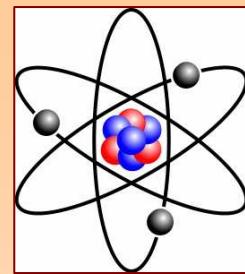




$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$$



$$\Psi$$

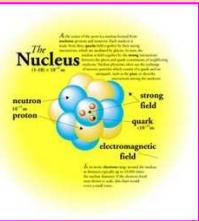
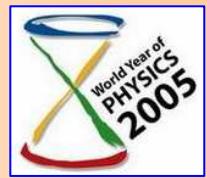
$$P = \rho h g$$

$$\eta = \frac{E}{f}$$

البُعد الرابع

فِي

فيزياء الثانوية العامة



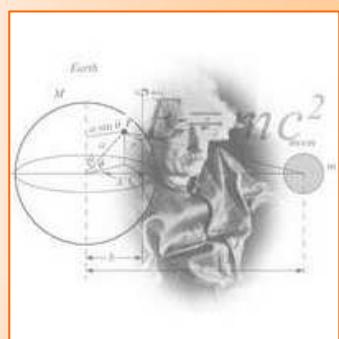
إعداد الأستاذ /

رجاب مصطفى

الشهادة - منوفة

2008

0107198282



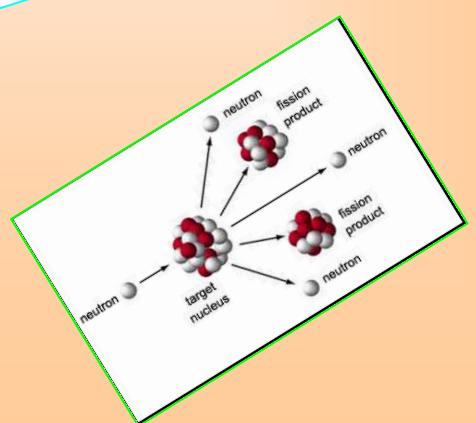
$$T^\circ K = t^\circ C + 273$$

$$V = IR$$

$$n_1 \sin \varphi = n_2 \sin \theta$$



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





"**وَفَلَرَبِّ زَهْنِي عَلَمًا**"



الفهرست

| | | |
|--|-----|--|
| vii | i | - المقدمة الرياضية لفيزياء الثانوية العامة |
| الوحدة الأولى : الموجات | | |
| 6 | 1 | الحركة الموجية الفصل الأول |
| 20 | 7 | الصوت الفصل الثاني |
| 38 | 21 | الضوء الفصل الثالث |
| الوحدة الثانية : خواص الموائع | | |
| 55 | 39 | خواص الموائع الساكنة الفصل الرابع |
| 66 | 56 | خواص الموائع المتحركة الفصل الخامس |
| الوحدة الثالثة : الحرارة | | |
| 83 | 67 | قوانين الغازات الفصل السادس |
| 91 | 84 | نظرية الحركة للغازات الفصل السابع |
| 96 | 92 | فيزياء درجات الحرارة المنخفضة الفصل الثامن |
| الوحدة الرابعة : الكهربية التيارية والكهربومغناطيسية | | |
| 105 | 97 | التيار الكهربى وقانون أوم الفصل التاسع |
| 116 | 106 | التأثير المغناطيسي للتيار الكهربى الفصل العاشر (أ) |
| 123 | 117 | أجهزة القياس الكهربى الفصل العاشر (ب) |
| 143 | 124 | الحث الكهرومغناطيسي الفصل الحادى عشر |
| الوحدة الخامسة : مقدمة في الفيزياء الحديثة | | |
| 153 | 144 | إردواجية الموجة والجسيم الفصل الثاني عشر |
| 159 | 154 | الأطياف الذرية الفصل الثالث عشر |
| 166 | 160 | الليزر الفصل الرابع عشر |
| 180 | 167 | الإلكترونيات الحديثة الفصل الخامس عشر |

المقدمة إلى الرياضيات

"للفيزياء الثانوية العامة"

إعداد الأستاذ /
رجيب مصطفى

♦ أولاً : الوحدات الأساسية :

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

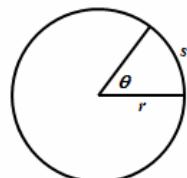
♦ ثانياً : المضاعفات والكسور :

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

♦ ثالثاً : الهندسة وحساب المثلثات :

- القياس الدائري :

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

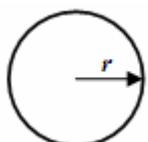
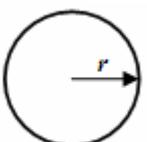
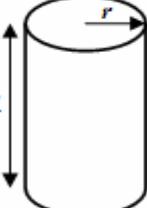
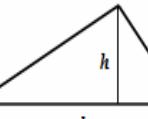
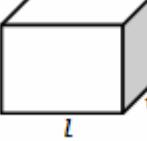


$$\theta = \frac{s}{r} \quad \Leftrightarrow \quad s = r \theta$$

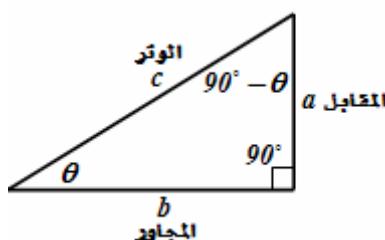
- قيم الدوال المثلثية للزوايا الشائعة الاستخدام :

| 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 والحجم :

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

- الدوال المثلثية :

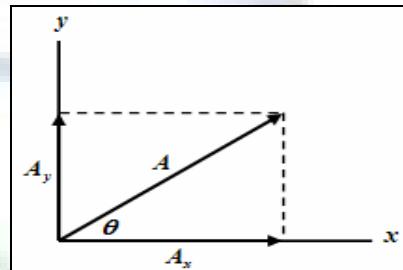


| | | |
|-----------------------------|-----------------------------|---|
| $\sin \theta = \frac{a}{c}$ | $\cos \theta = \frac{b}{c}$ | $\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{a}{b}$ |
|-----------------------------|-----------------------------|---|

| | | |
|---|---|---|
| $\sin \theta = \cos(90^\circ - \theta)$ | $\cos \theta = \sin(90^\circ - \theta)$ | $\cot \theta = \tan(90^\circ - \theta)$ |
| $\sin(-\theta) = -\sin \theta$ | $\cos(-\theta) = \cos \theta$ | $\tan(-\theta) = -\tan \theta$ |
| $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$ | | |

- تحليل المتجهات:

إذا كان لدينا كمية متجهة ولتكن A تمثل بزاوية θ على المحور السيني x فإنه يمكن تحليل هذا المتجه إلى مركبتين إحداهما A_x في إتجاه المحور x والثانية هي A_y في إتجاه المحور الصادي y على النحو التالي :



$$A_y = A \cos \theta$$

$$A_x = A \sin \theta$$

$$A = A_x i + A_y j$$

$$\tan \theta = \frac{A_x}{A_y}$$

♦ رابعاً : الأسس العشرية :

$$10^0 = 1$$

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

$$10^1 = 10$$

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

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

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

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

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

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

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

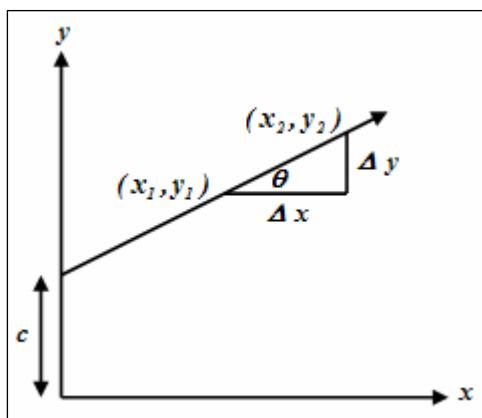
$$10^n \times 10^m = 10^{n+m}$$

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

❖ معادلة الخط المستقيم :

المعادلة العامة للخط المستقيم توضع على الصورة التالية :

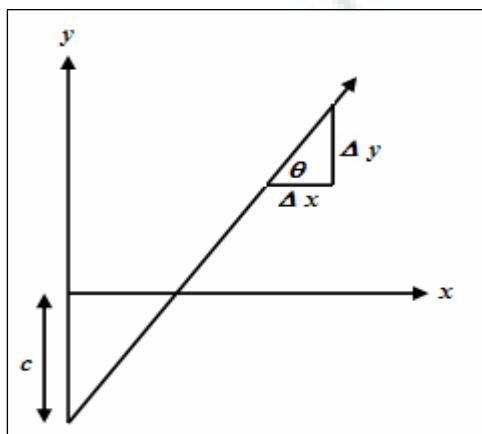
$$y = m x + c$$



حيث c 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 و تمثل 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 .

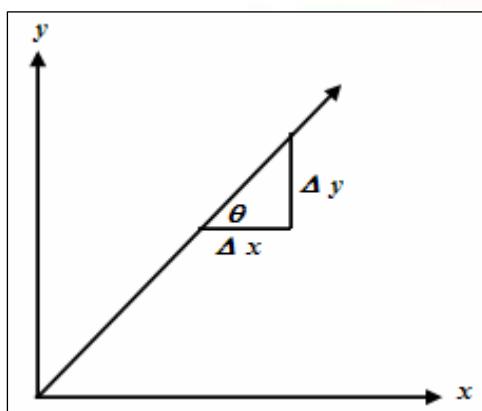


ونفس الشئ إذا كانت المعادلة على الصورة :

$$y = m x - c$$

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 :

$$y = m x$$

وهي تمثل علاقة خط مستقيم يمر بـ نقطة 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 :

$$v_t = v_0 + at$$

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

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

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 m/sec^2 .

♦ قوانين نيوتون :

1 - يبقى الجسم الساكن ساكناً ويبقى الجسم المتحرك في خط مستقيم متحركًا 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 :

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

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

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

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

$$F_g = m g$$

3 - لكل فعل رد فعل متساوي له في المقدار ومضاد له في الإتجاه أو عندما يؤثر جسم ما على جسم آخر بقوة فإن الجسم الآخر يؤثر على الجسم الأول بقوة متساوية له في المقدار ومضادة له في الإتجاه .

$$F_1 = -F_2$$

♦ العجلة المركبة :

$$a_c = \frac{v_\theta^2}{r}$$

♦ مقدار القوة الجاذبة المركبة :

$$F_c = m a_c = m \frac{v_\theta^2}{r}$$

♦ الشغل :

$$W = F \cdot d$$

♦ طاقة الوضع :

$$P.E. = m g d$$

♦ طاقة الحركة :

$$K.E. = \frac{1}{2} m v^2$$

♦ الطاقة الكلية = طاقة الحركة + طاقة الوضع

$$E = K.E. + P.E. = \frac{1}{2} m v^2 + m g d$$

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

$$\therefore F = \frac{\Delta m v}{\Delta t} \Rightarrow I_m = F \cdot \Delta t = \Delta m v$$

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 :

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

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

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

ثالثاً : الكهرباء

♦ قانون كولوم :

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

حيث F هي قوى التجاذب أو التناフرو k هو ثابت الجذب العام ويساوي :

$$k = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{col}^2$$

♦ شدة المجال الكهربائي :

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

♦ الجهد الكهربائي :

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

♦ المكثف : تُعطى سعة المكثف C بالعلاقة :

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

♦ المقاومة :

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

♦ كمية الكهربية :

$$q = I t$$

♦ الشغل المبذول (الطاقة الكهربائية المستنفدة في الأسلك) :

$$W = V I t$$

الْوَرْكَدَةُ الْأَوَّلَى

"الموجات"

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الفصل الأول

الحركة الموجية

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الأولى " الموجات " الفصل الأول " الحركة الموجية "

الحركة الموجية

❖ مقدمة :

عندما نلقى في الماء من آن لآخر حصاة صغيرة فيكون تصادم كل حصاة مع سطح الماء بمثابة مصدر إضطراب ينتشر فوق سطح الماء على هيئة دوائر منتظمة مركزها موضع سقوط تلك الحصاة فيما يسمى بالموجة .

إذاً يمكن تعريف الموجة على أنها " اضطراب ينتقل وينقل الطاقة في اتجاه انتشار هذه الموجة"

❖ كذلك فالتييفزيون ينقل الصوت والصورة حيث تتحول (الصوت والصورة) إلى إشارات كهربية تُحمل على موجات كهرومغناطيسية تنتشر في الفراغ ثم تستقبل في جهاز الإستقبال فتحوّل هذه الموجات إلى إشارات كهربية ثم إلى صوت وصورة .

❖ بنفس الشئ في جهاز التليفون المحمول فهو يتعامل مع موجات تنقل الصوت (وأحياناً الصورة) من المرسل إلى المستقبل حيث تتحول إلى إشارات كهربية ومنها إلى إشارات كهرومغناطيسية تنتشر في الفراغ والوسط المحيط إلى أن يستقبلها هوائي التليفون المستقبل فتحوّل 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 الكهرومغناطيسية | الموجات الميكانيكية |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">- هي إضطراب يتحتاج إلى وسط مادي (صلب . سائل . غاز) كي ينتشر .- تكون أمواج مستعرضة أو أمواج طولية .- تنشأ من إهتزاز جزيئات الوسط إما عمودي أو في نفس اتجاه انتشار الموجة .- أمثلة : أمواج الماء . الأمواج المنتشرة في وتر يهتز . أشعة السينية . أشعة جاما . | <ul style="list-style-type: none">- هي إضطراب ينتشر في الفراغ كما ينتشر في الأوساط المادية .- تكون أمواج مستعرضة فقط .- تنشأ من إهتزاز مجالات كهربية و المجالات مغناطيسية في اتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة .- أمثلة : أمواج الضوء . أمواج الراديو والتليفزيون . |

الحركة الإهتزازية

♦ يرتبط بالحركة الإهتزازية بعض الكميات الفيزيائية الضرورية هي :

- الإزاحة D : هي بعد الجسم المهتز في أي لحظة عن موضع سكونه أو إتزانه الأصلي . وهي كمية متوجهة 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 تمقس أيضاً بالمتر m .
- الإهتزازة الكاملة : هي الحركة التي يعملاها الجسم المهتز في الفترة الزمنية التي تمضي بين مروره ب نقطة واحدة في مسار حركته مرتين متتاليتين في إتجاه واحد .

يلاحظ أن سعة الإهتزازة = $\frac{1}{4}$ الإهتزازة الكاملة .

- التردد : هو عدد الإهتزازات الكاملة التي يُحدثها الجسم المهتز في الثانية الواحدة . ويرمز للتعدد بالرمز v ويُمقس بوحدة الهرتز Hz (إهتزازة لكل ثانية) .
 - الזמן الدوري : وهو الزمن الذي يستغرقه الجسم المهتز في عمل إهتزازة كاملة . أو هو الزمن الذي يستغرقه الجسم المهتز ليمر ب نقطة واحدة في مسار حركته مرتين متتاليتين في إتجاه واحد . ويرمز للزمن الدوري بالرمز T ويُمقس بالثانية sec . من ذلك نلاحظ أن :
- التردد $v = \frac{\text{عدد الإهتزازات الكاملة}}{\text{الزمن بالثاني}} = \frac{\text{إهتزازة}}{\text{ثانية}} = Hz$.
- وعندما يكون عدد الإهتزازات عبارة عن إهتزازة واحدة يكون الزمن المستغرق هو الزمن الدوري T وبالتالي نحصل على العلاقة التالية :

$$T = \frac{1}{v} \Leftrightarrow v = \frac{1}{T}$$

- الطور : هو موضع واتجاه حركة أي جزئ من جزيئات الوسط في لحظة معينة .

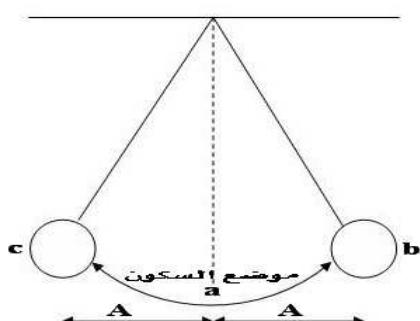
- الطول الموجي : هو المسافة بين أي نقطتين متتاليتين لهما نفس الطور (نفس الإزاحة ونفس الإتجاه) أو هو المسافة التي تتحركها الموجة خلال زمن دوري واحد . ويرمز للطول الموجي بالرمز λ ويُمقس بالметр m أو بوحدة الإنجستروم وذلك للأمواج القصيرة جداً .

♦ الحركة التوافقية البسيطة . S.H.M

الحركة التوافقية البسيطة هي عبارة عن الحركة الإهتزازية في أبسط صورها مثل البدلول البسيط .

إذ تبدأ الإهتزازة من النقطة a (موقع السكون) ثم تزداد إلى قيمة قصوى موجبة عند b ثم تقل إلى الصفر عند a ثم تزداد إلى قيمة قصوى سالبة عند c ثم ترجع إلى الصفر مرة أخرى عند a . وتكرر نفسها هكذا باستمرار .

والشكل المقابل يُبين إزاحة ثقل البدلول 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 ومتعددة منها :

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

❖ أنواع الموجات الميكانيكية :

- الموجات المستعرضة .
- الموجات الطولية .

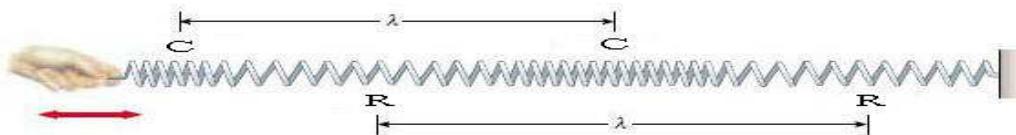
أولاً : الموجات الطولية

تعرف الموجة الطولية بأنها " الموجة التي تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع إتزانها على نفس اتجاه إنتشار الموجة " مثل موجات الصوت .

وللتصور شكل الموجة الطولية نفترض وجود كتلة m موضوعه فوق سطح أفقى 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 $A = x$ حيث A السعة أو أقصى إزاحة " فإن جزءاً من الزنبرك على يمين النقطة A ينضغط وهذا التضاغط C يؤثر بقوه على باقى أجزاء الزنبرك جهة اليمين الأمر الذي يعمل على ضغط حلقاته بصورة متتابعة أي ينتقل التضاغط تباعاً إلى جهة اليمين .

أما إذا تحركت الكتلة m إلى الموضع أو النقطة $A = -x$ فإن الزنبرك على يمين الكتلة يستطيل وتتباعد حلقاته محدثاً نوعاً من الخلخلة وهذا التخلخل R سرعان ما ينتشر جهة اليمين عبر الزنبرك عندما تعود الكتلة إلى وضع الاستقرار $0 = x$ مرة أخرى .

- الطول الموجي للموجة الطولية : هو عبارة عن المسافة بين مركزي تضاغطين متتاليين أو تخلخلين متتاليين .



- الموجة الطولية (إهتزازة كاملة) = تضاغط + تخلخل متتاليين .

- التضاغط : هو تقارب جزيئات الوسط إلى أقصى حد ممكن .

- التخلخل : هو تباعد جزيئات الوسط إلى أقصى حد ممكن .

ثانياً : الموجات المستعرضة

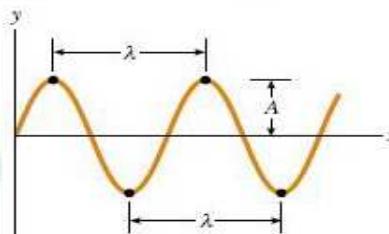
تعرف الموجة المستعرضة على أنها " الموجة التي تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع إتزانها في إتجاه عمودي على إتجاه إنتشار الموجة " مثل موجات الماء .

ولتصور شكل الموجة المستعرضة نفترض وجود كتلة m مثبتة في زنبرك رأسي ومثبت بها طرف حبل طويل أفقي مشدود ومثبت طرفه بعيد في حائط . فعندما تقوم الكتلة m بعمل حركة توافقية بسيطة في الإتجاه الرأسي (تذبذب لأعلى ولأسفل) يقوم تبعاً لذلك طرف الحبل المثبت بها نفس 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 الإتجاه الأفقي بسرعة v بينما تتحرك أجزاء الحبل حركة توافقية بسيطة في الإتجاه الرأسي .

- الطول الموجي للموجة المستعرضة : هو المسافة بين أي قمتين متتاليتين أو أي قاعين متتاليين .



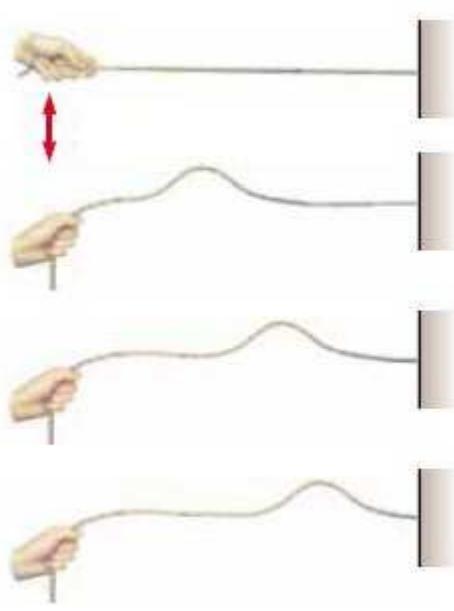
- الموجة المستعرضة (إهتزازة كاملة) = قمة + قاع متتاليين .

- القمة : هي النهاية العظمى للإزاحة في الإتجاه الموجب .

- القاع : هي النهاية العظمى للإزاحة في الإتجاه السالب .

♦ كيف يمكن الحصول على موجة مرتحلة ؟

يستخدم حبل طويلاً مشدود مثبت طرفه بعيد في حائط رأسي بينما الطرف الآخر مشدود باليد ، وعندما ثُحرَك اليَد رأسيًا إلى أعلى ولأسفل على شكل نبضة نلاحظ إنتشار موجة على طول الحبل على هيئة نبضة بما يُعرف بالموجة المرتحلة .



- إذاً يمكن تعريف النبضة بأنها إضطراب فردي لا يتكرر .

- بينما تُعرف الموجة المرتحلة على أنها إضطراب فردي يتدرج من نقطة إلى أخرى .

❖ كثيفية انتقال الموجات الميكانيكية !

عندما يهتز المصدر بكثيفية معينة تهتز جزيئات الوسط المحيط بنفس الكثيفية .
فينتقل 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 موجة .
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 تتمثل في قوة شد الوتر وطاقة حركة تمثل في إهتزاز الوتر .

- ملاحظة : الموجات تنقل الطاقة خلال جزيئات الوسط دون أن تنتقل هذه الموجات جزيئات الوسط من مواضعها .

❖ أنواع الموجات التي تحدث في الماء !

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

- 1 - تتحرك جزيئات الماء عند السطح إلى أعلى وإلى أسفل عمودياً على اتجاه إنتشار الموجة .
أي تحدث على سطح الماء " موجات مستعرضة " وذلك لوجود قوي تماسك كبيرة بين جزيئات سطح الماء ناتجة عن قوي التوتر السطحي .
- 2 - تتحرك جزيئات الماء في قاع الحوض في نفس اتجاه إنتشار الموجة .
أي يحدث في قاع الحوض " موجات طولية " وذلك لأن قوي التماسك بين الجزيئات منعدمة في باطن السائل .

أي أن الموجات التي تحدث في الماء تكون مستعرضة وطولية إلا أن الموجات المستعرضة هي السائدة .

❖ مقارنة بين نوعي الموجات الميكانيكية :

| الموجات المستعرضة | الموجات الطولية |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">❖ وجه التشابه : جزيئات الوسط تهتز على جانبي موضع سكونها لمسافات قصيرة .❖ أوجه الاختلاف :<ol style="list-style-type: none">1 - تهتز فيها جزيئات الوسط في اتجاه عمودي على اتجاه إنتشار الموجة .2 - تتكون من قمم وقيعان .3 - طول الموجة عبارة عن المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعدين متتاليين .4 - تحدث في الماء عند السطح .5 - تنتشر في الجوامد بسرعة أقل . | <ul style="list-style-type: none">❖ وجه التشابه : جزيئات الوسط تهتز على جانبي موضع سكونها لمسافات قصيرة .❖ أوجه الاختلاف :<ol style="list-style-type: none">1 - تهتز فيها جزيئات الوسط في نفس اتجاه إنتشار الموجة .2 - تتكون من تضاغطات وتخلخلات .3 - طول الموجة عبارة عن المسافة بين مركزي تضاغطين متتاليين أو مركزي تخلخلين متتاليين .4 - تحدث في الماء ولكن بعيداً عن السطح .5 - تنتشر في الجوامد بسرعة كبيرة . |

♦ العلاقة بين التردد ν والطول الموجي λ وسرعة انتشار الموجات v :
 إذا انتقلت موجة بسرعة v من مكان لأخر يبعد مسافة تعادل الطول الموجي λ فإن الموجة ستستغرق زمناً قدره الزمن الدوري T .

فحيث أن : السرعة = المسافة ÷ الزمن

وعندما تكون المسافة المقطوعة x عبارة عن الطول الموجي λ فإن الزمن المستغرق t يصبح هو الزمن الدوري أي T :

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

فالتالي يكون :

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

لكن :

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

وهذه العلاقة عامة لانتشار جميع أنواع الموجات سواء كان قطاراً من الموجات أو نبضة واحدة .
 ومنها نستنتج أنه خلال الزمن الدوري تنتقل الموجة مسافة تعادل الطول الموجي .
 ♦ تعريف آخر للتردد : هو عدد الأطوال الموجية التي تقطعها الموجة المنتشرة في إتجاه معين في ثانية واحدة .

تعليلات هامة

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

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

2 - الموجات الكهرومغناطيسية لا تحتاج لوسط مادي لتننتقل فيه .
 لأنها تتولد نتيجة إهتزاز مجالات كهربية ومغناطيسية وليس نتيجة إهتزاز جزيئات الوسط كما في الموجات الميكانيكية .

الفصل الثاني

"الجودة"

إعداد الأستاذ /
رجيب 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 على شكل حركة موجية .
- 3 - تُكبر الأذن هذه الإهتزازات ثم تنقلها إلى المخ عن طريق العصب السمعي .
- 4 - يعمل المخ على ترجمة هذه الإهتزازات إلى أصوات ونغمات .

