والرقم 0 على عدم وجودها) وتسمى هذه العملية بـ "الكتابة".

👍 ولاسترجاع هذه المعلومات (عملية "القراءة") تقوم قارئة الليزر بقراءة ما تم تسجيله سابقاً بواسطة شعاع آخر من الليزر بالاستدلال على المناطق (0) و (1) الموجودة بالقرص، ولا تختلف فكرة الـ DVD عن CD إلا بزيادة القدرة التخزينية.

👍 هذا... وقد ظهرت كاميرات تصور بالنظام الرقمي، وفيها تتحول الصور إلى إشارات رقمية يتم تداولها وإرسالها قطعة قطعة فيتم تسجيلها على شريط صغير ممغنط ثم يتم تحميلها على الكمبيوتر.

👍 وهذا النوع من الكاميرات تستخدم كوسيلة حديثة لتخزين ونقل الشحنات الكهربائية تسمى بالـ *CCD* والتي يكون وزنها خفيفاً بالإضافة إلى أنها أساس كاميرات الفيديو المحمولة وآلات الفاكس وآلات التصوير في التليفونات المحمولة الحديثة والتي يمكنها نقل الصور عبر الإنترنت باستخدام خاصية البلوتوث.

الدوائر المتكاملة

- ◀ بينا سابقاً في بداية دراسة الدايود... أنه في الأنظمة الإلكترونية يوجد الكثير من العناصر أو المكونات التي يتم تقسيمها إلى نوعين أساسيين هما:
- ◀ مكونات بسيطة (وتعرف بالمكونات غير الفعالة): مثل المقاومات والمكثفات والملفات الحثية.
- ◀ مكونات معقدة (وتعرف بالمكونات الفعالة): مثل الثنائيات والترانزستور والدوائر المتكاملة، وهذه تمثل العناصر الأساسية في أي دائرة إلكترونية وهذه لها القدرة على التكبير عند دمجها في دوائر مناسبة.
- ◀ وتسمى "الدوائر التي يتم تجميعها من مكوناتها الأساسية ولحامها وتوصيل كل منها على حدة" بالـ "الدوائر المنفصلة".
- ◀ ولكن مع بداية ستينيات القرن العشرين عندما كانت أبحاث الفضاء على أشدها وكانت الحاجة ماسة لصنع دوائر إلكترونية صغيرة الحجم خفيفة الوزن إتجهت الأنظار لصنع ما يُعرف بـ "الدوائر المتكاملة" أو "الشرائح الدقيقة".
- ◀ وتعتمد الفكرة الأساسية لهذه الدوائر "على تجميع كل المكونات المطلوبة فوق شريحة من السيليكون تُحدد عليها أماكن تلك المكونات دون توصيلها منفصلة وذلك حسب وظيفة كل دائرة".
- ◀ فمثلاً: إذا أردنا صنع دايود $p - n$ من شريحة $n - type$ فيكون المطلوب هو إنتشار ذرات ثلاثية كالسيوم لتكون بلورة $p - type$ في منطقة محددة من الشريحة وهو ما يسمى بـ "الإنتشار الإنتقائي" أو "الإنتشار المستوي".
- ◀ الكيفية: يتم ذلك خلال عملية كيميائية طويلة يستخدم فيها قناع وضوء أو ليزر فيما يشبه عملية الطباعة (أو النقش على الحجر).
- ◀ وينفس الكيفية يمكن تصنيع ترانزستور من النوع $n - p - n$ مثلاً... عن طريق فتح ثغرة في المنطقة الموجبة والسماح بإنتشار ذرات البلورة السالبة خلالها وهكذا إلى أن يتم صنع الترانزستور المراد.
- ◀ والدهش في الأمر... أن كل ذلك يتم على رقيقة من السيليكون بحيث تُكرّر على نفس الرقيقة آلاف المرات في وقت واحد وبعد ذلك يتم قطع هذه الوحدات المتكررة إلى شرائح صغيرة جداً (شرائح دقيقة) تحمل كل منها نفس المكونات بنفس المواصفات.
- ◀ وبدلاً من تكوين الدوائر المعقدة من مكوناتها الأولى... أصبح أي نظام إلكتروني يتم من مكوناته المتكاملة على لوحة مطبوعة فمثلاً: اللوحة الأساسية في الكمبيوتر والتي تُعرف بـ "اللوحة الأم" تحتوي على المشغل والذاكرة المؤقتة ودوائر التحكم وكذلك دوائر الحساب والمنطق وغيرها كثير.
- ◀ وأيضاً... دخلت الدوائر المتكاملة في مجال الطب... فهي توجد في جميع أجهزة القياس والتشخيص والعلاج وفي المستقبل قد تدخل في أجهزة ضبط دقات القلب وضبط الأنسولين بالجسم عن طريق وضع