❖ الخصائص العامة للموجات :

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

أولاً : إنعكاس الصوت

من الظواهر المألوفة أنه في حالة إحداث صوت عال على بعد مناسب من جبل أو حائط كبير فإن الصوت يتكرر سماعه . وهذا الصوت المسموع يشبه الصوت الأصلي وينشأ نتيجة إرتداد الصوت الأصلي أو إنعكاسه عن سطح الجبل أو الحائط الكبير . ويبدو كأنه صادر من نقطة خلف هذا السطح .
وُتَّعْرِفُ هَذِهِ الظَّاهِرَةُ بِـ " صَدِي الصَّوْتِ " الَّذِي يُمْكِنُ تَعْرِيفَهُ عَلَى أَنَّهُ " تَكْرَارُ الصَّوْتِ النَّاشِئُ عَنِ الْإِنْعَكَاسِ " .

كما يمكن تعريف " إنعكاس الصوت " على أنه " إرتداد الموجات الصوتية إلى نفس جهة سقوطها (نفس الوسط) عندما تُقابل سطحاً عاكساً " .

❖ إنعكاس الصوت في الهواء :

- 1 - تنتشر الموجات الصوتية في الهواء على شكل كُرات متحدة المركز من التضاغطات والتخلخلات مرکزها المصدر الأصلي للصوت .

2 - عندما تُقابل هذه الموجات حاجزاً مستوياً فإنها تنعكس وتكون الموجات المنعكسة أيضاً على شكل كرات متحدة المركز من التضاغطات والتخلخلات وتبعد الموجات المنعكسة لأنها آتية من مصدر آخر يقع خلف الحاجز .

3 - يكون بعد مصدر الموجات المنعكسة عن الحاجز مساوياً لبعد المصدر الأصلي عنه .

أي أن الصوت ينعكس تبعاً لقوانين الإنعكاس التي تنص على :

1 - زاوية السقوط = زاوية الإنعكاس .

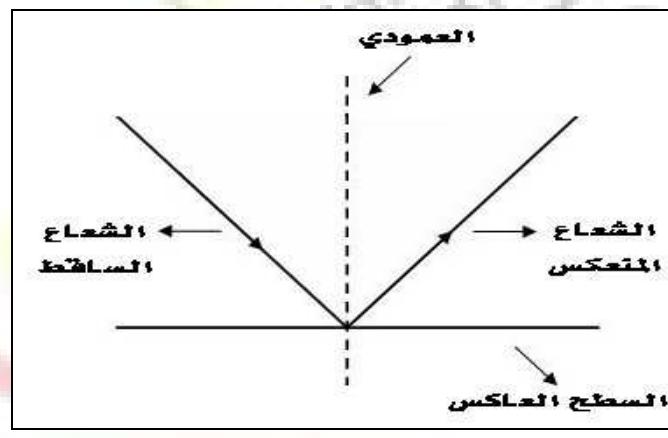
2 - الشعاع الصوتي الساقط والشعاع الصوتي المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس .

مع ملاحظة أن :

- الشعاع الصوتي هو : المستقيم الذي يدل على اتجاه إنتشار الموجات الصوتية .

- زاوية السقوط هي : الزاوية المحصورة بين اتجاه الشعاع الصوتي الساقط والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس .

- زاوية الإنعكاس هي : الزاوية المحصورة بين اتجاه الشعاع الصوتي المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس .



ثانياً: إنكسار الصوت

عند سقوط شعاع صوتي على سطح يفصل بين وسطين فإن جزءاً منه ينعكس إلى نفس الوسط تبعاً لقانون الإنعكاس بينما ينتقل الجزء الآخر إلى الوسط الثاني منحرفاً (منكسرًا) عن مساره المستقيم . ويعتمد إنكسار الصوت عند انتقاله من وسط إلى آخر على 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 إلى الوسط الثاني فإنه ينكسر نتيجة لتغير سرعة الصوت وتكون النسبة بين سرعة الصوت في الوسط الأول إلى 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 الإنكسار في الوسط الثاني هي θ فإن النسبة بين جيب زاوية السقوط في الوسط الأول إلى جيب زاوية الإنكسار في الوسط الثاني نسبة ثابتة لهذين الوسطين .

أي أن :

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

من 1 و 2 ينتج أن :

$$\boxed{\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \phi}{\sin \theta}}$$

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 الإنكسار θ وبالتالي ينكسر الصوت مقترباً من العمود . والعكس صحيح .

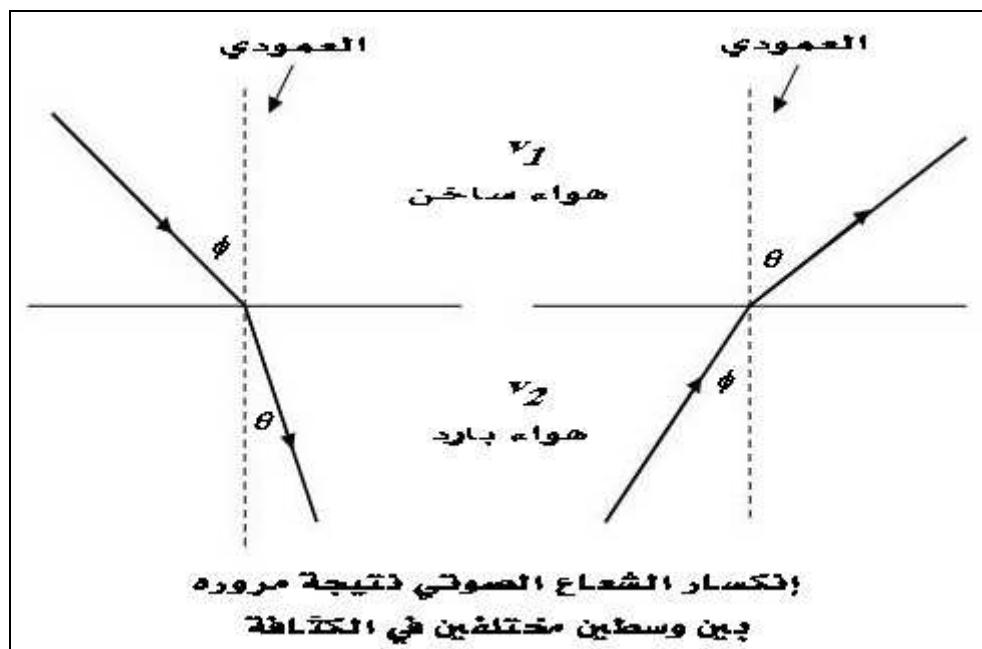
وينتلي يمكن تعريف "إنكسار الصوت" بأنه "تغير اتجاه الشعاع الصوتي عندما يجتاز السطح الفاصل بين وسطين مختلفين في الكثافة" .

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 إنتقال 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 إنتقال الصوت من الهواء إلى غاز الهيدروجين .



- يلاحظ أن سرعة الصوت في الغازات تقل كلما زادت كثافتها (أي أن سرعة الصوت تتناسب تناضباً عكسياً مع كثافة الغاز) .
- بينما في السوائل والأجسام الصلبة تتناسب سرعة الصوت تناضباً طرديةاً مع الكثافة (أي أن سرعة الصوت تزداد بزيادة الكثافة) .
- ♦ انكسار الموجات الصوتية يحدث بوضوح عند إنتقالها بين وسطين الفرق بين سرعتي الصوت فيما صغير .

ثالثاً : تداخل الصوت

التداخل هو ظاهرة موجية تنشأ من تراكم موجتين (أو أكثر) لهما نفس التردد والسرعة واتجاه الإنتشار 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 والسرعة .

- أن يكون خط إنتشارهما واحد أو بين إتجاههما زاوية صغيرة .

- والشكل الموضح في الكتاب المدرسي ص 27 يعرض طريقة لبيان ظاهرة التداخل بين موجات الصوت التي تتكون من تضاغطات وتخلخلات .

حيث يُبين الشكل مصدران S_1 , S_2 يُثثان موجات لها نفس التردد والسرعة ويمكن الحصول على هذين المصادرتين بتوصيل مضمرين صوت بنفس المصدر الكهربائي المتذبذب .

♦ ونلاحظ من الشكل :

- الأقواس المتصلة تمثل مواضع النهايات العظمى للتضاغطات C .

- الأقواس المتقطعة تمثل مواضع النهايات العظمى للتخلخلات R .

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

♦ ونتيجة لتراكم موجتين لهما نفس التردد والسرعة توجد بعض المناطق التي تلتقي فيها تضاغطات المصدر الأول مع تضاغطات المصدر الثاني أو تخلخلات المصدر الأول مع تخلخلات المصدر الثاني وجميعها يتتوفر لها الشرط التالي :

" فرق المسار يساوي أعداد صحيحة من الأطوال الموجية أي فرق المسار = λ حيث $m = 0, 1, 2, \dots$ " مما يؤدي إلى 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 تضاغطات 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 = $\lambda / 2$ " مما يؤدي إلى إنعدام أو ضعف في شدة الموجة (تداخل هدام) أي ضعف في شدة الصوت.

رابعاً : حيود الصوت

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

وحيود الصوت من الظواهر المألوفة فعلى 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 مباشرةً ليسمع الصوت إذ يمكنه سماع الصوت بغض النظر عن المكان الذي يقف فيه داخل هذه الغرفة فقد تكون شدة الصوت المسموع أكثر وضوحاً أمام الفتحة مباشرةً ولكن شدة الصوت تتغير من مكان لأخر في الغرفة الثانية . وانتشار الصوت في الغرفة الثانية خلف الفتحة (يكون في شكل مروحة أو على شكل مخروط) ويرجع إلى 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 الإتجاهات وفي خطوط مستقيمة .
- 2 - قابل للإنساك عند سقوطه على سطح عاكس حيث تكون زاوية السقوط = زاوية الإنعكاس .
- 3 - قابل للإنكسار عند إنتقاله من وسط إلى آخر نتيجة لاختلاف سرعته في الوسطين حيث يكون :
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \phi}{\sin \theta}$$
- 4 - تداخل الأصوات المتساوية في التردد والاسعة وينتتج عن التداخل تقوية في الشدة في بعض الموضع وإنعدام في الشدة في موضع آخر .
- 5 - يحيد الصوت عن مساره عند مروره في نفس الوسط من فتحة ضيقة مقاربة للطول الموجي .

♦ تراكم الموجات .

يمكن أن تترافق الموجات بحيث تكون الموجة المحصلة هي مجموع شدة الموجات . وفي حالة التقارب في التردد والاسعة فإن عملية التراكم تؤدي إلى نغمات متواقة .

إذا حركنا حبلًا مشدودًا بحيث تنطلق نبضة مثلاً نتيجة الحركة فإن هذه النبضة تستمرة حتى تصل إلى الطرف البعيد من الحبل . فإذا كان هذا الطرف مربوطاً في حلقة قابلة للانزلاق فإن الموجة المرتدة تكون موجة 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 تداخلًا بناءً وتعطى في الحالة الثانية تداخلًا هداماً .

♦ الموجات الموقوفة .

تنشأ الموجات الموقوفة من تراكم أو تداخل حركتين موجيتين لهما نفس التردد والسرعة لكنهما تنتشاران في اتجاهين متضادين .

فمثلاً إذا كان لدينا قطاراً مستمراً من الموجات المنتشرة على حبل مشدود في إتجاه وقطار آخر مستمر من الموجات المنتشرة في الإتجاه العكسي فإن هذه الموجات تتداخل لتكون شكلًا معيناً لجسيمات الحبل يبدو وكأنه لا يتحرك إلى اليمين ولا إلى اليسار ولكنه يتحرك عمودياً على الحبل .

- ♦ طرق الحصول على الموجات الموقوفة في حبل أو وتر !
 - بتحريك الحبل أو الوتر صعوداً وهبوطاً بشكل تبادلي من نهايته .
 - تثبيت الحبل أو الوتر من طرف وتحريكه حرفة توافقية بسيطة من الطرف الآخر .
 - جذب الحبل من الوسط بحيث تنطلق الموجات في اتجاهين متضادين فترتدان ثم تتقابلان .

♦ 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 المترتين والثلاثة أمتار ثابت 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 حتى يصل إلى البكرة فيرتد عنها . وتراكم الموجات الساقطة مع الموجات المنعكسة مكونةً الموجات الموقوفة وفيها ينقسم الخيط إلى :

1 - مناطق تكون فيها سعة الإهتزازة متساوية للصفر فتسمى كلاً منها بالعقدة .

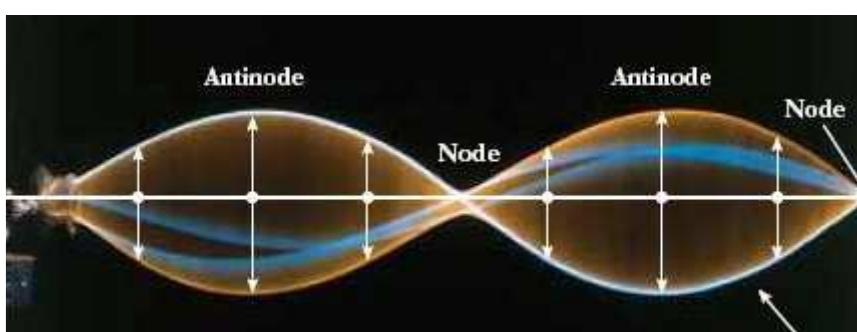
2 - مناطق تكون فيها سعة الإهتزازة أكبر مما يمكن فتسمى كلاً منها بالبطن .

وتقع البطون وكذلك العقد على مسافات متساوية .

مما سبق يمكن تعريف "الموجة الموقوفة" بأنها "الموجة التي تحتوي على عقد بينها بطنون" .

وتعرف "العقدة" بأنها "الموضع الذي تندفع فيه سعة الإهتزازة في الموجة الموقوفة" .

أما "البطن" فهي "الموضع الذي تبلغ فيه سعة الإهتزازة في الموجة الموقوفة نهاية عظمى" .



وألاحظ من الشكل السابق أن :

$$1 - \text{المسافة بين بطنين متتاليتين} = \frac{1}{2} \lambda \text{ موجة () .}$$

$$2 - \text{المسافة بين عقدتين متتاليتين} = \frac{1}{2} \lambda \text{ موجة () .}$$

$$3 - \text{المسافة بين عقدة ويطن متتاليين} = \frac{1}{4} \lambda \text{ موجة () .}$$

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 إلى اليمين بسرعة v فيمكن اعتبار أن الموجة ساكنة بينما تتحرك جسيمات الوتر في الإتجاه المعاكس إلى اليسار بسرعة v . فإذا أخذنا جزء من الوتر من قمة الموجة على هيئة قوس صغير من دائرة نصف قطرها R فيكون طول هذا القوس عبارة عن نصف القطر في الزاوية التي يحصرها أي :

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

كما بالشكل الموجود في الكتاب المدرسي ص 37 .

ويفرض 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) × طول هذا الجزء l (متر) .

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

وحيث أن هذا الجزء يتحرك على دائرة فإنه يُعاني من قوة مرکزية تُعطي من العلاقة التالية :

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

وهي تنشأ نتيجة قوة الشد في الوتر F_T . وتحليل قوة الشد المماسية عند طرفي القوس على يمين ويسار الجزء إلى مركبتها (الأفقية والرأسية) نلاحظ أن هناك قوة مقدارها $F_T \cos \theta$ إلى يمين الجزء وقوة متساوية لها إلى اليسار فتللاشي إدراهما 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 مرکزية 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 على :

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

ومن 2 يكون :

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

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

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

ويُلاحظ من العلاقة رقم 4 أنه كلما زاد الثقل المعلق (أي زادت قوة الشد في الوتر) كلما زادت سرعة إنتشار 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 إنتشار الموجات الموقوفة تتناسب طردياً مع الجذر التربيعي لقوة الشد في الوتر.

وحيث أن سرعة الموجة تتناسب طردياً أيضاً مع التردد حسب العلاقة $v = \lambda f$ لذا نجد أنه كلما زادت قوة الشد كلما زاد التردد وذلك لنفس طول الوتر.

♦ العوامل التي تتوقف عليها سرعة إنتشار الموجات المستعرضة في الوتر !

1 - قوة شد الوتر F_T : حيث تزداد سرعة إنتشار 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 الإنتشار للموجة تتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي لكتلة وحدة الأطوال . وبالتالي تقل سرعة إنتشار 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 على طوله الذي يمثل خط إنتشار الموجة لذا يُعتبر إهتزاز الوتر إهتزازاً مستعراً .

♦ كيفية إنتشار الموجة المستعراة في الأوتار !

1 - عند طرق الوتر من منتصفه تحدث فيه موجات مستعراة وهذه الأمواج تنتقل في جزأى الوتر حتى تصل إلى نهايتيه المثبتتين .

2 - تعكس الأمواج المستعراة عند النهايتيين المثبتتين للوتر .

3 - تراكب أو تداخل الحركتين الموجيتين الساقطة والمنكسة مكونة الموجات الموقوفة حيث تكون دائمًا عقدتين عند النهايتيين المثبتتين .

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

♦ تعين تردد نغمة صادرة من وتر .

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

$$l \leftarrow \frac{\lambda}{2} \leftarrow \text{طول القطاع} = \text{المسافة بين عقدتين متناظرتين}$$

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

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

$$l \leftarrow \frac{l}{n} \leftarrow \text{طول القطاع} =$$

• من 1 و 2 نحصل على :

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

• وحيث أن سرعة إنتشار الموجات تُعطى من العلاقة :

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

• ولكن سرعة إنتشار الموجات المستعراة في وتر يمكن تعديتها من العلاقة :

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

• من 3 و 4 نجد أن :

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

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

♦ النغمات التي يصدرها الوتر !

عندما يهتز الوتر فإنه يصدر نوعين من النغمات :

1 - النغمة الأساسية للوتر (التوافقية الأولى) :

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

• خواص النغمة الأساسية للوتر :

1 - يهتز الوتر كقطعة واحدة عندما يصدرها .

2 - يتكون عند طرفي الوتر عقدتين وفي المنتصف بطن ، أي أن عدد القطاعات التي يهتز بها الوتر $n = 1$.

3 - يكون ترددتها أقل تردد يمكن أن يهتزبه 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 :

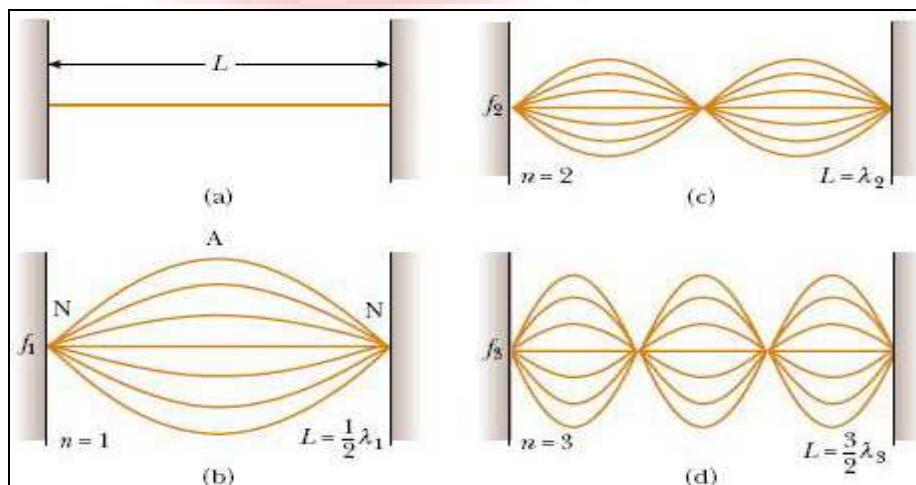
تعرف " النغمة الفوقية لوتر مهتز " بأنها " النغمة التي يصدرها الوتر عندما يهتز على هيئة قطاعين أو أكثر ويكون ترددتها مضاعفاً صحيحاً لتعدد النغمة الأساسية " .

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

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

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

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



- ويدلّك تكون النسبة بين تردد النغمة الأساسية لوتر والنغمات الفوقية له أي $v_1 : v_2 : v_3$ هي على الترتيب $1 : 2 : 3$.
 - ويمكن أن تتواجد هذه النغمات في آن واحد إذا جذب الوتر وترك يتذبذب وتسمى هذه النغمات أيضاً بالأنماط.
 - أما إذا اتصل 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: $v_n = n v_1$.
- ♦ جدول يوضح العلاقة بين النغمة الأساسية والنغمات الفوقية الصادرة عن وتر مهتز:

| وجه المقارنة | الأساسية | النغمات الفوقية | النغمات الفوقية |
|---------------------|---|---|---|
| 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 |

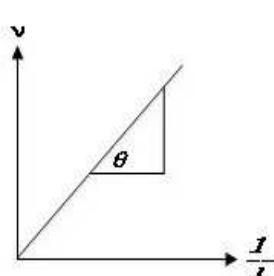
♦ العوامل التي يتوقف عليها تردد النغمة الأساسية لوتر:
 من معادلة تردد النغمة الأساسية التالية $v_1 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F_T}{m}}$ يمكن إستنتاج أن تردد النغمة الأساسية يتوقف على العوامل التالية:

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 كل التردد (أي يصبح الصوت غليظ).

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

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

ويرسم العلاقة البيانية بين v على المحور الرأسي و $\frac{l}{l}$ على المحور الأفقي
 تنتج علاقة خط مستقيم يمر بنقطة الأصل . ويعطي الميل من العلاقة :



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

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

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

وحيث أن $n = I$ للنجمة الأساسية لها يكون :

$$\frac{v}{2} = v l \Rightarrow v = 2 v l$$

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 يتتناسب تردد الوتر تناسباً عكسيّاً مع الجذر التربيعي لكتلة وحدة الأطوال منه . وبالتالي يقل تردد الوتر بزيادة كتلة وحدة الأطوال عند ثبوت قوة الشد وطول الوتر .

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

تعليلات هامة

1 - ينكس الصوت عند إنتقاله من وسط لا يختلف عنه في الكثافة .

ذلك نتيجة لتغير سرعة موجات الصوت عند إنتقالها من وسط آخر .

2 - ينكس الصوت مقترباً من العمود عند إنتقاله 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 θ أكبر من زاوية الإنكسار θ فينكس 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 على سطح الماء تنعكس ولا ينكس 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 متر بزيادة قوة الشد .

ذلك لأن سرعة انتشار الأمواج المستعرضة في الوتر تناسب 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 نفمه الأساسية .

لأنه من المعادلة $\frac{n}{2l} \sqrt{\frac{F_T}{m}} = v$ ثلاحظ أن التردد v يعتمد على عدد القطاعات n . ولما كان الوتر

عندما يصدر نفمه الأساسية فإنه يهتز ككله كقطعة واحدة $L = n$ 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 على فتحة صغيرة فإنها تحيد عن إتجاهها الأصلي وينتشر الصوت في الغرفة الثانية كمروحة أو في شكل مخروط .



المُصْطَلُ الشَّالِعُ

"النحو"

إعداد الأستاذ /
رجيب مصطفى

الوحدة الأولى " الموجات " الفصل الثالث " الضوء "

الضوء

❖ مقدمة :

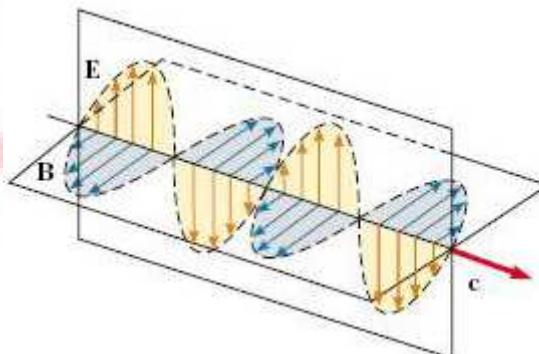
يُعتبر الضوء أحد صور الطاقة التي لا يستغني الإنسان عنها . وترجع أهميته لحياة الإنسان في أنه :

- 1 - ضروري لرؤية الأجسام التي حولنا .
- 2 - يساعدنا على السير والقراءة ويساعد الطبيب عند فحص المريض أو إجراء العمليات الجراحية .
- 3 - يساعد الضوء النبات على القيام بعملية البناء الضوئي التي تساعد على النمو .

ويختلف الضوء عن الصوت في أنه لا يحتاج إلى وسط مادي لينتشر فيه . فالضوء جزء من مدي واسع من الموجات التي تسمى بالموجات الكهرومغناطيسية التي تنتشر جميعها في الفراغ بسرعة ثابتة c قدرها 10^8 م / ث . وتبين هذه الموجات فيما بينها في تردداتها معطية ما يسمى بالطيف الكهرومغناطيسي الذي يشمل على 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 الأسماء الصفراء) ومجالت مغناطيسية B (التي تمثلها الأسماء الزرقاء) مهتزة بتردد v ومتتفقة في التطور ومتعاونة على بعضها البعض من ناحية ومتعاونة على إتجاه إنتشارها من ناحية أخرى (كما في الشكل التالي) .

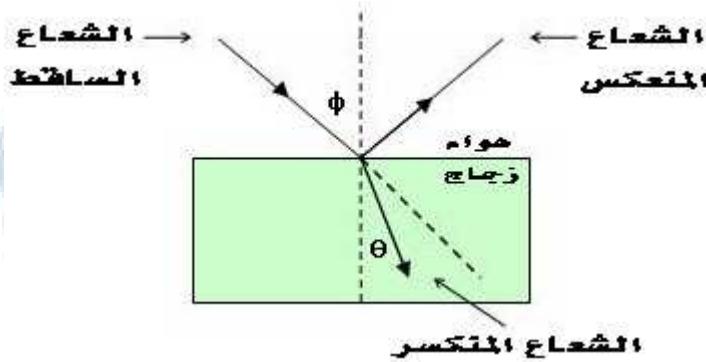


• إنتشار الضوء في خطوط مستقيمة :

ينتشر الضوء في الوسط المتجلانس في خطوط مستقيمة في جميع الإتجاهات بدليل تكون الظل لأي جسم يعترض طريق الأشعة الضوئية .

♦ إنعكاس الضوء وإنكساره .

ينتشر الضوء في جميع الإتجاهات في خطوط مستقيمة ما لم يصادفه وسط عائق . فإذا صادفه هذا الوسط العائق فإنه يعني إنعكاساً أو إنكساراً أو إمتصاصاً 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 لاختلاف سرعة الضوء في الوسطين) مع إهمال الجزء الممتص . فمثلاً في الشكل التالي :



نجد أنه يحدث للشعا^ن الساقط إنعكاس وإنكسار عندما يسقط على سطح يفصل بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية .

♦ في حالة الإنعكاس : يخضع الشعا^ن الضوئي للقانونين التاليين :

- 1 - زاوية السقوط = زاوية الإنعكاس .
- 2 - الشعا^ن الضوئي الساقط والشعا^ن الضوئي المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس .

♦ أما في حالة الإنكسار : فإنه يخضع للقانونين التاليين :

- 1 - الشعا^ن الضوئي الساقط والشعا^ن الضوئي المنكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح الفاصل .
- 2 - النسبة بين جيب زاوية السقوط ϕ في الوسط الأول إلى جيب زاوية الإنكسار 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 الإنكسار النسبي من الوسط الأول إلى الوسط الثاني" ويرمز لها بالرمز n_2 حيث :

$$\frac{\sin \phi}{\sin \theta} = \frac{v_1}{v_2} = n_2 \rightarrow I$$

• نتائج هامة :

1 - تُعد سرعة الضوء في الفراغ أو الفضاء أو الهواء c من الثوابت الكونية وهي تساوي 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 :

$$_1 n_2 = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{at } v_1 = c \quad \& \quad v_2 = v \quad \Rightarrow \quad _1 n_2 = \frac{c}{v} = n$$

ويسمى معامل الإنكسار النسبي n_1 في هذه الحالة بـ "معامل الإنكسار المطلق للوسط" ويرمز له بالرمز n حيث :

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

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 :

$$\begin{aligned} n &= \frac{c}{v} \Leftrightarrow v = \frac{c}{n} \Rightarrow v_1 = \frac{c}{n_1} \quad \& \quad v_2 = \frac{c}{n_2} \\ \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} &= \frac{n_2}{n_1} \quad \text{but} \quad _1 n_2 = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \phi}{\sin \theta} \\ \Rightarrow \quad &\boxed{_1 n_2 = \frac{n_2}{n_1}} \quad \rightarrow 3 \\ \Rightarrow \quad \frac{n_2}{n_1} &= \frac{\sin \phi}{\sin \theta} \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{n_1 \sin \phi = n_2 \sin \theta} \quad \rightarrow 4 \end{aligned}$$

وهو ما يُعرف بقانون "سنل" الذي ينص على 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 :

$$_1 n_2 = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \phi}{\sin \theta} = \frac{n_2}{n_1}$$

ومن المعادلة رقم 3 يمكن استنتاج نتائج هامة هي :

$$_1 n_2 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{\frac{n_1}{n_2}} = \frac{1}{_2 n_1} \quad \Leftrightarrow \quad _1 n_2 = \frac{1}{_2 n_1}$$

3 - يمكن استخدام 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 .



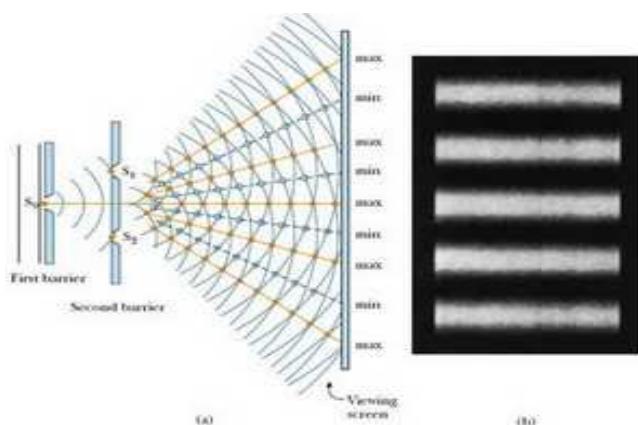
4 - إذا سقط شعاع ضوئي على سطح عاكس وكان عمودياً عليه فإنه ينعكس على نفسه لأن كلاً من زاويتي السقوط والإنعكاس تساوي صفر .

تعريف هامة

- 1 - إنعكاس الضوء هو "إرتداد الأشعة الضوئية إلى نفس الوسط عندما تُقابل سطحاً عاكساً" .
- 2 - الشعاع الساقط هو "الشعاع الذي يصل إلى السطح العاكس" .
- 3 - الشعاع المنعكس هو "الشعاع الذي يرتد عن السطح العاكس" .
- 4 - زاوية السقوط هي "الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس" .
- 5 - زاوية الإنعكاس هي "الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على 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 على 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 نفاذته من السطح الفاصل" .
- 10 - زاوية الإنكسار هي "الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل" .

♦ تداخل الضوء .

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

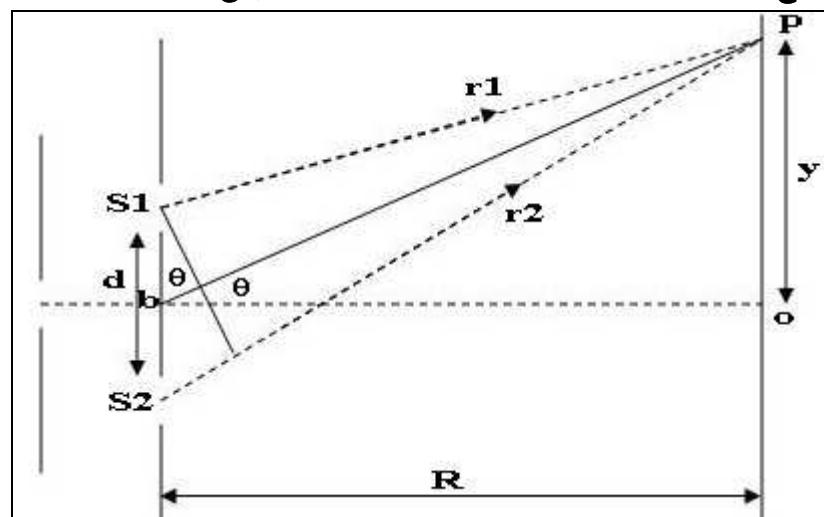


حيث يتكون الجهاز المستخدم من مصدر ضوئي أحادي الطول الموجي يقع على بعد مناسب من حاجز به فتحة مستطيلة ضيقة S تمر خلالها موجات أسطوانية نحو حاجز آخر به فتحتان مستطيلتان ضيقتان S_1 , S_2 تعملان كشق مزدوج .

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 والاسعة ولها نفس الطور) حيث تنتشر الحركتان الموجيتان الصادرتان منهما على شكل موجات أسطوانية خلف الحاجز متخذة طريقها نحو الحال المعد لاستقبالها .

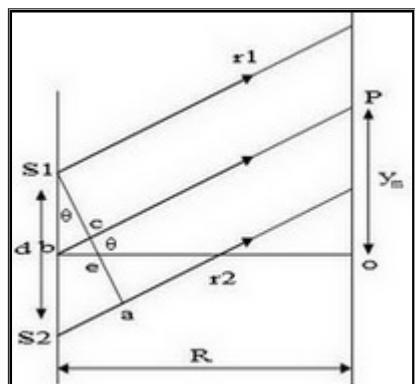
وعلي هذا الحال تراكم أو تداخل الحركتين الموجيتين القادمتين إليه من S_1 , S_2 . ونتيجة لهذا التراكم تظهر مجموعة التداخل التي تبدو كمجموع من المناطق المستقيمة المتوازية وهي عبارة عن مناطق مضيئة تتخللها مناطق أخرى مظلمة فيما يُعرف بـ " هدب التداخل " .

والشكل التالي يوضح أن فرق المسار يحدد هدب التداخل في تجربة ينجل :



تفسير التداخل في تجربة ينجل

♦ يمكن تفسير هدب التداخل في تجربة ينجل على النحو التالي :
إذا كان بعد الحال عن الشق المزدوج R كبيراً نسبياً بالمقارنة بمسافة بين فتحتي الشق المزدوج d (أي $R \gg d$) فإنه يمكن اعتبار الشعاعين الصادرين من فتحتي الشق المزدوج في طريقهما إلى الحال في حالة توازي (وهذا إفتراض صحيح) لذا يمكن استخدام الشكل التالي :



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

إذا في المثلث S_1aS_2 يكون :

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

أي أن :

$$\Delta r = r_2 - r_1 = S_2 a = d \sin \theta$$

$$\Delta r = d \sin \theta \rightarrow 1$$

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 :

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

فإن هذه الأشعة تتلاقي لتكون هدية مضيئة .

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

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

فإن هذه الأشعة تتلاقي لتكون هدية مظلمة .

لزيادة المسافة بين هذتين من نفس النوع على الحال

♦ نعود مرة أخرى إلى الشكل السابق :

"الفكرة في هذا الشكل هو كيفية إثبات أن الزاوية ($p\hat{b}o$) أو الزاوية ($c\hat{b}e$) مساوية للزاوية θ "
فحديث أن الأشعة r_2, bp, r_1 متوازية وأن $S_1 a$ عمودي على r_2 فإنه لابد أن يكون عمودياً على bp أيضاً
إذا يوجد لدينا مثلثين قائمين هما $S_1 cb$ القائم في c والمثلث bce القائم في c أيضاً .
أولاً المثلث $S_1 cb$ فيه :

$$(b\hat{S}_1 c) = \theta \quad (S_1 \hat{c}b) = 90^\circ \Rightarrow (S_1 \hat{b}c) = 90^\circ - \theta$$

لكن :

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

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

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

ثانياً المثلث pbo فيه :

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

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

وبالإضافة إلى الإعتبار السابق بأن $d >> R$ يمكن اعتبار أن $\lambda >> d$ 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 الميليمتر 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 التقرير التالي :

$$\tan \theta \approx \sin \theta \approx \theta$$

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 للهدب المضيئة. أما بالنسبة للهدب المظلمة فإنها تصبح على الصورة :

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

حيث m تسمى بـ "رتبة الهدبة".

من 5 و 6 يتبين أن المسافة بين أي هدبتين متتاليتين من نفس النوع y تتبع 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 لاستقبال 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 . وعلى هذا الأساس إذا سقط ضوء أحادي اللون على فتحة دائيرية ضيقة من حاجز فإننا نتوقع تكون بقعة دائيرية مضيئة محددة على الحائل الموجود خلف الفتحة .

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

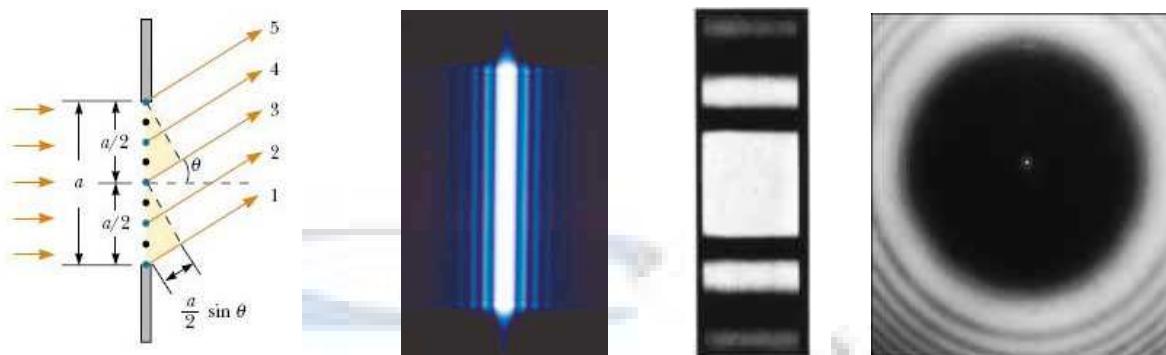
♦ تفسير ما حدث :

1 - عندما يمر الضوء بالقرب من حافة جسم أو من خلال فتحة ضيقة مقاربة لطوله 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 نفادها من الفتحة تتدخل أو تترافق مع بعضها وت تكون مجموعة الحيود على 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 إلى تراكب الموجات وتكون هدب مضيئة وهدب مظلمة " .

أي أن الحيود يظهر بوضوح إذا كان الطول الموجي مقارياً لأبعاد فتحة الحال والعكس صحيح . كما يجب ملاحظة أن شكل مجموعة الحيود يختلف باختلاف شكل الفتحة التي يحيط بها الضوء .



♦ الضوء حركة موجية .

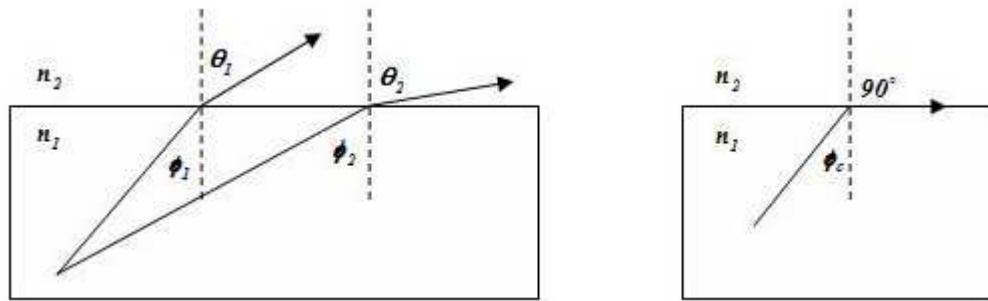
مما سبق يتضح أن الضوء لابد وأن يكون حركة موجية لأنه يتمتع بخصائص الموجات التي يمكن إيجازها في الآتي :

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

♦ الزاوية الحرجية .

- 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 (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 .
- إذاً 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 معنى أن الزاوية الحرجة للماء = 49° ؟

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

♦ العلاقة بين الزاوية الحرجة ومعامل الإنكسار؟

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

فيتطبيق قانون سنل يكون :

$$n_1 \sin \phi = n_2 \sin \theta \Rightarrow n_1 \sin \phi_c = n_2 \sin 90^\circ \Rightarrow n_1 \sin \phi_c = n_2$$

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

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

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

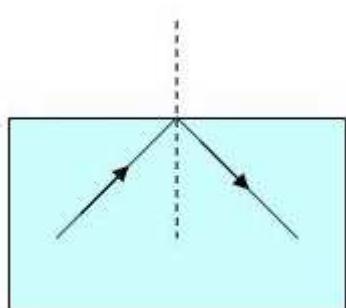
وعندما يكون الوسط الثاني الأقل كثافة ضوئية هو الهواء يكون :

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

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

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

♦ الإنعكاس الكلي .



إذا إنترل شعاع ضوئي من وسط أكبر كثافة ضوئية إلى وسط أقل كثافة ضوئية وكانت زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة فإن الشعاع لا ينحدر إلى الوسط الأقل كثافة بل يرتد إلى نفس الوسط الأول الأكبر بحيث تكون زاوية السقوط = زاوية الإنعكاس ويقال أن الشعاع الضوئي إنعكس إنعكاساً كلياً (في نفس الوسط) وذلك على خلاف أي زاوية سقوط آخر أقل من الزاوية الحرجة حيث ينحدر جزء وينعكس الآخر .

♦ تطبيقات على الإنعكاس الكلي :

١ .. الألياف الضوئية أو البصرية .

الليفة الضوئية عبارة عن أنبوية من مادة شفافة (الزجاج الشفاف أو البلاستيك) تثنى في أي هيئة . 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) حتى يخرج من الطرف الآخر .

.. استخدامات الألياف الضوئية ؟

- أ - نقل الضوء إلى أماكن يعب 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 والإتصالات التليفونية .

.. كيفية عمل الليفة الضوئية ؟

إذا كان لدينا أنبوية مجوفة ونظرنا من أحد طرفيها لنرى جسمًا مضيئًا في الطرف الآخر فإنه يمكن رؤيته . أما إذا حدث إثناء للأنبوية المجوفة فلا يمكن رؤية الجسم المضيء .

وفي هذه الحالة كيف يمكن رؤيته ؟

إذا وضعنا مراياً عاكسة عند مواضع سقوط الشعاع الضوئي فإننا نستطيع في هذه الحالة رؤية الجسم المضيء . وبالمثل يمكن استخدام الألياف الضوئية عند سقوط الشعاع الضوئي بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة فإنه تحدث إنعكاسات كلية متتالية ليخرج الشعاع بآخر طاقته من الصرف الآخر رغم إثناء الأنبوية .

١١.. المنشور العاكس .

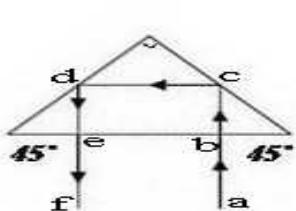
نظراً لأن الزاوية الحرجية بين الزجاج الذي معامل إنكساره المطلق 1.5 والهواء حوالي 42° فإن منشوراً ثلاثياً من الزجاج قائم الزاوية ومتساوي الساقين (أي زواياه $45^\circ, 45^\circ, 90^\circ$) يستخدم في تغيير مسار حزمة ضوئية بمقدار 90° أو 180° . ومثل هذا المنشور يستخدم في الغواصات وفي مناظير الميدان.

• تغيير مسار الشعاع الضوئي بمقدار 90° .

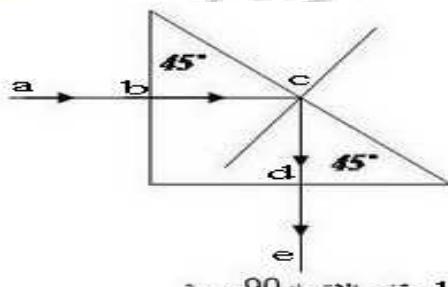
إذا سقط شعاع ضوئي عمودياً على أحد وجهي الزاوية القائمة مثل الشعاع ab في الشكل الأول فإنه ينفذ على إستقامته ثم يسقط على الوجه المقابل للقائمة بزاوية سقوط 45° (وهي أكبر من الزاوية الحرجية من الزجاج إلى الهواء) لذا ينعكس إنعكاساً كلياً وينفذ في الإتجاه de . وبذلك يتغير مسار الشعاع الضوئي بزاوية قدرها 90° ويُستفاد 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 على الضلع المقابل للزاوية القائمة فإنه ينعكس إنعكاساً كلياً مرتين متتاليتين عند c, d لأن زاوية السقوط تكون 45° أي أكبر من الزاوية الحرجية وبالتالي يخرج الشعاع في الإتجاه ef . وبذلك يتغير مساره 180° .



٢ - تغيير الإتجاه 180 درجة



١ - تغيير الإتجاه 90 درجة

❖ تعليمات هامة :

- ١ - يفضل المنصور العاكس عن السطح المعدني العاكس أو المرآء المستوية .
ذلك لسبعين : ❖ لأن الضوء ينعكس في المنصور إنعكاساً كلياً وبالتالي لا يسبب فقد يذكر من شدة الضوء الساقط عليه . ومن النادر أن يتواجد السطح المعدني العاكس الذي تبلغ كفائه 100% .
❖ يتعرض السطح المعدني العاكس والمرآء إلى التلف بكثرة الإستعمال ولا يحدث ذلك في المنصور .
- ٢ - ثغطي أوجه المنصور العاكس التي يدخل منها أو يخرج منها الضوء بغشاء رقيق من مادة غير عاكسه معامل إنكسارها أقل من معامل إنكسار الزجاج مثل الكريوليت (فلوريد الألومينيوم وفلوريد الماغنسيوم) .
وذلك لتجنب فقد أي نسبة أو أي جزء من شدة الضوء عند دخوله أو خروجه من المنصور .

١٢.. السراب .

السراب ظاهرة طبيعية تحدث في الصحراء أو الطرق المرصوفة وقت الظهيرة وتري فيها صور الأجسام البعيدة كما لو كانت منعكسة على 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 بعيدة ومعنى ذلك أن درجة الحرارة تقل كلما ارتفعنا إلى أعلى .
- 2 - تقل كثافة طبقات الهواء الملامسة لسطح الأرض عن كثافة الطبقات التي تعلوها أي أنه كلما ارتفعنا إلى أعلى تزيد كثافة طبقات الهواء العليا أكبر من التي تحتها .
- 3 - الأشعة الصادرة من جسم بعيد (قمة شجرة مثلاً) تنتقل من طبقة عليها إلى طبقة تحتها فتنكسر مبتعدة عن العمود .
- 4 - يستمر إنسار الأشعة الضوئية نتيجة انتقالها بين طبقات الهواء وتزداد زاوية السقوط تدريجياً حتى تصبح أكبر من الزاوية الحرجة لطبقة معينة فينعكس الشعاع الضوئي إنساساً كلباً متخدًا مساراً منحنياً إلى أعلى حتى يصل إلى العين فتري العين صورة وهمية لقمة النخلة على إمتداد الأشعة الوالصة إليها . ولذلك تبدو صور الأجسام كما لو كانت منعكسة على سطح الماء . فيظن الناظر أن هناك ماء .

❖ الإنحراف في المنشور الثلاثي .

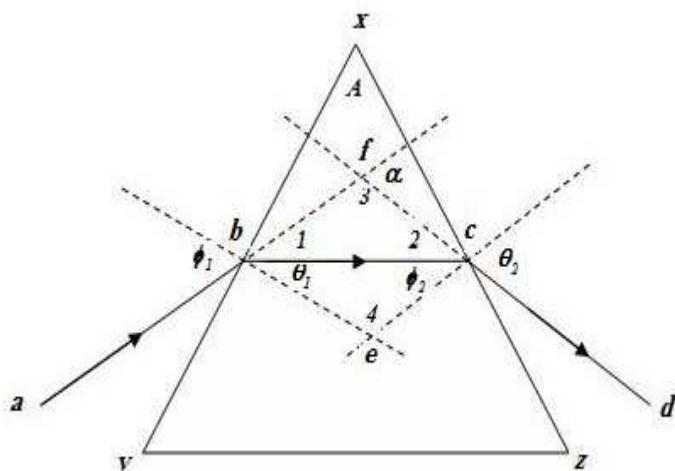
المنشور الثلاثي : عبارة عن كتلة من الزجاج الشفاف لها قاعدتان متوازيتان كل منهما على شكل مثلث ويصل بين القاعدتين ثلاثة أوجه كل منهم على شكل مستطيل .
وعند استخدام المنشور الثلاثي يوضع على إحدى قاعدتيه المثلثين ويسقط الضوء على أحد أوجه المنشور .

- مسار الشعاع الضوئي في المنشور الثلاثي :

عندما يسقط الشعاع الضوئي ab على الوجه xy للمنشور الثلاثي المبين بالشكل فإن هذا الشعاع ينكسر في الإتجاه bc مقترباً من العمود لأنه ينتقل من وسط أقل كثافة إلى وسط أكبر كثافة وتكون زاوية السقوط هي ϕ_1 وزاوية الإنسار هي θ_1 .

الشعاع bc يسقط على الوجه الثاني xz فينكسر عند خروجه إلى الهواء مبتعداً عن العمود ويتخذ المسار cd لأنه ينتقل من وسط أكبر إلى وسط أقل كثافة وتكون زاوية السقوط من الزجاج إلى الهواء هي ϕ_2 وزاوية الخروج هي θ_2 .

نستنتج من ذلك أن الشعاع الضوئي في المنشور الثلاثي ينكسر مررتين على الوجهين المتقابلين xy, xz ونتيجة لذلك ينحرف الشعاع عن مساره الأصلي بزاوية تعرف بـ " زاوية الإنحراف α " .



إذا " زاوية الانحراف α " هي " الزاوية المحصورة بين امتدادي الشعاع الساقط والشعاع الخارج " .
وتعرف " زاوية رأس المنشور A " بأنها " الزاوية المحصورة بين وجهي المنشور " .
قوانين المنشور الثلاثي :

الشكل السابق فيه :

$$\text{بالتقابل بالرأس .} \quad \phi_1 = \theta_1 + \hat{I}$$

$$\Rightarrow \hat{I} = \phi_1 - \theta_1$$

$$\text{بالتقابل بالراس .} \quad \theta_2 = \phi_2 + \hat{2}$$

$$\Rightarrow \hat{2} = \theta_2 - \phi_2$$

المثلث bcf فيه :

$$\hat{I} + \hat{2} + \hat{3} = 180^\circ \Rightarrow \hat{3} = 180^\circ - \hat{I} - \hat{2}$$

$$\Rightarrow \hat{3} = 180^\circ - \phi_1 + \theta_1 - \theta_2 + \phi_2 \rightarrow 1$$

لأنها زاوية مستقيمة . $\hat{3} + \alpha = 180^\circ$

$$\Rightarrow \hat{3} = 180^\circ - \alpha \rightarrow 2$$

من 1 و 2 نحصل على :

$$-\alpha = -\phi_1 + \theta_1 - \theta_2 + \phi_2 \Rightarrow \alpha = \phi_1 - \theta_1 + \theta_2 - \phi_2 \Leftrightarrow \boxed{\alpha = \phi_1 + \theta_2 - (\theta_1 + \phi_2)}$$

في الشكل الرباعي $xbec$ فيه :

$$x\hat{b}e = x\hat{c}e = 90^\circ \Rightarrow A + \hat{4} = 180^\circ$$

المثلث ebc فيه :

$$\hat{4} = 180^\circ - (\theta_1 + \phi_2) \Rightarrow A = 180^\circ - \hat{4} = 180^\circ - 180^\circ + (\theta_1 + \phi_2)$$

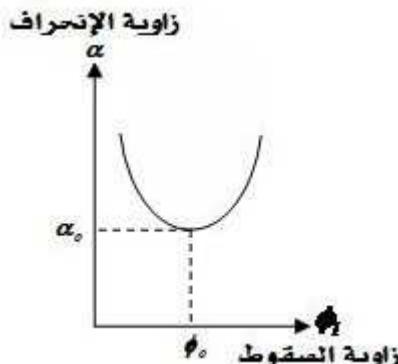
$$\Rightarrow \boxed{A = \theta_1 + \phi_2} \rightarrow 3$$

وبالتالي يكون :

$$\Rightarrow \boxed{\alpha = \phi_1 + \theta_2 - A} \rightarrow 4$$

أي أن زاوية الانحراف α في منشور ثلاثي زاوية رأسه A تتوقف على زاوية السقوط ϕ_1 .

ويمكن عملياً بيان أن زاوية الانحراف تتناقص تدريجياً مع إزدياد زاوية السقوط حتى تصل زاوية الانحراف إلى حد معين يُعرف بـ " النهاية الصغرى للانحراف " بعده تأخذ زاوية الانحراف في الإزدياد تدريجياً مع إزدياد زاوية السقوط . كما في الشكل التالي .



• خواص وضع النهاية الصغرى للانحراف :

1 - زاوية السقوط = زاوية الخروج أي أن : $\phi_1 = \theta_2$.

2 - زاوية الإنكسار = زاوية السقوط الثانية أي أن : $\theta_1 = \phi_2$.

3 - الشعاع المنكسر يكون موازياً لقاعدة المنشور .

ويمكن تعريف "وضع النهاية الصغرى للإنحراف في منشور ثلاثي" بأنه "الحالة التي تكون فيها زاوية الإنحراف أصغر ما يمكن كما أن زاوية السقوط = زاوية الخروج .