كبسولات دقيقة للغاية داخل الجسم نفسه تحتوي على مشغلات دقيقة، كل ذلك يُصنع بالدوائر المتكاملة لتؤدي عملها من داخل الجسم.

التصغير إلى أين !!!

المطلع على تاريخ الإلكترونيات عموماً والكمبيوتر بصفة خاصة يجد أنه عندما أُخترع أول جهاز كمبيوتر في خمسينيات القرن الماضي كانت إمكانياته ضعيفة جداً وكان حجمه يعادل حجم طابق بأكمله حيث كان يعمل بالصمامات.

ولكن مع ظهور الترانزستور ومن بعده الدوائر المتكاملة وصلنا إلى الكمبيوتر الشخصي في فترة السبعينيات الأمر الذي أتاح للأفراد إقتناء أجهزة كمبيوتر خاصة بهم.

ومنذ ذلك الحين وإلى الآن والكمبيوتر الشخصي في تطور مستمر للعمل على زيادة سرعته وسعته وقدرته على التعامل مع العمليات الأكثر تعقيداً في زمن أقل، وفي نفس الوقت تقليل حجمه ووزنه وأيضاً تقليل تكلفته.

كل هذه المتطلبات تتحقق باستمرار وبمعدل نجاح عالٍ جداً "رغم أنها تبدو متعارضة" بفضل الإستغلال الأمثل لمفاهيم علوم الفيزياء والكيمياء والمواد والليزر والتقدم المستمر في تكنولوجيا التصنيع ذاتها.

فماذا بعد... إحتواء شريحة تبلغ مساحتها مساحة رأس الدبوس على مائة ترانزستور أو ما يُعرف بـ "التكامل الصغير" ثم "التكامل المتوسط" (ألف ترانزستور لكل شريحة)، ومن بعده "التكامل الكبير" (10 آلاف ترانزستور لكل شريحة) وتلاه "التكامل متناهي الكبر" (والذي وصل فيه التصغير إلى حوالي 100 ألف ترانزستور لكل شريحة)، بل وصل الأمر إلى "التكامل الفائق" (والذي فيه يبلغ التصغير إلى ما فوق الـ 100 ألف ترانزستور لكل شريحة)...

فإذا استمر التصغير على هذه النحو فإننا نقترّب حتماً وبسرعة إلى مستوى الذرة نفسها... وعندها سيُخزن الرقمين 0 و 1 إما على شكل إلكترون في المستوى الأرضي والآخر في مستوى مُثار أو على شكل إلكترون ذو لف في اتجاه معين والآخر ذو لف في الاتجاه المعاكس، فيما يُعرف بـ "علم الكمبيوتر الكمي" والذي يتمشى مع كل التطورات التي تحدث للعلم في الاتجاه الذي يبحث عن أدق تفاصيل الزمان والمكان الأمر الذي أدى إلى ظهور التقنيات الحديثة مثل "النانو والفمتو تكنولوجي".

- ثم نحمد الله وتوفيقه تعالى -

*** وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين ***