♦ العلاقة بين زاوية النهاية الصغرى للإنحراف α_o وزاوية رأس المنشور A ومعامل الإنكسار n :
عند وضع النهاية الصغرى للإنحراف يكون :

$$\phi_1 = \theta_2 = \phi_o \quad \theta_1 = \phi_2 = \theta_o \quad \alpha = \alpha_o$$

وبالتعويض في المعادلات 3 و 4 نحصل على :

$$A = \theta_1 + \phi_2 = 2\theta_o \quad \Leftrightarrow \quad A = 2\theta_o \quad \Rightarrow \quad \theta_o = \frac{A}{2}$$

$$\alpha_o = \phi_1 + \theta_2 - A = 2\phi_o - A \quad \Leftrightarrow \quad \alpha_o = 2\phi_o - A \quad \Rightarrow \quad \phi_o = \frac{\alpha_o + A}{2}$$

وحيث أن معامل الإنكسار للمنشور يعطي من العلاقة :

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

وهي وضع النهاية الصغرى للإنحراف يكون :

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

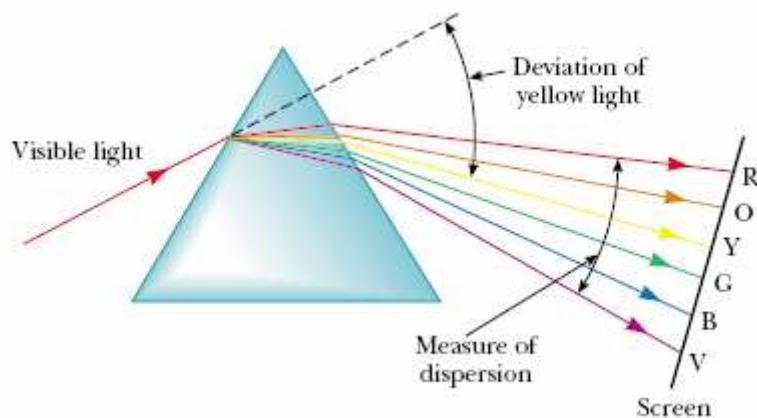
وبالتعويض عن قيم θ_o , ϕ_o نحصل على :

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

- ما يعني أن زاوية النهاية الصغرى للإنحراف في منشور ثلاثي = 38° .
معني ذلك أن أصغر زاوية بين إمتدادي الشعاعين الساقط والخارج من المنصور الثلاثي = 38° وعندها تكون زاوية السقوط مساوية لزاوية الخروج .

♦ تفريقي الضوء بواسطة المنصور الثلاثي :

من المعادلة السابقة يتبين أن تغير معامل الإنكسار يتبعه تغير في قيمة زاوية النهاية الصغرى للإنحراف .
فيزيادة معامل الإنكسار تزداد زاوية النهاية الصغرى للإنحراف والعكس صحيح (علاقة طردية).
ونظراً لأن معامل الإنكسار يتوقف على الطول الموجي (معامل الإنكسار يتتناسب تناوباً عكسياً مع الطول الموجي) فإن زاوية النهاية الصغرى للإنحراف تتوقف بدورها على الطول الموجي .
لذلك إذا أسقطنا حزمة من الضوء الأبيض على منشور ثلاثي في وضع النهاية الصغرى للإنحراف فإن الضوء الخارج من المنصور يتفرق إلى ألوان الطيف المعروفة وهي على الترتيب (الأحمر - البرتقالي - الأصفر - الأخضر - الأزرق - النيجي - البنفسجي) . كما في الشكل التالي :



ومن الشكل ثللاحظ أن :

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

❖ المنشور الرقيق :

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

- شروط المنصور الرقيق :

- 1 - لا تزيد زاوية رأسه عن 10 درجات .
- 2 - لا تزيد زاوية السقوط عن 10 درجات .

❖ الإنحراف في المنصور الرقيق :

المنصور الرقيق يكون دائماً في وضع النهاية الصفرى للإنحراف لذا يحسب معامل انكساره من العلاقة :

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

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

$$\sin \theta \approx \theta$$

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

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

$$\tan \theta \approx \sin \theta \approx \theta$$

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

وبالتالي يكون :

$$n = \frac{\frac{\alpha_o + A}{2}}{A} = \frac{\alpha_o + A}{A} \Rightarrow n = \frac{\alpha_o + A}{A}$$

$$\Rightarrow An = \alpha_o + A \Rightarrow \alpha_o = A(n - 1)$$

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

- 1 - زاوية رأس المنشور .
- 2 - معامل الإنكسار مادة المنشور .

♦ قوة التفريقي اللوني للمنشور الرقيق .

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

وتكون زاوية إنحراف الشعاع الأزرق $(\alpha_o)_b$ أكبر من زاوية إنحراف الشعاع الأحمر $(\alpha_o)_r$ حيث :

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

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

و تسمى الزاوية المحصورة بين الشعاع الأزرق والشعاع الأحمر بـ " الإنحراف الزاوي بينهما " أي أن :

$$(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r = A(n_b - n_r) \rightarrow I$$

تعريف " الإنحراف الزاوي بين الشعاعين الأزرق والأحمر " هو " الزاوية المحصورة بين الشعاعين الأزرق والأحمر عند خروجهما من المنصور " .

- ما يعني أن الإنحراف الزاوي في منشور رقيق = 0.096 درجة ؟

يعني ذلك أن الزاوية المحصورة بين الشعاعين الأزرق والأحمر عند خروجهما من المنصور = 0.096 درجة .

وحيث أن الضوء الأصفر هو الذي يتوسط الضوئين الأزرق والأحمر فإنه يمكن تعريف زاوية إنحرافه في المنصور الرقيق من المعادلة :

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

وبقسمة المعادلة 1 على المعادلة 2 ينتج أن :

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

وهذا المقدار يسمى بـ " قوة التفريقي اللوني " ويرمز له بالرمز ω_o .

أي أن :

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

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

وتعُرف " قوة التفريقي اللوني " بأنها " النسبة بين الإنحراف الزاوي بين الشعاعين الأزرق والأحمر وزاوية إنحراف الضوء الأصفر ".

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

تعليلات هامة

1 - معامل الإنكسار المطلق لوسط أكبر دائمًا من الواحد الصحيح ؟
لأن سرعة الضوء في الفراغ أو الهواء أكبر من سرعة الضوء في أي وسط آخر . وحيث أن معامل الإنكسار المطلق يعطي من العلاقة $\frac{c}{v} = n$ إذا 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 يعطي من العلاقة $\frac{n_2}{n_1} = n$ 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) إلى 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 استخدام الألياف الضوئية في نقل الضوء وتوجيهه إلى الأماكن التي يصعب الوصول إليها من الجهاز الهضمي ؟

لأنه : أ - عندما يدخل الضوء من أحد طرفي الليفة فإنه يعني إنعكاسات كلية متتالية (حيث تكون زاوية السقوط على أي جزء من الجدار أكبر من الزاوية الحرجة) حتى يخرج من الطرف الآخر .
ب - يمكن أن تثنى الليفة الضوئية على أي هيئة .

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

لأن معامل الإنكسار n مادة المنشور يعطي من العلاقة $\frac{\sin \phi_1}{\sin \theta_1} = n = \frac{\sin \theta_2}{\sin \phi_2}$ وفي وضع النهاية الصغرى

للإنحراف تكون زاوية السقوط ϕ_1 = زاوية الخروج θ_2 وبالتالي تكون زاوية الإنكسار 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 للإنحراف؟

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

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

لأن زاوية الإنحراف للضوء تتناسب طردياً مع معامل الإنكسار الذي يتناصف عكسياً مع الطول الموجي للضوء . ولما كان الضوء البنفسجي هو أقل الألوان في الطول الموجي لذا كان معامل إنكساره كبير وزاوية إنحرافه كبيرة .

الْأَوْدُوكِنْجِي

"خواص المواقع"

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الفصل الرابع

"نهاية المواجهة الساكنة"

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

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

خواص الموائع الساكنة

❖ مقدمة :

تعريف "الموائع" بأنها "المواد التي تتميز بقدرها على 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 .

- **وتعريف** "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 تُعطى من العلاقة التالية :
$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{kg/m}^3$$
 أي أن الكثافة = الكتلة ÷ الحجم .
- **وحدة الكثافة** : عندما تكون الكتلة m مقدرة بالكيلوجرام kg والحجم V مقدراً بالметр المكعب m^3 فإنه الكثافة تقدر بوحدة كجم / m^3 .

❖ ما يعني أن كثافة الماء = 1000 كجم/m^3

معني ذلك أن كتلة المتر المكعب من الماء = 1000 كجم .

- **التغير في الكثافة** : يرجع التغير في الكثافة من عنصر إلى آخر لما يلي :

- 1 - **التغير في الوزن الذري** .
- 2 - **الاختلاف في المسافات البنية بين الذرات أو الجزيئات** .

❖ الكثافة النسبية .

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

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

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 :

$$\text{كثافة المادة} = \frac{\text{الكتافة النسبية للمادة}}{\text{كتافة الماء}}$$

والكتافة النسبية ليس لها وحدة لأنها نسبة بين كميتين متماثلتين .

$$◆ \text{ ما يعني أن الكثافة النسبية للألومنيوم} = 2.7 ◆$$

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

◆ تطبيقات الكثافة .

يفيد قياس الكثافة في :

1 - الإستدلال على مدى شحن البطارية :

فعدنما تُفرغ الشحنة الكهربائية من البطارية تقل كثافة محلول الإلكتروليتي (حمض الكبرتيك المخفف) نتيجة إستهلاكه في التفاعل مع الواح الرصاص لتكون كبريتات الرصاص . وعند إعادة شحن البطارية تتحرر الكبريتات من الواح الرصاص لتعود مرة أخرى إلى محلول فتزداد الكثافة .

2 - الإستدلال على زيادة إفراز الأملامح والإصابة ببعض الأمراض :

فحيث أن كثافة الدم وهو في الحالة الطبيعية مابين 1040 إلى 1060 كجم / م³ فإذا نقصت كثافة الدم عن هذا المعدل دل ذلك على 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 على زيادة إفراز الأملامح .

◆ الضغط .

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

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

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

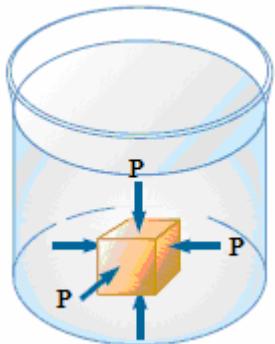
ونظراً لأن القوة F مقدرة بـ نيوتن N والمساحة A مقدرة بالمتربع m^2 فإن الوحدة التي يُقاس بها الضغط P هي نيوتن / م² (N / m^2) .

$$◆ \text{ ما يعني أن الضغط عند نقطة من سطح} = 5 \times 10^5 \text{ نيوتن / م}^2 ◆$$

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

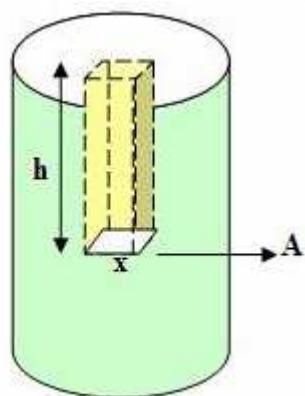
♦ الضغط عند نقطة في باطن سائل وقياسه .

إذا دفعت قطعة من الفلين تحت سطح الماء ثم ثركت فإنها ترتفع إلى سطح الماء مرة أخرى الأمر الذي يوضح أن الماء يدفع قطعة الفلين المغمورة بقوة إلى أعلى هذه القوة تنشأ عن فرق ضغط الماء على هذه القطعة .



كما يجب ملاحظة الآتي :

- 1 - عند نقطة في باطن سائل يؤثر الضغط في أي إتجاه .
- 2 - إتجاه القوة المؤثرة على سطح معين يكون عمودياً على هذا السطح .
- 3 - الضغط على جسم ما هو نفسه الضغط الذي يؤثر على حجم ما من السائل مساوياً لحجم الجسم .
- 4 - توجد قوتان تؤثران على 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 أفقى مساحته $A \text{ m}^2$ ثابت على عمق $h \text{ m}$ تحت سطح سائل كثافته $\rho \text{ kg/m}^3$. ومن الممكن اعتبار أن هذا اللوح يعمل كقاعدة لعمود من السائل ارتفاعه $h \text{ m}$.

2 - وبالتالي يمكن اعتبار أن القوة التي يؤثر بها السائل على اللوح x متساوية لوزن عمود السائل الذي ارتفاعه $h \text{ m}$ ومساحة قاعدته $A \text{ m}^2$.

3 - ولأن السائل غير قابل للانضغاط . فإن القوة الناتجة عن ضغط السائل لابد وأن تتناسب مع وزن عمود السائل الذي ارتفاعه $h \text{ m}$.

4 - وحيث أن : قوة الوزن = الكتلة \times عجلة الجاذبية أو $F_g = m g$
الكتلة = الكثافة \times الحجم $m = \rho V$ أو

الحجم = مساحة القاعدة \times الارتفاع $V = A h$ أو

إذا يكون :

$$F_g = m g = \rho V g = \rho A h g \Leftrightarrow F_g = \rho A h g$$

وبالتالي يتبع ضغط السائل P على اللوح x من العلاقة :

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

أي أن الضغط عند نقطة في باطن سائل = عمق النقطة \times كثافة السائل \times عجلة الجاذبية .

تعريف "الضغط عند نقطة في باطن سائل" يُقدر بوزن عمود السائل الذي قاعدته وحدة المساحات وارتفاعه البعد الرأسي بين النقطة وسطح السائل .

❖ مامعني أن الضغط عند نقطة في باطن سائل = 5×10^5 نيوتن / م²

معني ذلك أن عمود السائل الذي قاعدهه وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة وارتفاعه البعد الرأسى بين النقطة وسطح السائل يكون وزنه = 5×10^5 نيوتن .

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

يلاحظ من المعادلة السابقة أن عجلة الجاذبية g مقدار ثابت وبالتالي يتوقف الضغط على عاملين هما :

1 - عمق النقطة h (علاقة طردية) . 2 - كثافة السائل ρ (علاقة طردية) .

❖ ملحوظة هامة :

فح حيث أن سطح السائل الخالص يتعرض للضغط الجوي الذي يرمز له بالرمز P_a إذاً يكون الضغط الكلي عند نقطة في باطن سائل عبارة عن **الضغط الجوي** و**ضغط عمود السائل** أي أن :

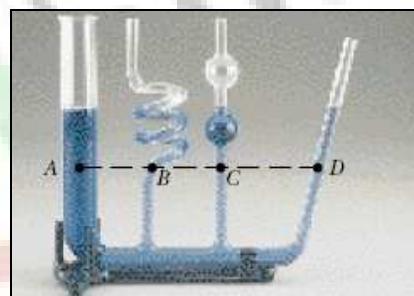
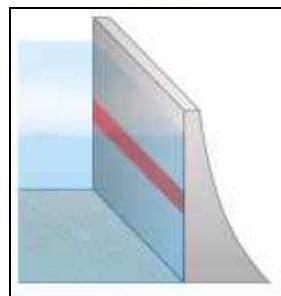
$$P = P_a + h \rho g$$

ومن العلاقة السابقة يمكن أن نستنتج ما يلى :

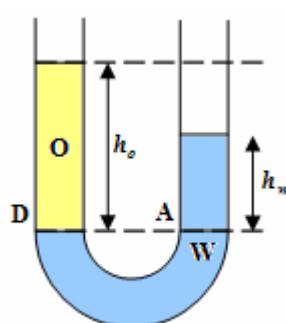
- 1 - جميع النقط التي تقع في مستوى أفقي واحد أي لها نفس العمق في سائل يكون لها نفس الضغط .
- 2 - السائل الذي يملأ إناء متعدد الأجزاء (الأواني المستطرقة) يرتفع في هذه الأجزاء بنفس المقدار وفي آن واحد بغض النظر عن الأشكال الهندسية لها بشرط أن تكون القاعدة أفقياً .

”ولهذا فإن مستوى سطح البحر واحد لكل البحار المتصلة ببعضها“

- 3 - حيث أن الضغط يزداد بزيادة العمق لذا ثبّني السدود بحيث يزداد سمك السد عند قاعدهه ليتحمل الضغط المتزايد بزيادة العمق .



❖ إتزان السوائل في الأنبوية ذات الشعوبتين :



إذا كان لدينا أنبوبة ذات شعوبتين على شكل حرف U تحتوي على كمية مناسبة من الماء كثافته ρ ثم صبنا فوقه وليكن في الفرع الأيسر مقدار مناسب من الزيت كثافته ρ_z وننتظر حتى يستقر السائلان .

وحيث أن الماء والزيت لا يمتزجان وبالتالي نلاحظ وجود سطح فاصل بينهما ويكون سطحهما الخالصان على ارتفاعين مختلفين عن السطح

الفاصل (المستوى AD) كما بالشكل) ولتكن ارتفاع الماء هو h_o وارتفاع الزيت هو h_w .

وحيث أن النقطتين A, D في مستوى أفقي واحد :

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

$$P_o + h_o \rho_o g = P_o + h_w \rho_w g \quad \text{أي أن :}$$

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

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

. وبقياس كلاً من h_o , h_w يمكن تعين الكثافة النسبية للزيت

ويلاحظ من المعادلة السابقة أن الكثافة تتناسب تناوباً عكسيًا مع الإرتفاع (العمق) عند ثبوت الضغط
أي أن :

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

♦ الضغط الجوي .

لقياس الضغط الجوي قام تورشيلي بإختراع البارومتر الرئقي . حيث أخذ أنبوبة زجاجية طولها حوالي 1 متر وملأها تماماً بالرئيق ثم نكسها في حوض به رئيق فلاحظ أن سطح الرئيق في الأنبوة قد انخفض إلى مستوى معين بحيث كان الإرتفاع العمودي له 0.76 متر تقريباً . ويدعى أن الحيز الموجود فوق سطح الرئيق في الأنبوة يكون خالياً إلا من قليل من بخار الرئيق الذي يمكن إهمال ضغطه . ويسمى هذا الحيز باسم " فراغ تورشيلي " (أي أن الضغط داخل فراغ تورشيلي = صفر) .

♦♦♦ ملحوظة :

لا يظهر فراغ تورشيلي 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 الحالى للرئيق في الحوض (الشكل المقابل) فإن :

الضغط عند النقطة A = الضغط الجوي P_o

الضغط عند النقطة B = ضغط عمود الرئيق + الضغط في فراغ تورشيلي .

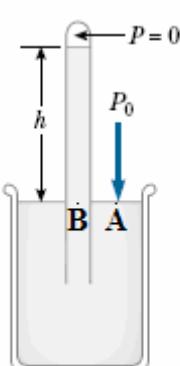
$$\text{صفر} + h \rho g =$$

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

الضغط عند النقطة A = الضغط عند النقطة B إذا :

$$h \rho g = P_o \quad \text{الضغط الجوي}$$

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



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

تعريف "الضغط الجوي المعتاد" هو "يُكافئ الضغط الناشئ عن وزن عمود من الزئبق ارتفاعه 0.76 متر
ومساحة مقطعيه 1 متر مربع في درجة حرارة صفر سيلزيوس" .

والضغط الجوي المعتاد هو ضغط الهواء مقاساً عند سطح البحر ويساوي 0.76 متراً زئبقياً .
◆◆◆ تقدير قيمة الضغط الجوي عددياً :

فحيث أن كثافة الزئبق عند صفر درجة سليزية = 13595 كجم / م³ .
وعجلة الجاذبية الأرضية = 9.81 م / ث² .

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

◆◆ الوحدات التي يُقاس بها الضغط :

توجد عدة وحدات يُقاس بها الضغط منها :

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

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

2 - الباسكال : وهي تكافئ نيوتن / م² .

$$P_o = 1.013 \times 10^5 \text{ Pascal}$$

$$1 \text{ Pascal} = 1 \text{ N/m}^2$$

3 - البار : وهي تكافئ 10^5 بار (نيوتن / م²) .

$$P_o = 1.013 \text{ Bar}$$

$$1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pascal} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

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

$$P_o = 0.76m \text{ Hg} = 760 \text{ mm Hg} = 760 \text{ Torr}$$

$$1 \text{ Torr} = 1 \text{ mm Hg}$$

◆◆◆ وبصفة عامة يكون :

$$P_o = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pascal} = 1.013 \text{ Bar} = 0.76m \text{ Hg} = 760 \text{ Torr}$$

◆ ما معنى أن الضغط الجوي = 1.013×10^5 بار أو = 1.013 بار ؟

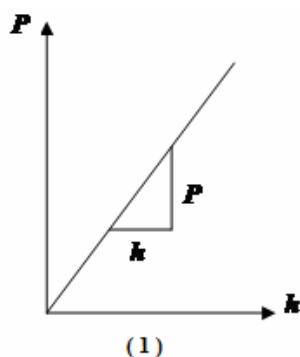
معنى ذلك أن الضغط الجوي يُعادل الضغط الناشئ عن عمود من الزئبقي وزنه 1.013×10^5 نيوتن
ومساحة قاعدته 1 متر² .

◆ ما معنى أن ضغط غاز محبوس = 3 ضغط جوي ؟

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

◆◆◆ ملاحظة هامة : يقل الضغط الجوي كلما ارتفعنا عن سطح البحر . فالضغط عند قمة جبل
مرتفع يكون أقل منه عند سطح البحر .

❖ العلاقة البيانية بين الضغط عند نقطة في باطن سائل P و بعد 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 :

المعادلة السابقة تمثل علاقة خط مستقيم يمر بـنقطة الأصل ميله $= \rho g$ أي أن :

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

ومنها تكون :

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

2 - إذا كان سطح السائل معرض للهواء الجوي :

يكون : $P = P_0 + h \rho g$ وهذه المعادلة تمثل علاقة خط مستقيم أيضاً

ولكنه لا يمر بـنقطة الأصل حيث يقطع جزءاً من محور الصادات مقداره P_0

. ويكون ميل الخط المستقيم هو : ρg أي أن :

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

ومنها تكون :

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

❖ المانومتر .

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

- تركيبه :

المانومتر عبارة عن أنبوبة ذات شعبتين (فرعين) إحدهما قصيرة والأخر طويلة تحتوي على كمية من سائل مناسب كثافته معروفة وتتصل 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 .

ويأخذ نقطتين في مستوى أفقى واحد في السائل ولتكن النقطتين A ، B فإن :

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

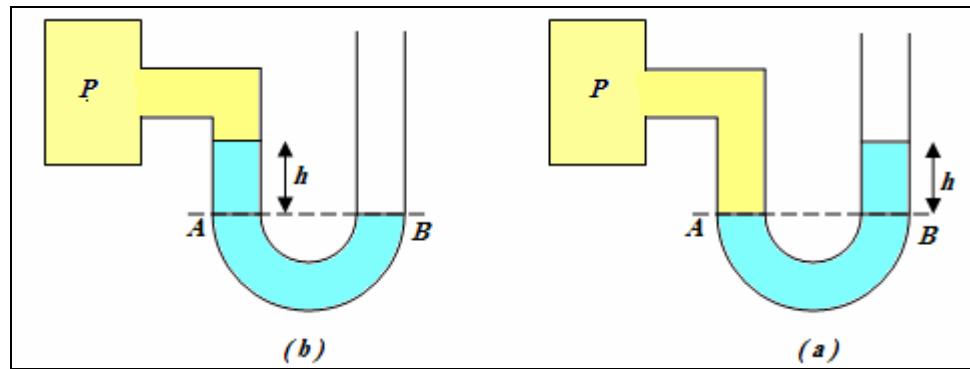
$$P = P_a + h \rho g \quad \text{at} \quad P > P_a$$

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 مستوى أفقى واحد في السائل ولتكن النقطتين A ، B فإن :

الضغط عند النقطة A (ضغط الغاز المحبوس P + ضغط عمود السائل الذي إرتفاعه h) = الضغط عند النقطة B (الضغط الجوى 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 :

| | | |
|---------------------------------|----|-----------|
| $\Delta P = P - P_a = h \rho g$ | at | $P > P_a$ |
| $\Delta P = P_a - P = h \rho g$ | at | $P < P_a$ |

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

♦ تطبيقات على 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 على الشريان وهذا يحدث عند قياس ضغط الدم . حيث توجد في العادة قيمتان للضغط هما :

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

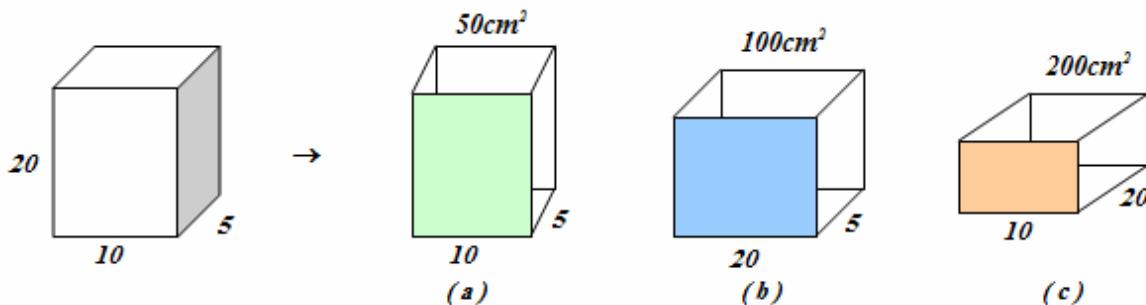
ب - الضغط الإنبساطي وفيه يقل ضغط الدم بالشريان إلى أقل ما يمكن عند إنبساط عضلة القلب . وفي الإنسان المتمتع بصحة جيدة يكون الضغط الإنقباضي 120 تور والضغط الإنبساطي 80 تور .

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

♦♦♦ أمثلة :

1 - متوازي مستطيلات صلب أبعاده ($5cm, 10cm, 20cm$) كثافة مادته $5000kg / m^3$ وضع على مستوى أقصى . إحسب أقصى وأقل ضغط له . " عجلة الجاذبية الأرضية = $10m / s^2$ "
الحل :

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



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

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

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

♦ أقل ضغط عند يوضع الجسم على الوجه ذو المساحة الأكبر أي الوجه الذي مساحته $200cm^2$ إذا :

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

2 - أستخدم مانومتر زئبقي لقياس ضغط غاز داخل مستودع . فكان سطح الزئبق في الفرع الحالص أعلى من سطحه في الفرع المتصل بالمستودع بمقدار $36cm$. مما قيمة ضغط الغاز بوحدات : Atm و $cmHg$ و N / m^2 .

الحل :

أولاً : بوحدة $cmHg$

(الفكرة : من تعريف الضغط الجوي يكون $1P_a = 76cmHg$ 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 سم سواء كان أكبر أو أقل من 76 سم) .

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

$$P = P_a + h = 76 + 36 = 112cmHg$$

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

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

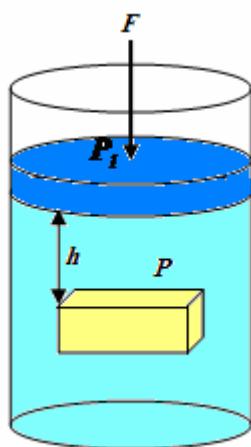
$$\therefore P = 112 \text{ cmHg} \Rightarrow P = 112 \text{ cmHg} = 112 \times \frac{1}{76} \text{ atm} = \frac{112}{76} \text{ atm} = 1.474 \text{ atm}$$

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 أعلىه .

فإن الضغط عند نقطة في باطنها على عمق h هو :

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

حيث P_I 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 على المكبس) ثلاحظ عدم تحرك المكبس إلى 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 :

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

إذا 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 المحتوى على السائل" .

❖ تطبيقات قاعدة باسكال :

1 - الفرامل الهيدروليكيّة في السيارات .

2 - كراسٍ أطباء الأسنان .

3 - مكبس رفع السيارات (المكبس الهيدروليكي) .

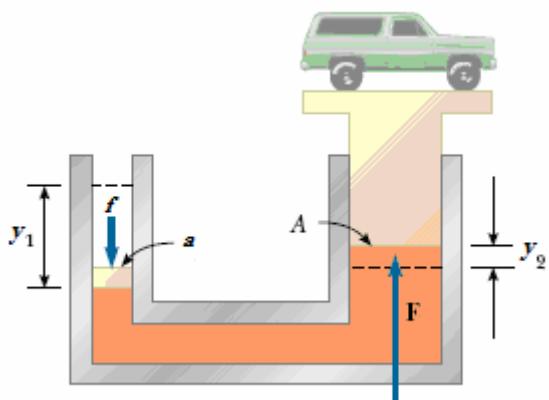
♦ المكبس الهيدروليكي .

الغرض منه : رفع أثقال كبيرة بإستخدام قوي صغيرة ويبني عمله على قاعدة بascal .

تركيبه : يتربّك في أبسط صوره من : إسطوانتين رأسيتين مساحة مقطع الأولى صغيرة ومساحة مقطع الثانية كبيرة ويسد كلاً منها مكبّس سداً محكمأً .

تتحصل الإسطوانتين من أسفل بأنبوبة أفقيّة وتُملأ الإسطوانتين والأنبوبة الأفقيّة بسائل مناسب .

شرح عمله :



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

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

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

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

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

3 - وعند إتزان المكبسين في مستوى أفقي واحد يكون الضغط على المكبّس الكبير مساوياً للضغط على المكبّس الصغير ومساوياً P أي أن :

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

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

♦ ومن العلاقة السابقة يمكن إشتقاق ما يسمى بـ " الفائدة الآلية " للمكبّس الهيدروليكي والتي تُعرف بأنها :

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

- النسبة بين مساحة مقطع المكبّس الكبير إلى مساحة مقطع المكبّس الصغير .

أي أن الفائدة الآلية (الميكانيكية) للمكبّس الهيدروليكي η تُعطى من العلاقة :

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

♦ ما يعني أن الفائدة الآلية لمكبّس هيدروليكي = 100 %

معني ذلك أن النسبة :

- بين القوة الضاغطة الكلية على المكبّس الكبير والقوة الضاغطة الكلية على المكبّس الصغير = 100 % .

- بين مساحة مقطع المكبّس الكبير إلى مساحة مقطع المكبّس الصغير = 100 % .

❖ الشغل المبذول بواسطة كلاً من المكبسين :

- 1 - بفرض أننا أثثنا على المكبس الصغير بقوة قدرها f نيوتن . فإن المكبس الصغير يتحرك مسافة قدرها y_1 إلى أسفل .
- 2 - وحيث أن الضغط ينتقل تماماً إلى جميع أجزاء السائل فإن المكبس الكبير سوف يتاثر بقوة قدرها F نيوتن وعندئذ يتحرك مسافة قدرها y_2 إلى أعلى .
- 3 - إذاً يكون الشغل المبذول بواسطة المكبس الصغير هو : $y_1 f$ حيث (الشغل = القوة × المسافة) . والشغل المبذول بواسطة المكبس الكبير هو : $F y_2$
- 4 - وطبقاً لقانونبقاء الطاقة يكون :

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

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

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

❖ وصفة عامة تُعطى 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 مسامار 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 .

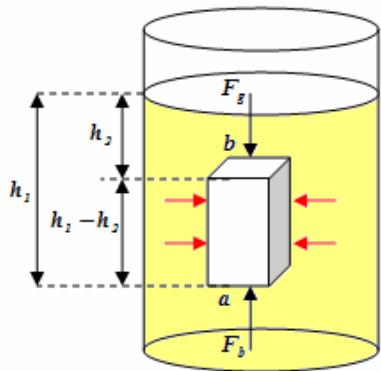
❖ تنص "قاعدة أرشميدس" على أن "الجسم المغمور كلياً أو جزئياً في مائع (سائل أو غاز) يكون مدفوعاً بقوة إلى أعلى هذه القوة تُعادل وزن حجم المائع الذي يزكيه الجسم كلياً أو جزئياً على الترتيب" .

❖ إستنتاج قاعدة أرشميدس نظرياً :

- 1 - نفرض أن لدينا سائل كثافته ρ ساكن في وعاء . وتخيل إسطوانة منتظمة من هذا السائل حجمها V_{ol} ومساحة قاعدتها A وارتفاعها h كما بالشكل :
- 2 - يتاثر هذا الجزء من السائل بقوى من جميع الإتجاهات (قوى جانبية وقوى من أسفل ومن أعلى) .

٣ - هذا الجزء من السائل كأي جزء آخر في حالة إتزان (أي ثابت في مكانه لا يحرك في أي اتجاه) فتكون القوى المؤثرة عليه هي :

١ - القوى الأفقية (الممثلة بالأسماء الحمراء) : وهذه ثلاثة قوى تؤثر على بعضها البعض (لأن كلًا منها عبارة عن قوتان متقابلان متساوين في المقدار ومتضادتين في الاتجاه) .



ب - القوى الرأسية : وهي تتكون من قوتين :
الأولي : تؤثر من أعلى إلى أسفل وهي عبارة عن وزن هذا الحجم من السائل أي :

قوة وزن هذا الجزء من السائل = حجمه × كثافته × عجلة الجاذبية .
أو :

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

والثانية : تؤثر من أسفل إلى أعلى وتنشأ عن فرق الضغط بين السطحين السفلي a والعلوي b لهذا الحجم من السائل وتشمي بـ "قوه الدفع على أسطوانة السائل" ويرمز لها بالرمز F_b أي أن :

$$F_b = \Delta P A$$

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

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

وحيث أن الأسطوانة متزنة (أي لا تتحرك إلى أعلى ولا إلى أسفل) فإن :
قوة دفع السائل = وزن أسطوانة السائل . أو :

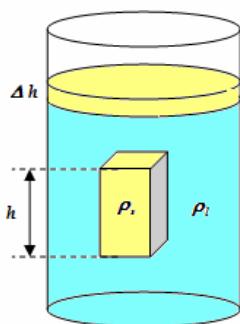
$$F_b = V_{ol} \rho g = (F_g)_l$$

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

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

أو وزن السائل المزاح بواسطة الجسم = 20 نيوتن .

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



إذا استبدلنا 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 على الأسطوانة الصلبة هي :

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

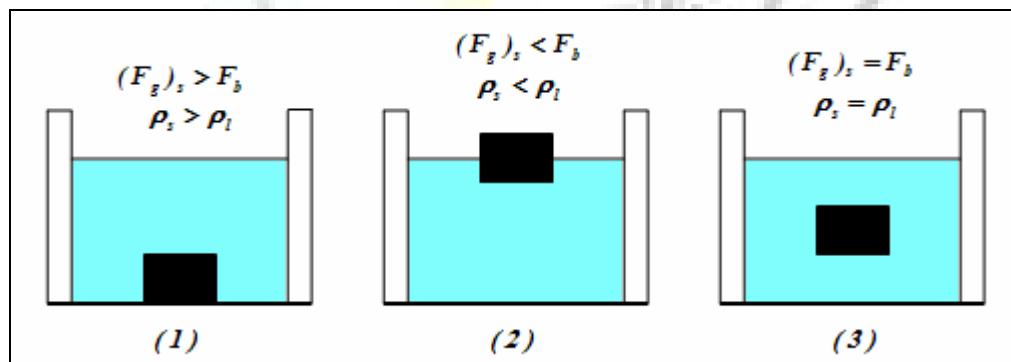
حيث F هو مجموع (محصلة) القوى المؤثرة على الجسم . كما أفترض أن إتجاه F_b إلى أعلى لذا يكون موجباً والإتجاه المخالف (إتجاه $(F_g)_s$) يكون بالسالب .

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

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

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

- 1 - يفوض الجسم إلى 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 على 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 متساوية لكثافة السائل $\rho_s = \rho_l$ (محصلة القوة = صفر) .



♦ الوزن الظاهري في السائل .

إذا عُلق جسم في ميزان زنبركي ثم غُمر بالكامل في سائل بحيث لا يلامس قاع الإناء فإن وزنه وهو مغمور في السائل $'_s$ ($(F_g)'_s$) 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 على الطفو .

- 1 - تقنية المعالجة بالماء : فيعاني بعض المرضى من مشكلة رفع أو تحريك أطرافهم بسبب ضرر أو مرض بالعضلات أو المفاصل الأمر الذي يحتاج إلى العلاج الطبيعي . لذا يغمر المريض جسمه في الماء فينعدم وزنه تقريباً وتقل بذلك القوة والجهود اللازم لتحريك أطرافه وأداء تمرينات العلاج الطبيعي .
- 2 - تجارب إنعدام الوزن : حيث تجري بعض تجارب إنعدام الوزن في حاويات مملوئة بسائل يُضبط تركيزه بحيث تتزن قوة الدفع مع الوزن .
- 3 - طفو الغواصات : حيث تحتوي الغواصات على فراغات كبيرة وعندما تمتلئ هذه الفراغات بالهواء تطفو الغواص . وتغوص عندما تملئ الفراغات بالماء . ونفس الشئ تقريباً في الأسماك .
- 4 - سترة الغطس : فيغير الغواص الضغط في السترة التي يرتديها عند الغطس إلى أعماق كبيرة ليتحكم في قوة الطفو .

ملاحظات هامة جداً .

- 1 - في حالة الجسم المغمور كلياً في سائل يكون :
 - حجم السائل المزاح = حجم الجسم كله .
 - تكون قوة الدفع متساوية لـ " حجم الجسم المغمور × كثافة السائل × عجلة الجاذبية ."
- 2 - في حالة الجسم الطائي فوق سطح سائل يكون :
 - حجم الجسم كله $V = V_1 + V_2$ حجم الجزء الطائي V_1 + حجم الجزء المغمور V_2 . أو :
 - حجم السائل المزاح = حجم الجزء المغمور فقط .
 - تكون قوة الدفع متساوية لـ " حجم الجزء المغمور فقط × كثافة السائل × عجلة الجاذبية ."
- 3 - إذا غمرت 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 × كثافة السائل × عجلة الجاذبية . أو :
$$F_b = (F_g)_s - (F_g)'_s = V \rho_s g$$
- 4 - إذا طفا جسم فوق عدة سوائل مختلفة الكثافة (مثل الماء والجلسيرين) فإن قوة دفع الماء على الجسم تكون متساوية لقوة دفع الجليسرин على نفس الجسم وذلك لأن كلاً منهما تساوي وزن الجسم الطائي .
- 5 - إذا انتقلت سفينة من الماء المالح إلى الماء العذب فإن قوة دفع الماء على السفينة لا تتغير لأن قوة الدفع تساوي وزن السفينة .

تعليقات هامة .

- 1 - جميع النقط الواقعة في مستوىً أفقى واحد في سائل متجانس تكون متساوية في الضغط ؟ لأن جميع هذه النقط على عمق واحد من سطح السائل كما أن كثافة السائل المتجانس متساوية في جميع النقط لهذا يكون الضغط متساوياً فيها لأن : $P = h \rho g$.
- 2 - ثبتي السدود بحيث يكون سمهما من أسفل أكبر من سمهما في الأعلى ؟ لأن الضغط يزداد بزيادة العمق وبالتالي تكون القوة الضاغطة على جسم السد من أسفل أكبر منها من أعلى الأمر الذي يفرض أن يكون السد أكبر سماً في أسفل .
- 3 - عندما يؤثر ضغط علي سائل محبوس في إناء فإن الضغط ينتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل ؟ لأن السوائل غير قابلة للانضغاط لهذا فـأي زيادة في الضغط علي سائل يجعل جزيئات السائل يدفع بعضها البعض بقوة فينتقل الضغط إلى جميع أجزاء السائل .
- 4 - لا يتأثر ارتفاع الزئبق في البارومتر بمساحة مقطع الأنبوية ؟ لأن الضغط يُقدر بالقوة المؤثرة عمودياً علي وحدة المساحات وهي تتوقف علي ارتفاع الزئبق في البارومتر وكثافته فقط حيث $P = h \rho g$.
- 5 - يستخدم الزئبق كمادة بارومترية بدلاً من الماء ؟ فحيث أن ارتفاع السائل في البارومتر يتتناسب عكسياً مع كثافته وحيث أن كثافة الزئبق 13.6 مرة قدر كثافة الماء لهذا عند استخدام الماء في البارومتر يكون ارتفاع عمود الماء كبيراً حوالي 10.33 متراً بينما في حالة الزئبق يكون ارتفاع عمود الزئبق 0.76 متر فقط .
- 6 - يحفظ الزئبق في أواني سميكية الجدران ؟ لأن كثافة الزئبق كبيرة جداً مقارنةً مع باقي السوائل لهذا 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 الحجوم منه يُستهلك في إنفاس حجم الغاز .
 - ▷ نتيجة لذلك تنقص قيمة الشغل المبذول علي وحدة الحجوم 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 إلى 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 على المكبس الكبير F أكبر من القوة الكلية المؤثرة على المكبس الصغير f .

9 - في المكبس الهيدروليكي تكون الفائدة الآلية دائمًا أكبر من الواحد الصحيح.

لأن: $\eta = \frac{f}{F} = \frac{A}{a}$ ولما كانت مساحة المكبس الكبير A أكبر بكثير من مساحة المكبس الصغير a

وأيضاً القوة الكلية المؤثرة على المكبس الكبير F أكبر من القوة الكلية المؤثرة على المكبس الصغير f لذا تكون الفائدة الآلية للمكبس أكبر دائمًا من الواحد الصحيح.

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

ذلك للأسباب التالية:

▫ بما أن $P = h \rho g$ فإنه عندما يكون الضغط P ثابتاً يناسب فرق ارتفاع 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 ارتفاع 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 ارتفاع عمودي الماء في الفرعين كبيراً وبالتالي يكون الخطأ النسبي في القراءة صغيراً وبذلك يمكن قياس فرق الضغط بدقة.

11 - لا تصل كفاءة المكبس الهيدروليكي إلى 100% يرجع ذلك للأسباب التالية:

▫ وجود قوي إحتكاك بين المكابس وجدران الإناء.

▫ وجود فقاعات هوائية في السائل مما يسبب إستهلاك شغل في انضغاط هذه الفقاعات.

12 - يمكن للغواص أن يغوص إلى 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

"ذواجن المواقع المتدرجة"

إعداد الأستاذ /
رجيب 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 نميز بين نوعين أساسيين من السريان هما :
- السريان الهادئ (المستقر) .
- السريان المضطرب .

أولاً : السريان الهادئ .

ويحدث عندما يسري المائع في الأنبوية بسرعات صغيرة بحيث تنزلق طبقاته المتجاورة بطريقة إنسانية ناعمة . لذا يُسمى هذا النوع من السريان بـ "السريان الطبيعي أو الإنساني" .

ويتميز هذا النوع من الإنساب بأن كل كمية صغيرة من المائع تتخذ مساراً متصلة معيناً يُسمى بـ "خط الإنساب" وبالتالي إذا تتبعنا مسارات أجزاء المائع المختلفة في الأنبوية فإنه يمكن تصور تحركه (أي المائع) برسم مجموعة من خطوط الإنساب .

تعريف "خط الإنساب" : هو المسار الذي يتخذه أي جزء من السائل أثناء سريانه داخل الأنبوية سرياناً مستقراً (هادئاً) .

❖ خصائص (مميزات) خطوط الإنساب :

- 1 - لا تتقاطع خطوط الإنساب .
- 2 - الماس عند أي نقطة على خط الإنساب يحدد إتجاه السرعة اللحظية لكل كمية صغيرة من المائع عند تلك النقطة .
- 3 - خطوط الإنساب تخيلية (افتراضية) تُتخذ مقياساً لسرعة ومعدل سريان المائع .

❖ ويطلق على عدد خطوط الإنساب التي تمر عمودياً على وحدة المساحات عند نقطة بـ "معدل سريان المائع عند تلك النقطة" أو "كثافة خطوط الإنساب عند تلك النقطة" .

ويحدد معدل السريان عند نقطة سرعة سريان المائع عند تلك النقطة .

❖ وفي السريان الهادئ يلاحظ أن خطوط الإنساب تتراحم (أي تزداد كثافة خطوط الإنساب) عند السرعات الكبيرة وتقل وتبتعد عند السرعات المنخفضة . أي أن سرعة سريان المائع عند نقطة في الأنبوية تتناسب تناسباً عكسياً مع كثافة خطوط الإنساب .

♦ شروط السريان الهادئ :

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

- 1 - أن يكون معدل سريان المائع ثابتاً على طول مساره : أي أن تكون كمية المائع التي تدخل الأنبوبة من أحد طرفيها متساوية لكمية المائع التي تخرج من طرفها الآخر في نفس الزمن .
- 2 - أن لا تتوقف سرعة المائع عند أي نقطة على الزمن : أي أن تبقى 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 يملا المائع الأنبوبة تماماً .

ثانياً : السريان المضطرب :



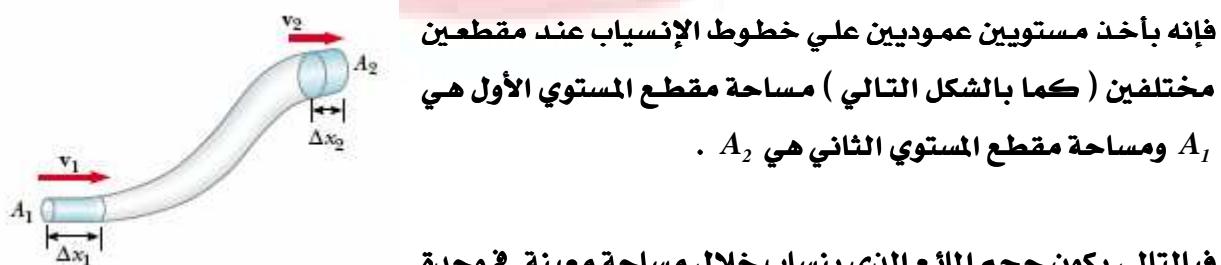
ويحدث عندما تزداد سرعة المائع عن حد معين أو عن قيمة معينة . ويتميز هذا النوع من السريان بوجود دوامات صغيرة دائرية .

مثل : إنتقال غاز ما من حيز صغير إلى حيز كبير أو من ضغط عالي إلى ضغط أقل حيث يتحرك حركة دوامية .

♦ معدل السريان ومعادلة الإستمراية .

لكي ندرك ما نعنيه بـ " معادلة الإستمراية " . فتصور أنبوبة تحتوي على مائع معين ونفترض أن سريان المائع في الأنبوبة سريان هادئ (وبالتالي تنطبق عليه الشروط السريان الهادئ السابقة) .

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



وبالتالي 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 × المسافة التي يتحركها المائع x_1 . أي أن :

$$\text{معدل الإنسياب الحجمي } [Q_v]_{A_1} = \text{مساحة المقطع } A_1 \times \text{المسافة التي يتحركها المائع } x_1 .$$

وحيث أن :

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

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

\Leftarrow المسافة التي يتحركها المائع $A v_1$ = سرعة المائع v_1

& 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 يرمز له بالرمز Q_m وهو عبارة عن كتلة المائع التي تنساب خلال مساحة معينة في وحدة الزمن .

إذاً يكون :

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) . وبالتالي يكون :

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

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

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

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

وهذه هي " معادلة الاستمرارية" . ومنها نستنتج أن :

1 - سرعة المائع عند أي نقطة في الأنبوية تتناسب عكسياً مع مساحة مقطع الأنبوية عند تلك النقطة . وعلى هذا يناسب المائع ببطء شديد في الأنبوية عندما تكون مساحة مقطعها كبير والعكس صحيح .

2 - سرعة المائع عند أي نقطة في الأنبوية تتناسب طريقياً مع كثافة خطوط الإنسياب (معدل الإنسياب الحجمي أو الكتلي) .

♦ وصفة 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 الماء في الأنبوة 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 :

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

مما سبق نتبين أن معدل الإنسياب للمائع إما أن يكون معدل إنسياب حجمي Q_V ووحدته m^3 / sec وأما 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 تناسب كل دقة خلال أي مقطع من مقاطع الأنبوة.

- المعطيات :

$$2r_1 = 0.02 \text{ m} \quad r_1 = 0.01 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad A_1 = \pi r_1^2 = \pi \times (0.01)^2 \text{ m}^2, \quad v_1 = 0.1 \text{ m / s}$$

$$2r_2 = 0.01 \text{ m} \quad r_2 = 0.005 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad A_2 = \pi r_2^2 = \pi \times (0.005)^2 \text{ m}^2$$

- الحل :

$$\therefore A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 \quad (1)$$

$$\pi r_1^2 \times v_1 = \pi r_2^2 \times v_2 \quad \pi (0.001)^2 \times (0.1) = \pi (0.005)^2 \times v_2$$

$$v_2 = \frac{\pi (0.001)^2 \times (0.1)}{\pi (0.005)^2} = 0.4 \text{ m / s}$$

(ب) معدل الإنسياب الحجمي في وحدة الزمن :

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

ويكون معدل الإنسياب الحجمي خلال دقيقة :

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

وبالتالي يكون معدل الإنسياب الكتلي في وحدة الزمن هو :

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

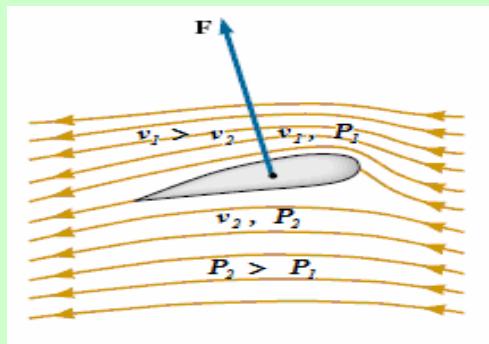
$$Q_m = \pi (0.001)^2 \times (0.1) \times 1000 = \pi (0.005)^2 \times (0.4) \times 1000 = 3.14 \times 10^{-2} \text{ kg / s}$$

ومعدل الإنسياب الكتلي خلال دقيقة :

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

❖ لماذا تطير الطائرة ولا تسقط ؟

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



كما يوضح الشكل أيضاً تزاحم خطوط الإنسياط أعلى الجناح وبالتالي يزداد مقدار سرعة الإنسياط عنه في حالة الإنسياط الحر (حالة عدم وجود الطائرة) كما يكون الضغط أعلى الجناح P_1 أقل من الضغط في حالة الإنسياط الحر . أما عند قاع الجناح (السطح السفلي) فتقل سرعة الإنسياط عن سرعته في الحالة الحرجة وبالتالي يزداد الضغط P_2 عنه في الحالة الحرجة .

ونتيجة لفرق الضغط بين السطحين السفلي والعلوي للجناح تنشأ قوة تؤثر إلى أعلى F تسمى بقوة رفع الطائرة . وتسمى هذه العملية كلها بـ " ظاهرة برنولي " .

تطبيق على معادلة الإستمراية

" 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 المنساب في الشريان الرئيسي = معدل الدم المنساب في مجموعة الشعيرات المتفرعة

$$A_1 \times v_1 = n A_2 \times v_2 \quad \text{أي أن :}$$

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

$$A_1 < n A_2 \quad \text{أي أن :}$$

فلابد أن تكون : $v_1 > v_2$

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

❖ الأمر الذي يؤدي إلى :

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

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

2 - تكون السرعة المتوسطة لتدفق الدم في الأورطي لشخص بالغ هي 0.33 m / s حيث أن نصف قطر الأورطي 0.7 cm . ومن الأورطي يتوزع الدم على عدد من الشرايين الرئيسية نصف قطر كل منها 0.35 cm . فإذا كان عدد الشرايين الرئيسية 30 فإن حسب سرعة الدم فيها .

- المعطيات :

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

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

- الحل :

حيث أن الشرايين الرئيسية لها نفس مساحة المقطع فإن :

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

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

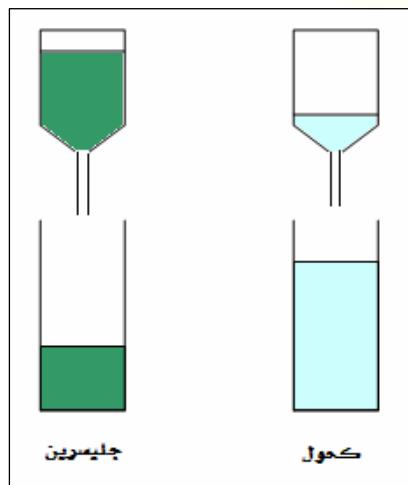
$$v_2 = \frac{\pi (0.007)^2 \times (0.33)}{30 \times \pi (0.0035)^2} = 0.044 \text{ m / s}$$

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

♦ الزوجة .

يمكن إدراك معنى الزوجة من التجارب التالية :

• التجربة الأولى :



تعلق قمرين متماشين كلًا في حامل . ثم نضع أسفل كلًا منها كأساً فارغاً . ونصب في أحد القمرين حجمًا معيناً من الكحول وفي الآخر حجمًا مماثلاً من الجليسرين . ونلاحظ سرعة إنسياب كلًا من السائلين !!

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

الاستنتاج : يمكن الحكم على زوجة مائع ما بمعرفة قابلية هذا المائع للإنسياب . فكلما زادت قابلية الماء للإنسياب قلت لزوجته والعكس صحيح .

• التجربة الثانية :

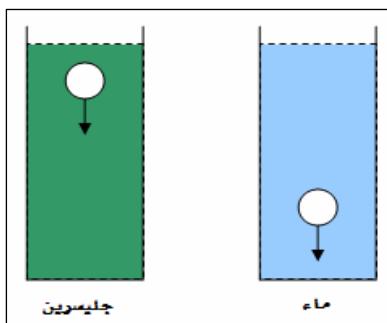
نضع حجمين متساوين أحدهما من الماء والأخر من العسل في كأسين متماشين من الزجاج . نقلب كلًا من السائلين بشكل دائري وبسرعة واحدة بواسطة ساق من الزجاج ونلاحظ في أي من السائلين تكون حركة الساق أسهل !! . ثم نخرج الساق ونترك السائلين حتى يسكنوا ونلاحظ أيهما يسكن أولًا !!

المشاهدة : ◆ تتحرك الساق في الماء بسهولة أكبر عن الجليسين .

◆ يسكن العسل وتقف حركته قبل الماء .

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

• التجربة الثالثة :



ُسقطت كرتين متماثلين من الزجاج في مخبارين طوليين متماثلين أحدهما به ماء والأخر به جليسين . نعين بواسطة ساعة إيقاف الزمن الذي تستغرقه كل كرة لتصل إلى قاع المخار .

المشاهدة : تصل الكرة إلى قاع المخار خلال الماء في زمن أقل من الزمن الذي تستغرقه الكرة لتصل إلى قاع المخار خلال الجليسين .

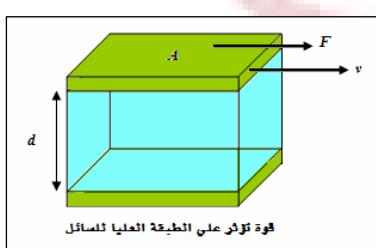
الاستنتاج : الجليسين يقاوم حركة الأجسام خلاله بمقدار أكبر من مقاومة الماء .

◆◆◆ ممن التجارب السابقة يمكن إستخلاص ما يلي :

1 - بعض السوائل مثل الماء والكحول تكون قابلتها للانسياط أو الحركة كبيرة في حين تكون مقاومتها لحركة الأجسام فيها صغيرة فيقال أن هذه السوائل أقل لزوجة .

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

◆◆◆ تدرج السرعة بين طبقات سائل ينساب :



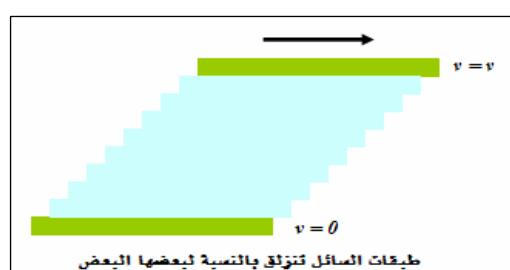
1 - نتصور كمية من سائل محصور بين لوحين مستويين أحدهما سفلي ساكن والأخر علوي يتحرك بسرعة v .

2 - نتصور السائل مكوناً من عدة طبقات رقيقة .

3 - طبقة السائل الملائمة للوح السفلي الساكن تبدو ساكنة عديمة الحركة وتكون سرعة طبقة السائل السفلي = صفر .

4 - طبقة السائل الملائمة للوح العلوي تتحرك بنفس سرعة اللوح العلوي v .

5 - تتحرك طبقات السائل بين اللوحين بسرعات تتدرج من الصفر إلى v في الإتجاه من اللوح الساكن إلى اللوح المتحرك . حيث تكون كل طبقة أقل من سرعة الطبقة التي تعلوها .



❖ تفسير خاصية الزوجة :

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

- 1 - توجد قوي إحتكاك بين السطح المستوي للوح السفلي وطبقة السائل الملائمة له تنشأ بسبب قوي الإلتصاق بين جزيئات السطح السفلي الصلب وجزيئات طبقة السائل الملائمة له . وتعمل هذه القوي على إعاقة إنسياط طبقة السائل فتبعد عن طبقة الحركة وتكون سرعتها = صفر .
 - 2 - طبقة السائل الملائمة للوح العلوي تتأثر أيضاً بقوى إلتصاق تجعلها تتحرك بنفس سرعة اللوح العلوي .
 - 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 أبطئ منها .
لذا ينشئ بين طبقات السائل قوي شبيهه بقوى الإحتكاك تعوق قابلية السائل للإنسياط وقدرته على الحركة مما ينشأ عنه فرق نسبي في السرعة بين كل طبقة والتي تجاورها . ويسمى هذا النوع من السريان بـ "السريان الطبقي أو اللزوجة".
- مما سبق يمكن تعريف "اللزوجة" بأنها خاصية للمادة تتسبب في وجود قوي مقاومة أو إحتكاك بين طبقات السائل تعوق انزلاقها فوق بعضها البعض كما أنها تقاوم حركة الأجسام فيها .

❖ معامل الزوجة :

نلاحظ من الشكل السابق أنه لكي تحافظ طبقة السائل الملائمة للوح العلوي المتحرك بسرعة ثابتة قدرها v لابد وأن تؤثر عليها قوة قدرها F تكون مماسية لطبقة السائل تسمى بـ "قوة الزوجة" . وقد وجد أن قوة الزوجة تتوقف على عدة عوامل هي :

- 1 - مساحة اللوح المتحرك A : حيث تتناسب قوة الزوجة طردياً مع مساحة اللوح المتحرك أي أن $F \propto A$
- 2 - فرق السرعة بين طبقتين من السائل v : حيث تتناسب قوة الزوجة طردياً مع فرق السرعة بين طبقتين من السائل أي أن $F \propto v$
- 3 - المسافة الفاصلة بين اللوحين d : فتتناسب قوة الزوجة عكسياً مع المسافة الفاصلة بين اللوحين . حيث $F \propto \frac{1}{d}$
مما سبق نجد أن :

$$F \propto \frac{A v}{d} \Rightarrow F = \eta_{vs} \frac{A v}{d}$$

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

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

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

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

♦♦ وحدة قياس معامل الزوجة :

من المعادلة السابقة يكون :

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

أي أن وحدة قياس معامل الزوجة هي $N \cdot sec / m^2$ أو $kg / m \cdot sec$

♦♦ العوامل التي تتوقف عليها الزوجة سائل :

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

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

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

معني ذلك أنه عند 20 درجة سيليزية تكون القوة المماسية المؤثرة على 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 :

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

- المعطيات :

$$A = 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$d = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\eta_{vs} = 4 \text{ kg} / \text{m sec}$$

$$F = 2.5 \text{ N}$$

- الحل :

$$\therefore \eta_{vs} = \frac{F d}{A v}$$

$$\Rightarrow v = \frac{F d}{A \eta_{vs}} = \frac{2.5 \times 2 \times 10^{-3}}{10^{-2} \times 4} = 0.125 \text{ m/sec}$$

♦ تطبيقات على الزوجة .

للزوجة تطبيقات كثيرة منها :

1 - التزييت والتشحيم .

أسبابه : عند دوران الآلات المعدنية تتولد قوي إحتكاك كبيرة بين أجزائها المتلامسة وينشأ عن ذلك تولد كميات كبيرة من الحرارة تسبب تمدد بعض أجزاء الآلة وتأكلها .

الغرض من التزييت :

- ▷ إنفاص كمية الحرارة المتولدة أثناء الإحتكاك .
- ▷ حماية أجزاء الآلة من التأكل .

لذلك يجب تزييت وتشحيم الآلات من وقت لآخر .

مميزات الزيت اللازم للتشحيم :

▷ أن تكون لزوجته كبيرة حتى 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 والناتجة عن لزوجته تتناسب 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 معظمها 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 إلى زيادة كبيرة في إستهلاك الوقود . لذا يلجأ قائد السيارة الخبرير إلى الحد من سرعتها لتوفير إستهلاك الوقود .

3 - اختبار سرعة ترسيب الدم في الطب .

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

▷ فائدة اختبار 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 الحمي الروماتيزمية وروماتزم القلب تتلاصق كرات الدم الحمراء مع بعضها فيزيد حجمها وتزداد تبعاً لذلك سرعة الترسيب .
- وفي بعض أمراض فقر الدم (الأنميا) واليرقان (الصفراء) تتكسر كرات الدم الحمراء ويقل حجمها وبالتالي تقل سرعة الترسيب .

تعليلات 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 الإستمراية . الأمر الذي يؤدي إلى :
 - ▷ إتاحة الفرصة لحدوث عملية تبادل غازي الأكسجين وثاني أوكسيد الكربون بين الشعيرات والأنسجة .
 - ▷ إتاحة الفرصة لتزويد الأنسجة بالمواد الغذائية الازمة . وهنا تتجلي قدرة الله سبحانه وتعالى .
- 2 - بعض السوائل لزوجتها كبيرة ؟
لأنه ينشئ بين طبقات السائل قوي شبيه بقوى الإحتكاك تعوق قابلية السائل للإنسياب وقدرته على 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 يستخدم الماء في عملية التزييت ؟
لأن لزوجته صغيرة وسرعان ما ينساب بعيداً عن أجزاء الآلة لضعف إتصاقه بها أثناء حركتها .
- 5 - زيادة سرعة السيارة عن حد معين يسبب زيادة كبيرة في استهلاك الوقود ؟
لأنه في هذه الحالة لا تتناسب مقاومة الهواء الناتجة عن لزوجته مع سرعة الأجسام المتحركة بل تتناسب مع مربع السرعة مما يؤدي إلى زيادة كبيرة في استهلاك الوقود لبذل شغل كايف ضد مقاومة الهواء .
- 6 - إختبار سرعة ترسيب الدم يساعد الطبيب على 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 .

اللهُمَّ إِنِّي أَسْأَلُكُ
رَحْمَةَ الْمُرْسَلِينَ

"الحرارة"

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الفصل السادس

|| قوانين الغازات ||

إعداد الأستاذ /
رجيب مصطفى

الوحدة الثالثة " الحرارة " الفصل السادس " قوانين الغازات "

قوانين الغازات

♦ مقدمة :

نظرأً لضعف قوي التماسك بين جزيئات الغاز وكبر المسافات الجزيئية فإن جزيئات الغاز تتحرك حركة عشوائية مستمرة تسمى بـ " الحركة البراونية " نسبة 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 فتحرك 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 الإتجاهات بطريقة عشوائية وسرعات مختلفة .
- 2 - تصطدم هذه الجزيئات مع بعضها البعض كما تتصادم مع دقائق الكربون .
- 3 - عندما يكون عدد تصادمات جزيئات الهواء مع أحد جوانب دقique الكربون في لحظة معينة أكبر من عدد التصادمات مع الجانب المقابل فإنها (أي دقique الكربون) تتحرك في إتجاه معين لمسافة قصيرة . وبالمثل تتحرك باقي دقائق الكربون نتيجة تصادمها مع جزيئات الهواء بجوانبها وتكون حركتها حركة عشوائية .

♦ الاستنتاج :

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 " علي 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 " .

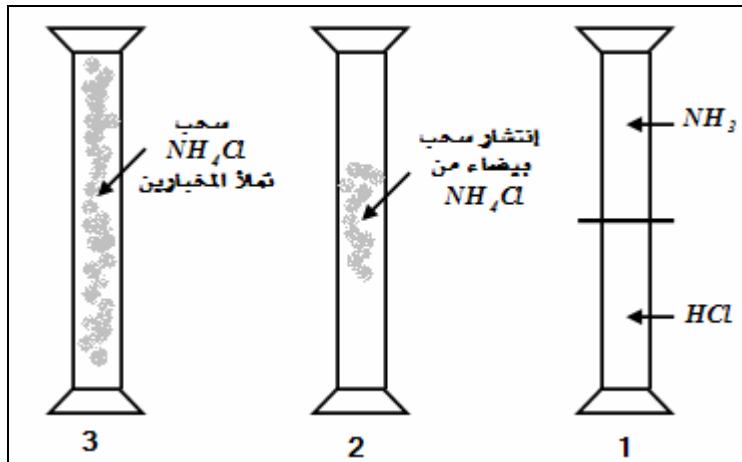
♦ انتشار الغازات .

لتوضيح كيفية انتشار الغازات يمكن إجراء تجربة بسيطة هي :

التجربة : ننكس مخارجاً مملؤاً بغاز النشار فوق مخارجاً آخر مملؤاً بغاز كلوريد الهيدروجين .

المشاهدة : نشاهد تكون دخان أبيض كثيف عند فوهة المخاربين لا يلبي أن يملأهما . وهذا يدل على أن غاز النشار الأقل كثافة انتشر إلى أسفل كما أن غاز كلوريد الهيدروجين الأكبر كثافة قد انتشر 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 محدثة ضغطاً علي كل جدار .
- 2 - يوجد بينها مسافات فاصلة كبيرة تسمى بـ " المسافات الجزيئية " . فعند تعرض الغاز للضغط تتقارب الجزيئات فيقل الحجم الذي يشغلها الغاز وبالتالي فإن الغازات قابلة للانضغاط .

♦ قوانين الغازات .

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

وإجراء 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 ثبيت المتغير الثالث .

لذا سيتم البحث في العلاقة بين :

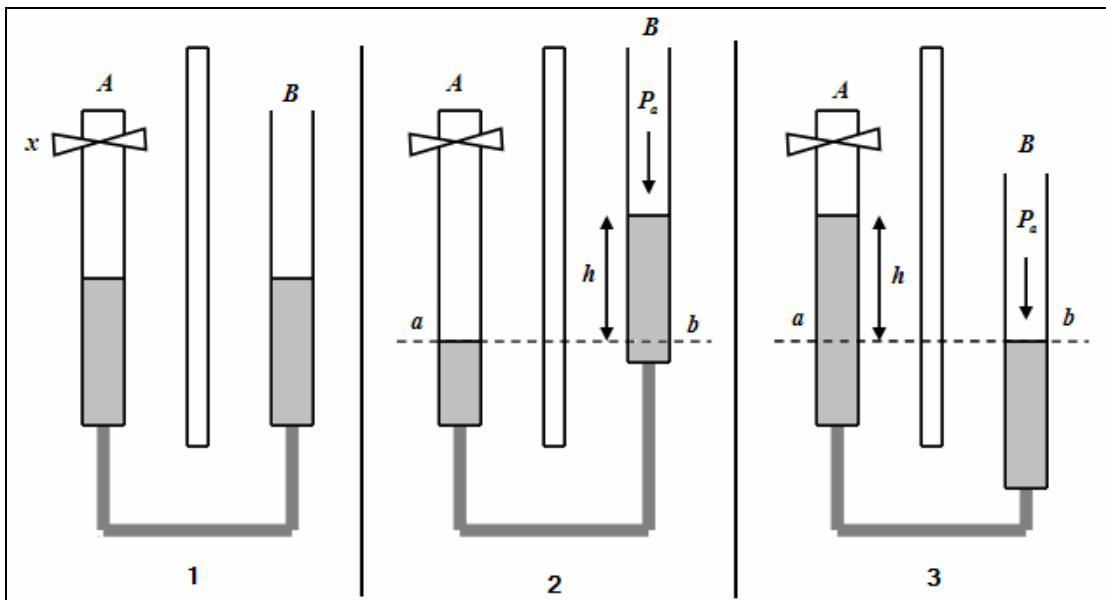
- 1 - حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته (قانون بوويل) .
- 2 - حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه (قانون شارل) .
- 3 - ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط) .

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

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

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

ولتحقيق قانون بويل عملياً نستخدم الجهاز المبين بالشكل التالي :



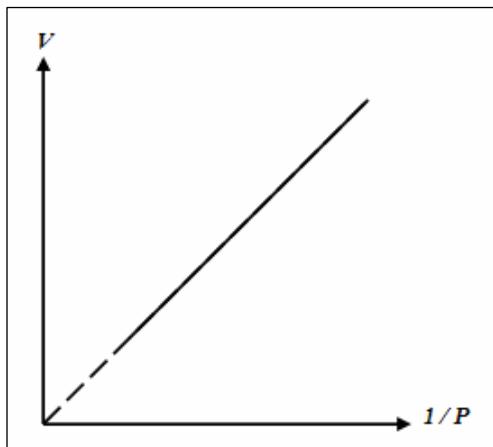
ويترکب من أنبوبتين من الزجاج إحداهما A مثبتة ومدرجة إلى سنتيمترات مكعبة ويبداً صفر تدريجها من أعلى وتنتهي بمحبس أو صنبور x والآخر B مفتوحة من أعلى والأنبوبتين متصلتان بأنبوبة من المطاط (لسهولة الحركة) .

❖ خطوات العمل :

- 1 - نفتح الصنبور x ونصب زبiquاً في الأنبوية B حتى تمتلئ كلاً من الأنبوبيتين إلى نصفها تقريباً ويكون سطحا الزبiquاً في الفرعين في مستوى أفقى واحد .
- 2 - ننغل الصنبور x فنحبس كمية معينة من الهواء داخل الأنبوية A ونعين حجم هذه الكمية المعينة من الهواء ولتكن $(V_{ol})_1$ وضغطها P_1 ويكون الضغط في هذه الحالة هو الضغط الجوى P_0 .
- 3 - نحرك الأنبوية B إلى أعلى ونثبتتها في وضع معين فنشاهد ارتفاع سطح الزبiquاً في كلاً من الأنبوبيتين ولكن سطح الزبiquاً في الأنبوية B يكون أعلى منه في الأنبوية A كما في الشكل 2 ونعين حجم الهواء المحبوس ولتكن $(V_{ol})_2$ وضغطه P_2 وكما درسنا سابقاً ومن الشكل يكون الضغط P_2 مساوياً $P_a + h$ حيث h هو الفرق بين ارتفاعي سطحي الزبiquا في الأنبوبيتين .

- 4 - نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل ونعني V_{ol}) و P_3 بنفس الكيفية .
- 5 - نحرك الأنبوة B إلى أسفل فينخفض سطح الزئبق فيها حتى يصبح أقل من مستوى في الأنبوة A كما في الشكل 3 ونعني حجم الهواء المحبوس ولتكن V_{ol}) وضغطه P_4 وكما درسنا سابقاً ومن الشكل يكون الضغط P_4 مساوياً $P_a - h$.
- 6 - نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل ونعني V_{ol}) 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 بـ إمتداده بـ نقطة الأصل كما في الشكل المقابل . وهذا يثبت أن حجم الغاز V_{ol} يتـناسب عـكـسـياً مع ضـعـطـه P عند ثـبـوتـ درـجـةـ الحرـارـةـ أي أن :

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

ومن العلاقة السابقة نلاحظ أن :

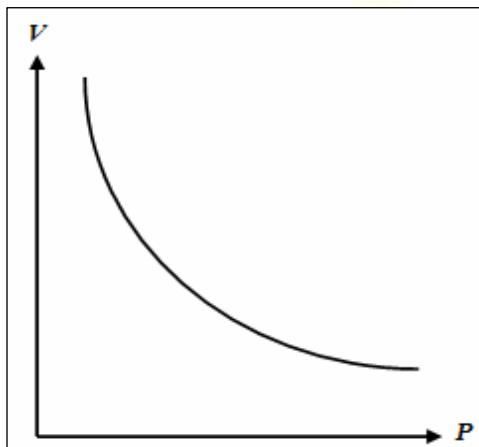
$$V_{ol} \propto \frac{1}{P} \Rightarrow V_{ol} = \frac{const.}{P} \Rightarrow V_{ol}P = const.$$

وبالتالي يمكن إعادة صياغة قانون بوويل 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 و ضغط الغاز P على المحور الأفقي نحصل على المنحنى المبين بالشكل المقابل . ومنه نلاحظ أنه كلما زاد ضغط الغاز قل حجمه أي أن حجم الغاز يتـناسب عـكـسـياً مع ضـعـطـه عند ثـبـوتـ درـجـةـ الحرـارـةـ 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 سم^3 . 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 :

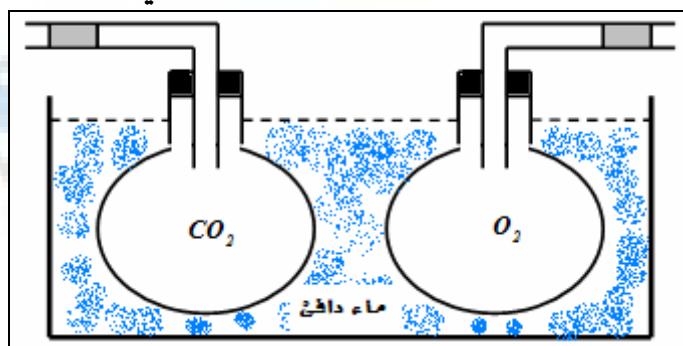
$$(V_{ol})_1 P_1 = (V_{ol})_2 P_2 \Rightarrow 600 \times P = (V_{ol})_2 \times \frac{3}{4}P \Rightarrow (V_{ol})_2 = \frac{4 \times 600}{3} = 800 \text{ cm}^3$$

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 متساوين من ثاني أوكسيد الكربون والأوكسجين ونسد فوهة كل منهما بسداد تنفذ منه أنبوبة زجاجية منتظمة المقطع تثنى على شكل زاوية قائمة وبها خيط من الزبقة طوله 2 أو 3 سم .
- 2 - نضع هذين الدورقين معاً في حوض به ماء دافئ . كما بالشكل التالي :



♦ المشاهدة :

نلاحظ أن خيطي الزبقة يتحركان مسافتين متساوين ، الأمر الذي يدل على تساوي الزيادة في حجميهما .

♦ الإستنتاج :

الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتعدد 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" علي أنه "مقدار الزيادة في وحدة الحجوم من الغاز وهو عند 0°C سليزية إذا رفعت درجة حرارته 1°C 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°C سليزية أي $(V_{ol})_0$.

ب - مقدار الارتفاع في درجة حرارته Δt .

أي أن :

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

حيث α_v هو ثابت التناوب الذي هو عبارة عن "معامل التمدد الحجمي للغاز تحت ضغط ثابت" .

وحيث أن التغير في الحجم $\Delta V_{ol} =$ 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 :

$$\Delta t = 100 - 0 = 100^{\circ}\text{C}$$

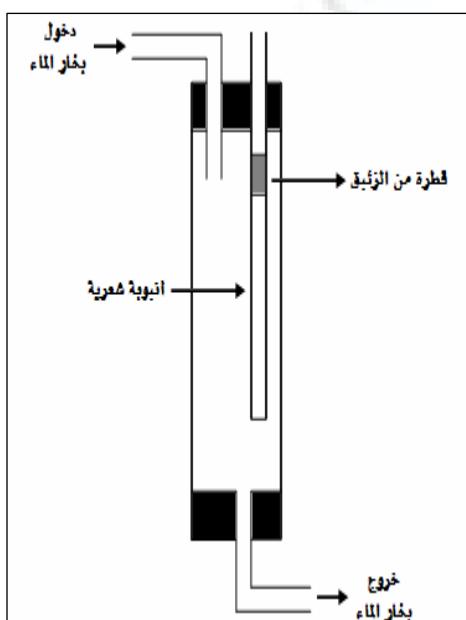
وبالتالي تؤمل العلاقة رقم 1 إلى الصورة :

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

وبصفة عامة : عند تسخين الغاز من 0° إلى t° سليزية يكون :

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

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



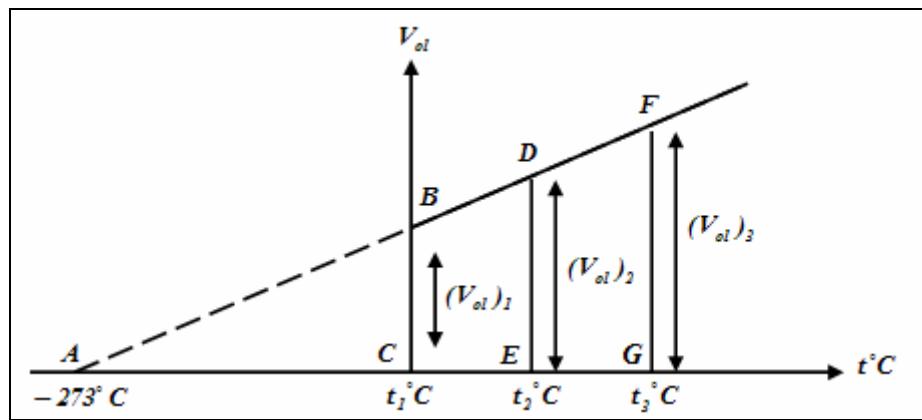
وهو يتركب من : أنبوبة زجاجية طولها 30 سم قناتها من الداخل رفيعة جداً (قطرها حوالي 1 مم) ومنتظمة المقطع مقفلة من أحد طرفيها . وتحتوي على قطرة من الزئبق تحبس كمية من الهواء داخل الأنبوة . وثبتت الأنبوة مع ترمومتر زئبقي (لقياس درجة الحرارة) على مسطرة مدرجة ثم توضع أفقياً وفوتها إلى أعلى داخل غلاف من الزجاج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

♦ خطوات التجربة :

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

2 - يُفرغ الغلاف من الجليد والماء ثم يمرر بخار ماء في الغلاف من أعلى إلى أسفل وننتظر مدة مناسبة حتى تصبح درجة حرارة الهواء المحبوس 100° سليزية ونعيّن طول عمود الهواء المحبوس في هذه الحالة ولكن $(V_{ol})_{100}$ كما سبق وبينما 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 ب نقطة الأصل ولكن إمتداده يقطع المحور الأفقي عند القيمة (-273°C) كما في الشكل التالي .



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

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

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 معامل 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° سليزيوس لكل ارتفاع في درجة الحرارة بمقدار درجة واحدة" .

❖❖❖ ملاحظات هامة :

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

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 وبالتالي إذا كان لدينا :

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

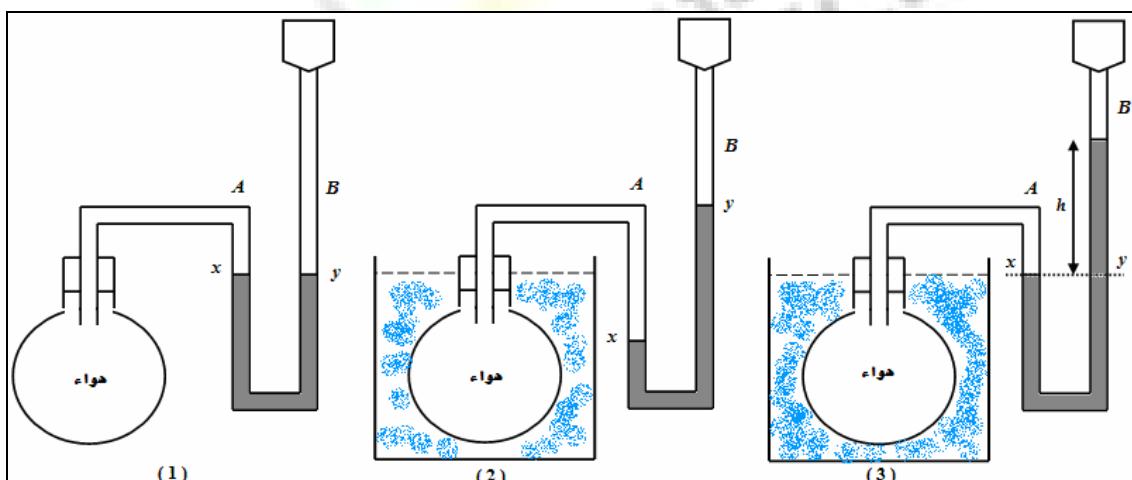
ب - غاز حجمه 20 m^3 في 0° سليزية ورفعت درجة حرارته 1° سليزية تكون الزيادة في حجمه = $(20 / 273) \text{ m}^3$.

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

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 دوري ثم نوصل الدوري بمانومتر زبقي بواسطة أنبوبة من المطاط .
- 2 - نلاحظ أن سطحي الزبقي في الفرعين يكونان في مستوىً أفقى واحد عند y ، x (الشكل رقم 1) وبالتالي يكون ضغط الغاز المحبوس = الضغط الجوى .
- 3 - نعين درجة حرارة الهواء وتكون t° سليزية .
- 4 - ننهر الدوري في حوض به ماء ساخن فنلاحظ إنخفاض سطح الزبقي في الفرع القصير عن x وارتفاعه عن y في الفرع الآخر (الشكل رقم 2) .
- 5 - نصب زبقي في القمع حتى يعود سطح الزبقي في الفرع القصير إلى مستوى 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 الجوى + h أي أن ضغط الهواء المحبوس قد زاد بمقدار ضغط عمود من الزبقي ارتفاعه 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 الدوري 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 رفعت حرارتها بنفس العدد من درجات الحرارة وذلك عند ثبوت الحجم .

وبالتالي يمكن تعريف "معامل الزيادة في ضغط الغاز تحت حجم ثابت" علي أنه "مقدار الزيادة في وحدة الضغوط للغاز وهو عند 0° سليزية إذا رفعت درجة حرارته 1° سليزية مع ثبوت حجمه" ويرمز له بالرمز β .

* 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 كلّاً من :
 - أ - الضغط الأصلي للغاز عند 0° سليزية أي P_0 .
 - ب - مقدار الارتفاع في درجة حرارته Δt .

أي أن :

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

حيث β_p هو ثابت التناسب الذي هو عبارة عن "معامل الزيادة في ضغط الغاز تحت حجم ثابت" .

وكما سبق : إذا رفينا 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 الارتفاع في درجة حرارته Δt على الصورة :

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

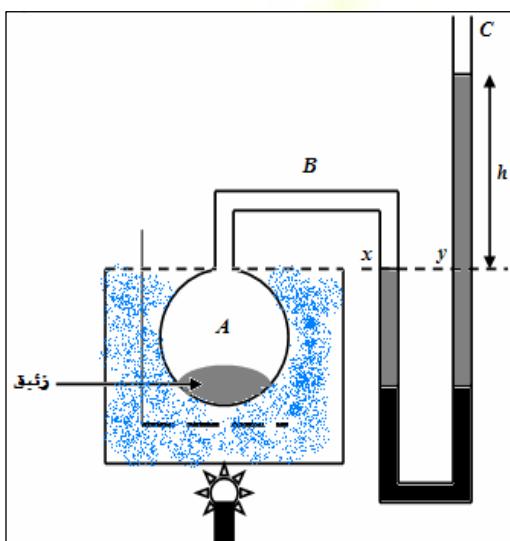
وبالتالي تؤمل العلاقة رقم 2 إلى الصورة :

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

ويصفه عامة : 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 :



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 المتبقى منه " حجم الهواء الجاف " ثابتاً في جميع درجات الحرارة) ويتصل المستودع بأنبوبة شعرية B تثنى على هيئة زاويتين قائمتين ومثبتة على قاعدة أفقية ترتكز على 3 مسامير محوأة لجعل القاعدة راسية 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 الإناء مملؤ بجليد مجمد حتى تصبح درجة حرارة ما به من هواء جاف عند ${}^{\circ}0$ سليزيوس ثم نحرك الأنبوة C إلى أعلى أوالي أسفل حتى يستقر سطح الزئبق في الأنبوة B إلى علامة معينة ولتكن x ثم نقيس فرق الارتفاع بين سطح الزئبق في الأنبوتين B, C ولتكن h_1 ويضاف إلى الضغط الجوي P_a فيكون ضغط الهواء المحبوس عند ${}^{\circ}0$ سليزيوس هو P_0 حيث :

$$P_0 = P_a + h_1$$

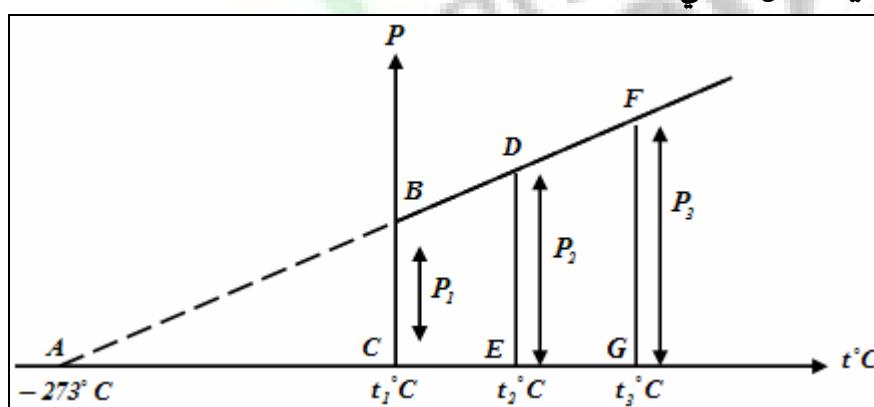
وللأهمية يجب ملاحظة أنه : إذا كان الزئبق في الفرع C أعلى منه في B يكون $P_0 = P_a + h_1$ أما إذا كان الزئبق في الفرع C منخفضاً عنه في B يكون $P_0 = P_a - h_1$

3 - يسخن الإناء حتى يغلي الماء مع الإنتظار مدة كافية مع التقليل المستمر حتى تصل درجة حرارة الهواء في المستودع إلى ${}^{\circ}100$ سليزيوس ثم نحرك الأنبوة C إلى أعلى حتى يعود سطح الزئبق في الأنبوة B إلى العلامة x (فيكون حجم الهواء ثابتاً طوال التجربة) ثم نقيس فرق الارتفاع بين سطح الزئبق في الأنبوتين B, C ولتكن h_2 ويضاف إلى الضغط الجوي P_a فيكون ضغط الهواء المحبوس عند ${}^{\circ}100$ 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 ب نقطة 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 وبالتالي يكون معامل الزيادة في ضغوط الغازات المختلفة له نفس القيمة وهي $1 / 273$ لكل درجة .

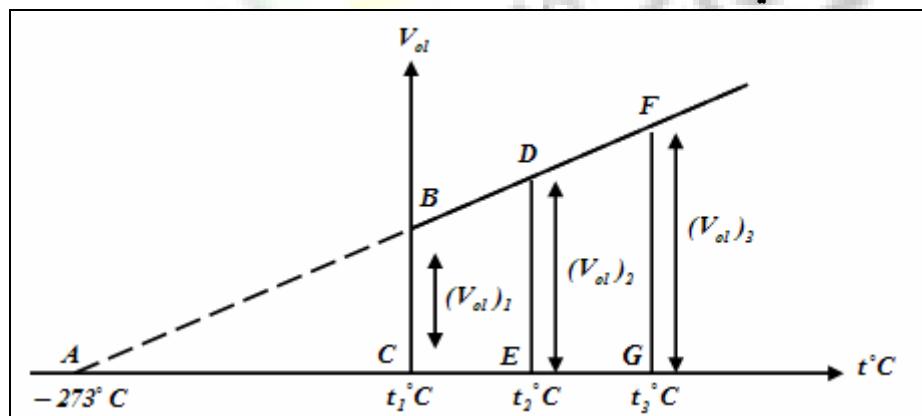
وهذه النتيجة يمكن صياغتها فيما يسمى بـ "قانون الضغط" والذي ينص على أنه "عند ثبوت الحجم يزداد ضغط كمية معينة من غاز بمقدار $1 / 273$ من ضغطها الأصلي عند 0° سيلزيوس لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره درجة واحدة".

♦♦♦ ملاحظات هامة :

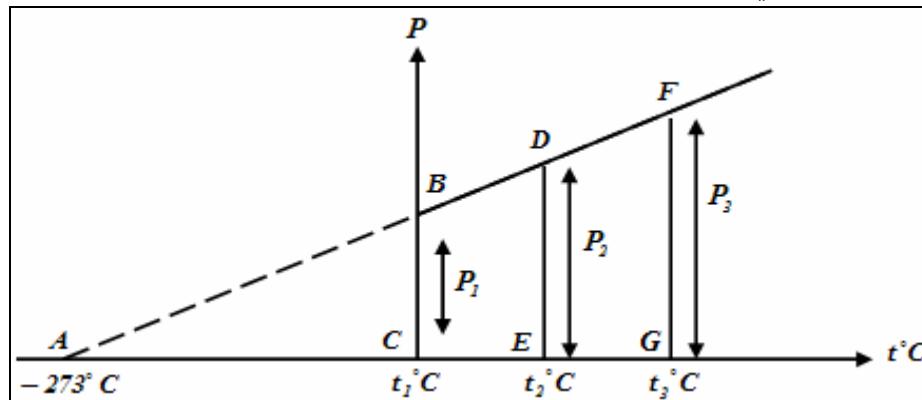
- 1 - معامل التمدد الحجمي لغاز ما عند ثبوت ضغطه = معامل الزيادة في ضغط هذا الغاز عند ثبوت حجمه = $1 / 273$ لكل درجة .
- 2 - في التجربة السابقة يجب أن يكون المستودع جافاً تماماً من الداخل لأن وجود أي قطرة ماء تتحول إلى حجم كبير من البخار يكون له ضغط مؤثر.

♦ 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 :



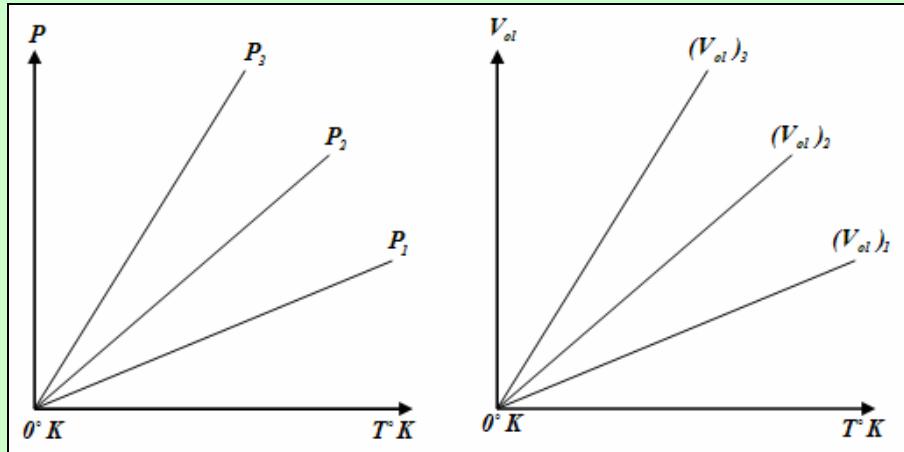
وإذا مُد الخط المستقيم في كلّاً من الحالتين السابقتين في الإتجاه DB نجد أنه يقطع محور درجة الحرارة عند (273 -) درجة سليزية في كل حالة كما سبق وأن بينا .

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 عنها نظرياً حجم وضغط الغاز المثالي " أو " درجة الحرارة التي ينعدم عنها نظرياً حجم كمية معينة من غاز عند ثبوت ضغطه " أو " درجة الحرارة التي ينعدم عنها نظرياً ضغط كمية معينة من غاز عند ثبوت حجمه " .
ودرجة الحرارة على مقياس كلفن K ° قيمة موجبة دائماً بينما درجة الحرارة على مقياس سليزيوس C ° تتدرج بين الموجب والسالب .

♦ الصفر المطلق .

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

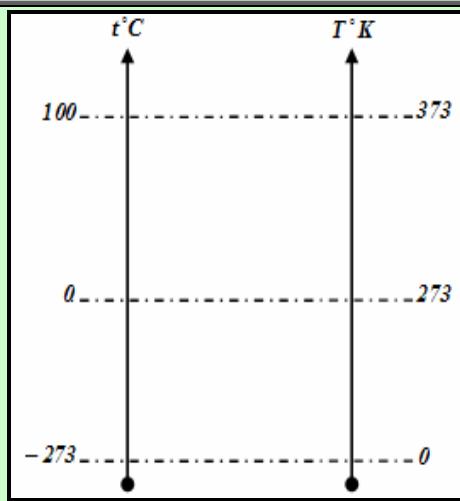


ويلاحظ أنه عند درجة الصفر المطلق $0^{\circ} K$ يكون الحجم مساوياً للصفر ($V_{ol} = 0$) والضغط كذلك ($P = 0$) ولكن في الواقع مع التبريد الشديد يتتحول الغاز إلى سائل ثم إلى صلب قبل الوصول إلى الصفر المطلق وبالتالي لا يخضع لقوانين الغازات .

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

♦♦ العلاقة بين تدرج سليزيوس وتدرج كلفن :

من الشكل التالي يلاحظ أن :



درجة 273 – درجة 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 :

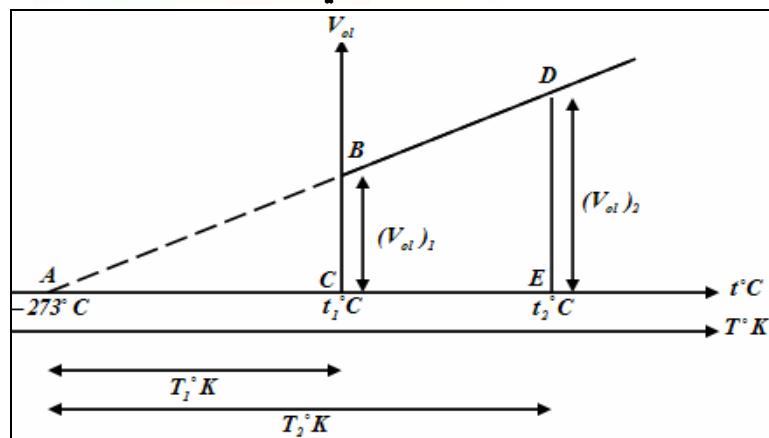
$$\text{الدرجة الكلفنية } T^{\circ}K = \text{الدرجة السليزية } t^{\circ}C + 273 .$$

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

♦ صيغ أخرى لقانون 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 :

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

وعلي 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 (الكافينية) ."

وفي المعادلة :

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

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

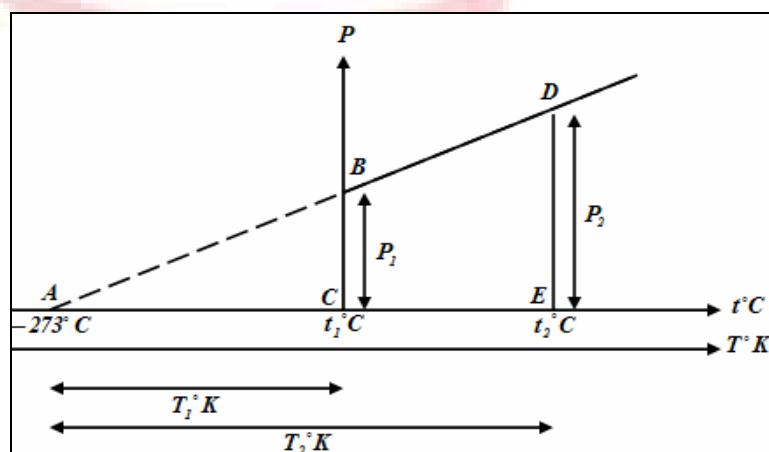
$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{t_1 + 273}{t_2 + 273}$$

ويقسمة كلاً من البسط والقام علي 273 ينتج أن :

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

أولاً : 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 :

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

وعلي ذلك يكون :

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

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

وفي المعادلة :

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

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

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

ويقسمة كلاً من البسط والمقام على 273 ينتج أن :

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

♦ القانون العام للغازات .

- يمكن استنتاج القانون العام للغازات من الربط بين قانوني بويل حيث $V_{ol} \propto T$ قانون شارل حيث $V_{ol} \propto \frac{1}{P}$

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 الكليفينية من T_1 إلى T_2 فإن :

$$\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \text{const.} \quad \& \quad \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2} = \text{const.}$$

$$\Rightarrow \frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2}$$

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 الكلفنية 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 :

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

وهذا هو قانون بوبيل .

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 اتفق 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 سليزيوس = 273 درجة كلفنية .

3 - الحجم الذي يشغلة المول من أي غاز = 22.4×10^{-3} م³ = 22.4 لتر .

وبالتعويض بهذه البيانات في المعادلة :

$$\frac{PV_{ol}}{T} = \text{const.}$$

يكون :

$$\frac{PV_{ol}}{T} = \frac{1.013 \times 10^5 \times 22.4 \times 10^{-3}}{273} = 8.31 \text{ Joule / } ^\circ \text{ K}$$

والمقدار $8.31 \text{ Joule / } ^\circ \text{ K}$ يسمى بـ " الثابت العام للغازات " الذي يرمز له بالرمز R أي أن :

$$R = 8.31 \text{ Joule / } ^\circ \text{ K}$$

ويمكن تعريفه بأنه " كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة مول واحد من الغاز درجة واحدة كلفينية $I^\circ \text{ K}$ " . حيث أن وحدة المقدار PV_{ol} هي الجول Joule الذي هو وحدة الطاقة .

إذا :

$$\frac{PV_{ol}}{T} = R \Rightarrow PV_{ol} = RT$$

وذلك لواحد مول من الغاز . وإذا كان عدد المولات من الغاز هو n مول يكون :

$$PV_{ol} = nRT$$

❖❖❖ 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 لل الخليط = مجموع ضغوط الغازات . أي :

$$P = P_1 + P_2 + \dots$$

❖❖❖ مثال محلول :

مقدار من غاز النيتروجين حجمه 15 ليتر عندما يكون الضغط الواقع عليه 12 سم زئبق . ومقدار من الأوكسجين حجمه 10 ليتر عندما كان الضغط الواقع عليه 50 سم زئبق . وضعا في إناء مقول سعته 5 ليتر فإذا كانت درجة حرارة الغازين ثابتة أثناء خلطهما فما وجد ضغط المزيج ؟

المعطيات :

$$V_{ol}(N_2)_{before} = 15 \text{ Lts} \quad \diamond \quad P(N_2)_{before} = 12 \text{ cmHg} \quad \diamond \quad V_{ol}(O_2)_{before} = 10 \text{ Lts}$$

$$P(O_2)_{before} = 50 \text{ cmHg} \quad \diamond \quad V_{ol}(N_2)_{after} = V_{ol}(O_2)_{after} = 5 \text{ Lts}$$

الحل :

أولاً : إيجاد ضغط غاز النيتروجين بعد الخلط :

$$(P(V_{ol}))_{before} = (P_1(V_{ol}))_{after} \Rightarrow 15 \times 12 = P_1 \times 5 \Rightarrow P_1 = \frac{15 \times 12}{5} = 36 \text{ cmHg}$$

ثانياً : إيجاد ضغط غاز الأوكسجين بعد الخلط :

$$(P(V_{ol}))_{before} = (P_2(V_{ol}))_{after} \Rightarrow 10 \times 50 = P_2 \times 5 \Rightarrow P_2 = \frac{10 \times 50}{5} = 100 \text{ cmHg}$$

وبالتالي يكون الضغط الكلي لل الخليط هو :

$$P = P_1 + P_2 = 36 + 100 = 136 \text{ cmHg.}$$

❖❖❖ تعليمات هامة :

1 - الغازات قابلة للانضغاط ؟

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 فینقص الضغط .

❖ وهناك تعليمات أخرى مذكورة مع الشرح تم بحمد الله تعالى وتوفيقه .

المدخل إلى السطوع

"نظريّة الحركة للغازات"

إعداد الأستاذ /
رجيب 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 وسميت بـ " نظرية الحركة للغازات " .

◆ فروض نظرية الحركة للغازات ◆

- 1 - يتكون الغاز من جزيئات غایة 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 صفرأ أي أن جزيئات الغاز لا تؤثر على بعضها البعض ومن ثم فإن متوسط المسافة التي يتحرك فيها الجزيئ قبل التصادم مع جزيئ آخر (أو ما يسمى بـ " متوسط المسار الحر " للجزيئ) لا يتوقف على كتلة جزيئ 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 حرقة عشوائية مستمرة تسبب تصادمها مع بعضها البعض وتصادمها مع جدران الإناء الحاوي لها وتحرك الجزيئات بين التصادمات المتتالية في خطوط مستقيمة .
- 5 - التصادمات الحادثة بين جزيئات الغاز ومع جدران الإناء تكون تصادمات مرنّة . بمعنى أن طاقة الحركة لجزيئات الغاز تظل ثابتة قبل وبعد التصادم .
- 6 - الغاز في إتزان حراري مع الإناء الحاوي له .

◆ تذكرة كيميائية سريعة ◆

من المعروف أن أي ذرة تتكون من نواة موجبة (تحتوي على بروتونات موجبة ونيوترونات متعادلة) والكترونات سالبة تدور حول النواة .

وحيث أن كتلة البروتون n_p تساوي تقريباً (1840) مرة كتلة الإلكترون m_e وكتلة البروتون تساوي تقريباً كتلة النيوترون n_n لذا يمكن إهمال كتلة الإلكترونات بالنسبة لكتلة كلاً من البروتونات والنيوترونات وبالتالي تتركز كتلة الذرة في النواة .

كما تُعرف أي ذرة بعدين : 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 ${}^{12}_6 C$ يدل على أن ذرة الكربون لها عد 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 : ${}^{13}_6 C$ و ${}^{12}_6 C$.

♦ ♦ المول ♦ ♦

بداية نذكر بأن : الكتلة الذرية الجرامية لعنصر هي عبارة عن الكتلة الذرية لهذا العنصر مُقدره بالجرام . والكتلة الجزيئية المادة هي عبارة عن الكتلة الجزيئية لهذه المادة مُقدره بالجرام . وبالتالي يكون " المول من المادة " عبارة عن " الكتلة الجزيئية الجرامية لهذه المادة مُقدره بالكيلوجرام " أي " الكتلة الجزيئية الجرامية مقسومة على 1000 " .

و " المول من عنصر " بأنه " الكتلة الذرية الجرامية لهذا العنصر مُقدره 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 المأكولة 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 كالتالي .

وقد اتفق على أن يحتوي المول من أي مادة على عدد من الذرات أو الجزيئات مساوياً لعدد ذرات الكربون (C_{12}) الموجودة في 12 جرام من الكربون (C_{12}) .

كما بينت التجارب العملية أن 12 جرام من الكربون (C_{12}) تحتوي على 6.023×10^{23} ذرة من الكربون (C_{12}) 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 :

"الحجم المتساوية من الغازات المختلفة تحتوي على نفس العدد من الجزيئات عند نفس الظروف من الضغط ودرجة الحرارة" .

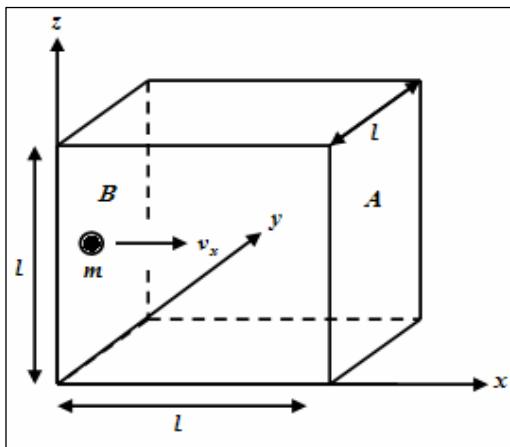
♦ ♦ استخدام فروض نظرية الحركة للغازات في حساب كثافة وضغط ودرجة حرارة الغاز ♦ ♦

♦ أولاً : حساب كثافة الغاز ♦

إذا كان لدينا كمية من الغاز كتلتها M وحجمها V_{ol} تحتوي على عدد N من الجزيئات وكتلة الجزيء الواحد هي m فإن كثافة الغاز تُعطى من العلاقة التالية :

$$\rho = \frac{M}{V_{ol}} \Rightarrow \rho = \frac{N m}{V_{ol}} \quad kg / m^3 \rightarrow I$$

♦ ثانياً : حساب ضغط الغاز ♦



1 - نتصور صندوقاً مكعباً طول ضلعه l م يحتوي على غاز حجمه $V_{ol} = l^3$ م³ وأن جزيئات هذا الغاز تتصادم بإستمرار مع جدران الصندوق .

2 - بفرض جزئ كتلته m يتحرك في إتجاه عمودي على أحد أوجه الصندوق ولتكن الوجه A بسرعة قيمتها المتوسطة v ومركبها في الإتجاه x هي v_x (كما بالشكل التالي) فيصطدم معه تصادماً مرنًا ويرتد في الإتجاه المعاكس بنفس السرعة فتكون كمية الحركة الخطية قبل التصادم هي mv_x

وكمية الحركة الخطية بعد التصادم هي $-mv_x$ - والإشارة السالبة لأن إتجاه سرعة الجزيء بعد التصادم يكون مضاداً للإتجاه 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 الإتجاه المعاكس قاطعاً مسافة قدرها $2l$ قبل أن يصطدم بالجدار B . أي أن المسافة المقطوعة لإحداث صدمة واحدة = $2l$ وبالتالي يعطي عدد تصدامات الجزيء من العلاقة :

عدد تصدامات الجزيء = المسافة الكلية التي يقطعها الجزيء ($v_x t$) ÷ مسافة الصدمة الواحد ($2l$) .
ويكون عدد التصدامات في الثانية الواحد = المسافة الكلية المقطوعة (v_x) ÷ مسافة الصدمة الواحد ($2l$) . أي أن :

$$\frac{v_x}{2l} \text{ عدد التصدامات في الثانية الواحد}$$

4 - مقدار التغير الكلي في كمية الحركة الخطية للجزيء الواحد في الثانية نتيجة اصطدامه بالجدار ΔP_l = عدد التصدامات في الثانية × التغير في كمية الحركة الخطية لكل صدمة . أي أن :

$$\Delta P_l = \frac{v}{2l} \times 2mv_x = \frac{mv_x^2}{l}$$

وكلما درسنا في الصف الأول ... فإن القوة التي يؤثر بها الجزيء الواحد f على السطح تعطى من العلاقة :

$$f = \frac{\Delta P_l}{\Delta t}$$

وبالتالي فإن القوة التي يؤثر بها الجزيء على السطح في الثانية الواحدة هي :

$$f = \Delta P = \frac{mv_x^2}{l} : \Delta t = 1 \text{ sec}$$

5 - وعندما يكون عدد جزيئات الغاز هو N فإن القوة الكلية على جدار الصندوق F تصبح :

$$F = \frac{N m v_x^2}{l}$$

وبالتالي يعطى الضغط من العلاقة :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{N m v_x^2}{l \times l^2} = \frac{N m v_x^2}{l^3} \Rightarrow P = \frac{N m v_x^2}{l^3}$$

حيث A هي مساحة سطح الجدار وتساوي l^2 . وحيث أن حجم الصندوق V_{ol} يساوي l^3 فإن :

$$P = \frac{N m v_x^2}{V_{ol}} \rightarrow 2$$

6 - والنتيجة السابقة على اعتبار أن الغاز يتحرك في إتجاه واحد . ولكن في الحقيقة فإن جزيئات الغاز تتحرك في ثلاثة إتجاهات هي z ، y ، x وبالتالي نجد أن السرعة المتوسطة تعطى من العلاقة :

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

وحيث أن احتمالية حركة الجزيئات في الإتجاهات الثلاثة متساوية لذا يكون :

$$v_x^2 = v_y^2 = v_z^2$$

أي أن :

$$v^2 = 3 v_x^2 \Rightarrow v_x^2 = \frac{1}{3} v^2$$

وبالتعويض في المعادلة 2 نحصل على :

$$P = \frac{N m v^2}{3 V_{ol}} \Rightarrow P = \frac{1}{3} \frac{N m}{V_{ol}} v^2$$

لكن :

$$\rho = \frac{N m}{V_{ol}}$$

إذًا :

$$P = \frac{1}{3} \rho v^2 \rightarrow 3$$

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 :

$$P V_{ol} = n R T \rightarrow 4$$

حيث n هي عدد مولات الغاز .

ومن معادلة الضغط رقم 3 نجد أن :

$$P = \frac{1}{3} \frac{N m v^2}{V_{ol}} \Rightarrow PV_{ol} = \frac{1}{3} N m v^2 \rightarrow 5$$

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 ينبع أن :

$$n R T = \frac{1}{3} N m v^2 \quad \frac{N}{N_A} R T = \frac{1}{3} N m v^2 \quad \frac{R}{N_A} T = \frac{1}{3} m v^2 \times \frac{2}{2}$$

$$\left(\frac{R}{N_A} \right) T = \frac{2}{3} \left(\frac{m v^2}{2} \right)$$

لبن المقدار الثابت $\left(\frac{R}{N_A} \right)$ يساوي ثابت آخر يسمى بـ " ثابت بولتزمان " ويرمز له بالرمز k حيث :

$$k = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ Joule / } ^\circ \text{K}$$

ويمكن تعريف " ثابت بولتزمان " على أنه " كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة جزئ واحد من الغاز درجة واحدة كلفينية 1°K ".

وبالتالي يكون :

$$k T = \frac{2}{3} \left(\frac{m v^2}{2} \right) \quad \frac{3}{2} k T = \frac{1}{2} m v^2 \rightarrow 6$$

ومنها يمكن إيجاد درجة حرارة الغاز بالتدريج المطلق بمعرفة متوسط طاقة حركة جزئ الغاز $(\frac{1}{2} m v^2)$.

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 للاتجاهات الثلاثة أي $k T (3 / 2)$ وبالتالي فإن طاقة الحركة لكل إتجاه هي $k T (1 / 2)$.

5 - عند الصفر المطلق :

- تنتهي طاقة حركة جزيئات الغاز.
- ينعدم متوسط مربع سرعة جزئ الغاز.
- تنتهي كمية حركة الجزئ.

♦♦♦ ملاحظات هامة :

1 - كتلة الغاز M = كتلة الجزيء الواحد $m \times$ عدد الجزيئات N أي :

$$M = m \times N \Rightarrow m = \frac{M}{N}$$

وفي حالة مول واحد من الغاز تكون :

كتلة المول M' = كتلة الجزيء الواحد $m \times$ عدد أفوجادرو N_A أي :

$$M' = m \times N_A \Rightarrow m = \frac{M'}{N_A}$$

2 - عدد جزيئات الغاز N = عدد المولات $n \times$ عدد الجزيئات التي يحتوي عليها المول N_A .

$$N = n \times N_A \Rightarrow n = \frac{N}{N_A}$$

3 - عدد جزيئات الغاز N = حجم الغاز V_{ol} \times عدد الجزيئات الموجودة في وحدة الحجم منه N' .

$$N = V_{ol} \times N' \Rightarrow N' = \frac{N}{V_{ol}}$$

♦♦♦ مثال محلول :

إحسب عدد الجزيئات الموجودة في وحدة الحجم من غاز الأوكسجين 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 :

$$\therefore P = \frac{1}{3} \frac{N m v^2}{V_{ol}} \Rightarrow P = \frac{1}{3} \left(\frac{N}{V_{ol}} \right) m v^2 = \frac{1}{3} N' m v^2$$

حيث N' هي عدد الجزيئات الموجودة في وحدة الحجم من الغاز.

$$\Rightarrow N' = \frac{3 P}{m v^2} = \frac{3 \times 1.013 \times 10^5}{52.8 \times 10^{-27} \times (4.63 \times 10^2)^2}$$

$$N' = 2.699 \times 10^{25} \text{ Molecules / m}^3$$

♦♦♦ مثال محلول :

وضع غاز النيتروجين في إناء عند (م . ض . د S.T.P) فاحسب جذر متوسط مربع سرعات جزيئاته إذا كان المول من النيتروجين كتلة 0.028 كجم وعدد أفوجادرو 6.023×10^{23} وثابت بولتزمان $1.013 \times 10^5 \text{ N / m}^2$ والضغط المؤثر هو $1.38 \times 10^{-23} \text{ Joule / }^\circ \text{K}$
المعطيات :

$$N_A = 6.023 \times 10^{23} \quad \diamond \quad k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ Joule / }^\circ \text{K} \quad \diamond \quad P = 1.013 \times 10^5 \text{ N / m}^2$$

$$T = 273^\circ K \quad \diamond \quad M' = 0.028 \text{ kg} \quad \diamond \quad V_{ol} = 22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

الحل : من خلال المعطيات يمكن إيجاد الحل بطريقتين : الأولى من العلاقة :

$$\begin{aligned} P = \frac{1}{3} \frac{M' v^2}{V_{ol}} &\Rightarrow v^2 = \frac{3 P V_{ol}}{M'} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{3 P V_{ol}}{M'}} \\ \Rightarrow v = \sqrt{\frac{3 \times 1.013 \times 10^5 \times 22.4 \times 10^{-3}}{0.028}} &= 493 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

والثانية من العلاقة :

$$\begin{aligned} \frac{3}{2} k T &= \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow v^2 = \frac{3 k T}{m} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{3 k T}{m}} \\ \therefore T = 273^\circ K \quad \& \quad m = \frac{M'}{N_A} = \frac{0.028}{6.023 \times 10^{23}} & \\ \Rightarrow v = \sqrt{\frac{3 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 273 \times 6.023 \times 10^{23}}{0.028}} &= 493 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

تعليلات 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 اعتبارها كرات صغيرة تامة المرونة وبالتالي تصطدم مع بعضها ومع جدران الإناء الحاوي تصدامات 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 التصدامات 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 $(M . P . D)$ يشغل المول من الغاز حجماً قدره $22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ وحيث أن المول من الغاز يحتوي على أfoجادرو من الذرات أو الجزيئات لذا يعطي 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 .

تم بحمد الله وتوفيقه تعالى ...

المدخل الشامن

فِرْيَاد بدرجات الحرارة المُذفحة

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 ($C^{\circ} - 273$) . والمقاييس 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 :

$$P V_{ol} = n R T$$

ينطبق فقط على الغازات المثالية في جميع الظروف من الضغط ودرجة الحرارة حيث أن سلوك الغازات الحقيقة 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 المنخفضة .

❖ ولقد إقترح العالم " فان در فالز " أن السبب الأساسي لحيود الغازات الحقيقة عن الغازات المثالية قد نتج عن إقحام فرضين في نظرية الحركة للغازات . يتعلق الفرض الأول :

- بإفتراض إهمال حجم جزيئات الغاز مقارنة بحجم الإناء الحاوي (أي الحجم الكلي الذي يشغل الغاز) .
- والثاني :

- إهمال قوي التجاذب بين جزيئات الغاز وبعضاها 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 الحقيقة فإنها تتكتف وتتحول إلى سوائل ثم تتجمد في نهاية الأمر وبالتالي لا يتغير الحجم عندئذ بصورة ملحوظة بزيادة الضغط .

❖ تفسير ذلك :

عند تبريد الغازات الحقيقة تقل طاقة حركة الجزيئات كما تنقص المسافات الجزيئية الفاصلة بين الجزيئات فتقرب من بعضها البعض ويزاد عدد الجزيئات في وحدة الحجم من الغاز وبالتالي تزداد كثافة الغاز الأمر الذي يؤدي إلى تبادل تأثير الجزيئات المختلفة على بعضها البعض والناتج عن قوي التجاذب بينها ويسمى هذا التأثير بـ " تأثير فان در فالز " .

فيزيادة الضغط يتजاذب 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 .

♦♦ 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 فتقرب 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 قوي التجاذب بينها . فيزيادة الضغط وخفض درجة الحرارة يتجادب 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 أدي 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 ملامسة لمادة أخرى مبردة مسبقاً لدرجة حرارة منخفضة جداً "

- تفسير ذلك : تقوم المادة الثانية بسحب الحرارة من المادة الأولى لتعود إلى حالتها الطبيعية فتنخفض 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 فتنخفض درجة حرارته وتتكشف جزيئاته ويتحول إلى غاز مُسال) .

- عكس هذه العملية (عملية إسالة الغازات) توجد عملية التبخر (تحويل الغاز المسال مرة أخرى إلى غاز) فمن مفهوم الحرارة الكامنة لتبخر السائل إلى غاز نلاحظ أن الغاز المسال هو الذي يقوم بسحب الطاقة الحرارية من المادة الملامسة له حتى يعود إلى حالته الطبيعية (الغازية) وبالتالي تنخفض حرارة المادة المراد تبریدها .

- ومن أنجح المواد التي تُستخدم لتبريد مواد أخرى كلّ من :

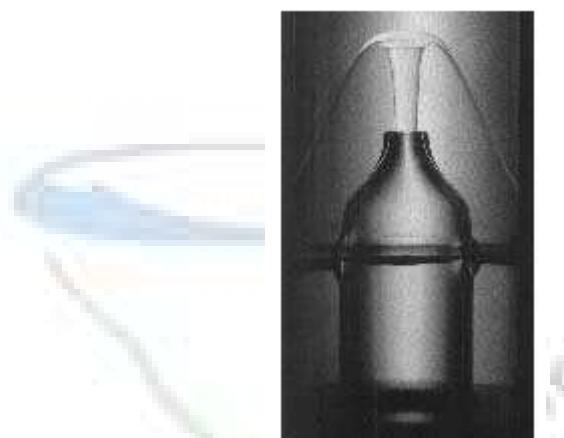
- 1 - الثلج العادي .

- 2 - الثلج الجاف (الذي هو عبارة عن ثاني أوكسيد الكربون المثلج) .
- 3 - الهواء السائل .

- ولقد تم الوصول إلى درجة $K = 77^{\circ}$ وهي درجة حرارة النيتروجين السائل كما تم الوصول إلى درجة حرارة $K = 4.2^{\circ}$ وهي درجة حرارة الهيليوم السائل .

❖ ❖ السائلة الفائقة ❖ ❖

تتميز بعض الغازات المسالة بأنها عند درجات الحرارة المنخفضة جداً والتي تقترب من الصفر المطلق تكون لها قدرة فائقة على السائلة بدون مقاومة تذكر أي بدون إحتكاك مع جدران الوعاء الذي يحتويها تقريباً .
فمثلاً : الهليوم السائل عند درجات الحرارة المنخفضة نجد أنه يتمتع بخاصية السائلة الفائقة حيث تتلاشى لزوجته كلية . كما أنه يتميز عند نفس هذه الظروف بامكانية الإنسياط لأعلى دون توقف على جوانب أي وعاء يحتويه بغض النظر عن قوي الإحتكاك والجاذبية كما في الشكل التالي :

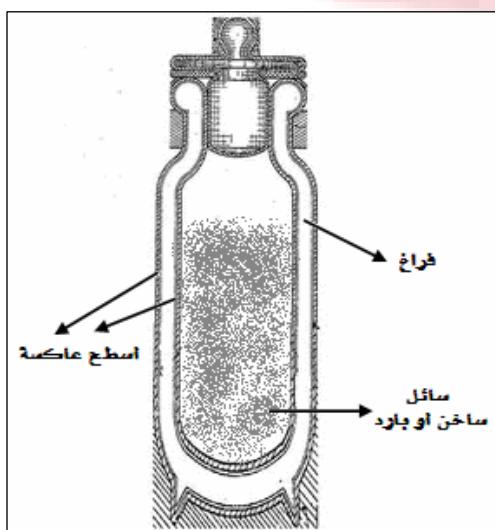


ويتميز الهليوم السائل أيضاً بانخفاض حرارته النوعية وبالتالي فهو من أفضل الموصلات الحرارية .

❖ ❖ تكلم عن السائلة الفائقة ؟ ❖ ❖

هي خاصية تتميز بها بعض الغازات المسالة عند درجات الحرارة المنخفضة جداً والتي تقترب من الصفر المطلق حيث تكون لها القدرة على السائلة بدون أي إحتكاك أو مقاومة تقريباً .

❖ ❖ قارورة ديوار ❖ ❖



صممت قارورة ديوار لتقليل فقد الحراري ولمنع إنتقال الحرارة بطرقها الثلاث (التوصيل والحمل والإشعاع) .

وهي عبارة عن وعاء زجاجي من البايركس له جدران مزدوجة المسافة الفاصلة بينهما مفرغة تماماً من الهواء وذلك لتقليل فقد الحرارة بالتوصيل أو بالحمل .

كما أن سطح 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 $K = 77^\circ$.

2 - الأوكسيجين السائل : ودرجة غليانه $K = 90^\circ$.

3 - الهليوم السائل : ودرجة غليانه $K = 4.2^\circ$ ولكن نظراً لإنخفاض كلام من حرارته النوعية ونقطة غليانه

يستخدم لتخزينه إناءين من نوعية قارورة ديوار حيث يوضع أحدهما في الآخر وتملا المسافة الفاصلة بينهما بالنيتروجين السائل أيضاً .

❖ عمل الثلاجة ❖

بداية 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 مادة 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 مختلفتين . الأولى : طاقة تستغل في زيادة الطاقة الداخلية للغاز U والتي أوضحنها سابقاً . والثانية : تظهر في الشغل الذي تبذله جزيئات الغاز W أي أن :

$$Q_{th} = \Delta U + W$$

والمعادلة السابقة تمثل القانون الأول في علم الديناميكا الحرارية .

وفي الديناميكا الحرارية أيضاً يوجد نوعين من التبادل الحراري :

❖ النوع الأول : عندما يكون الغاز موصلاً للحرارة إلى الوسط المحيط .

ف عند ثبوت درجة حرارة النظام يكون الغاز موصلاً للحرارة إلى الوسط المحيط وبالتالي فإن أي زيادة في الطاقة الداخلية للغاز ستنتقل إلى الوسط المحيط وتصبح $W = 0$ 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 .

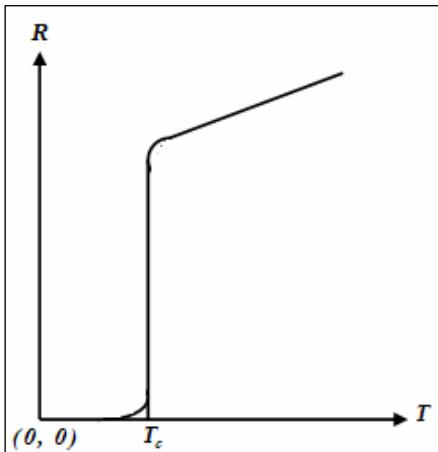
وفي هذه الحالة لا يكتسب أو يفقد الغاز أي كمية من الحرارة أي $W = 0$ أو $Q_{th} = \Delta U$ وبالتالي فإن الشغل المبذول يكون على حساب طاقته الداخلية . فإذا بذل الغاز شغلاً أي ($W = +$) فإن طاقته الداخلية ستقل وتصبح ($\Delta U = -$) ... والعكس صحيح ... فإذا بذل شغل على الغاز أي ($W = -$) فسترتفع حرارته الداخلية وتصبح ($\Delta U = +$) . وهو ما يُعرف بـ " العملية الأدبياباتية " .

وتعتبر الثلاجة من أهم التطبيقات لهاتين العمليتين . والسائل المستخدم في عملية التبريد هي غاز الفريون المسال (ودرجة غليانه $C = 30^\circ$ أو $K = 243^\circ$) .

◆◆ التوصيلية الفائقة ◆◆

بعد إكتشاف إسالة الهليوم بثلاث سنوات إكتشف العالم أونيس ظاهرة التوصيل الكهربائي الفائق لبعض الفلزات عند درجات الحرارة المنخفضة .

فعندما تنخفض درجات الحرارة إلى بعض 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 الكهربائي أي تكون قابلية التيار للمرور خلالها مرتفعة جداً وذلك دون وجود مقاومة تذكر .



وهذا يحدث عند درجة تبريد معينة تسمى بـ " درجة الانتقال إلى حالة التوصيلية الكهربائية الفائقة T_c " كما في الشكل المقابل .

وتسمى المواد التي تتميز بهذه الصفة بـ " المواد فائقة التوصيل " .

◆◆ ظواهر متربة على التوصيلية الفائقة :

من الظواهر المتربة على خاصية التوصيلية الفائقة أنه :

1 - إذا إنساب تيار كهربائي في حلقة من المواد فائقة التوصيل فإن هذا التيار يستمر حتى لو أزيل فرق الجهد الخارجي المسبب له . حيث لا يواجه هذا التيار أي مقاومة وبالتالي لا تسخن المادة ولا يفقد هذا التيار أي طاقة قد تستهلك في تعويض الطاقة الكهربائية المصاحبة له والتي تتحول إلى طاقة حرارية .

2 - عند استخدام مواد فائقة التوصيل في صناعة الدوائر الكهربائية يلاحظ أن لهذه الدوائر مقدرة عالية على التقاط 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 مغناطيسيًا 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 الديامغناطيسية أي التي ينعدم بداخلها المجال المغناطيسي لذلك فإن المجال المولد بها نتيجة تأثير مجال مغناطيسي خارجي لابد وأن يكون عكسه بحيث تكون المحصلة داخل المادة تساوي صفرًا .

◆◆ تكلم عن ظاهرة مايسنر ؟

هي ظاهرة تولد مجال مغناطيسي في المواد فائقة التوصيل (الديامغناطيسية) تحت تأثير مجال مغناطيسي خارجي بحيث يكون المجال الناتج معاكساً للمجال الخارجي حتى تصبح المحصلة داخل المادة مساوية للصفر .

◆ ومن التطبيقات المهمة على هذه الظاهرة ما يسمى بـ " القطار الطائر " حيث يحمل القطار على ملفات من مادة فائقة التوصيل وعندما يتحرك القطار فإنه يولد تياراً في هذه الملفات وبالتالي يُنتج فيها مجالاً مغناطيسيًا يتنافر مع المجال الخارجي (الذي هو عبارة عن القطبان) فيرتفع القطار فوق القطبان بعدها سنتيمترات مما يزيد الإحتكاك معها فتزيد سرعته تم بحمد الله وتوفيقه تعالى ...

الجامعة الحكمة

"الكهربائية والتيرية والكهرومغناطيسية"

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

المدخل الناجع

"الثمار الكفربي وقانونه 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 إتجاه واحد نحو القطب الموجب له . ويُطلق على سريان الإلكترونات الحرة في الموصى 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 (الموصى الكهربائي) من القطب السالب إلى القطب الموجب للعمود الكهربائي " .

ولقد أتفقَّ علي أن يكون إتجاه التيار الكهربائي من الطرف الموجب إلى الطرف السالب للعمود الكهربائي . ويسمى هذا الإتجاه بـ " الإتجاه التقليدي أو الإصطلاحي للتيار الكهربائي " .

◆ تعاريف وقوانين سبق دراستها ◆

- شدة التيار الكهربائي I : هي عبارة عن كمية الكهربية Q بالكولوم التي تمر خلال مقطع معين بالدائرة الكهربية في الثانية الواحدة . ويعطي من العلاقة :

$$I = \frac{Q}{t}$$

وتقاس شدة التيار الكهربائي بـ " الأمبير " . حيث :

$$\text{Amp.} = \text{Colomb} / \text{Sec}$$

- فرق الجهد بين نقطتين V : هو الشغل المبذول بالجول لنقل كمية من الكهربية مقدارها 1 كولوم من إحدى النقطتين إلى الأخرى . ويعطي من العلاقة :

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

ويُقاس فرق الجهد بـ " الفولت " . حيث :

$$\text{Volt} = \text{Joule} / \text{Colomb}$$

- القوة الدافعة الكهربية لمصدر E : هي الشغل الكلي المبذول لنقل كمية من الكهربية مقدارها 1 كولوم عبر الدائرة (داخل المصدر وخارج) . وتقاس القوة الدافعة الكهربية بـ " الفولت " أيضاً .

- المقاومة R : مقاومة مادة هي معاوتها لمرور التيار الكهربائي خلالها . وتقاس 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 للكهرباء " .

- بعض المواد كالبطاطس والزجاج تكون مقاومتها كبيرة جداً وذلك لندرة الإلكترونات الحرة بها لذا تسمى بـ "العزلات الجيدة للكهرباء".
- بالنسبة للهواء فإنه يعوق ويقاوم بشدة مرور التيار الكهربائي خلاه 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 تناوباً طردياً مع فرق الجهد بين طرفيه عند ثبوت درجة حرارته . أي أن :

$$V \propto I \quad \Leftrightarrow \quad V = \text{const. } I \quad \Leftrightarrow \quad V = IR \quad \Leftrightarrow \quad R = \frac{V}{I}$$

حيث R هي ثابت التناوب 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 :

$$\Omega = \text{Volt / Amp.}$$

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 :

$$R \propto l , \quad R \propto \frac{l}{A} \Rightarrow R \propto \frac{l}{A} \Leftrightarrow R = \text{const. } \frac{l}{A} = \rho_e \frac{l}{A}$$

حيث ρ_e هي ثابت التناوب وتسمى بـ " المقاومة النوعية للمادة " . إذا :

$$\rho_e = \frac{RA}{l}$$

ومنها يمكن تعريف " المقاومة النوعية للمادة " على أنها " مقاومة موصل من هذه المادة طوله 1 م ومساحة مقطعه 1 م² عند درجة حرارة معينة " . وتقاس بوحدة " أوم . م . Ω " .

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 . ويرمز لها بالرمز " σ " حيث :

$$\sigma = \frac{1}{\rho_e}$$

وتقاس بوحدة " أوم ⁻¹ . م ⁻¹ أو سيمنز . م ⁻¹ " حيث السيمنز يكافئ Ω^{-1} .

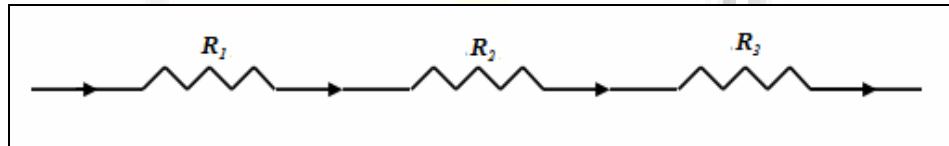
❖ ❖ توصيل المقاومات ❖ ❖

الغرض من توصيل المقاومات هو الحصول على مقاومة كبيرة أو صغيرة من مجموعة من المقاومات .
وتوصيل المقاومات إما على التوالي وإما على التوازي .

❖ ❖ أولاً : توصيل المقاومات على التوالي ❖ ❖

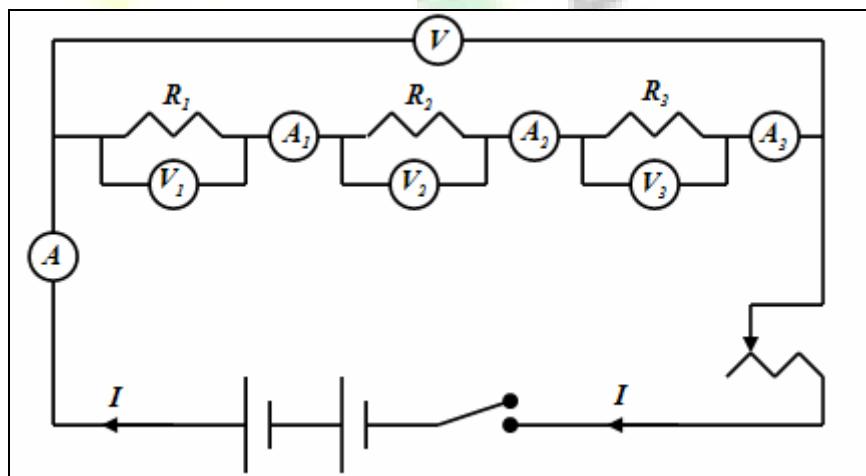
والغرض من هذا النوع من التوصيل هو الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة من المقاومات الصغيرة
القيمة .

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 سلسلة متصلة 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 كهربائية تحتوي على بطارية وأمبير (لقياس شدة
التيار المدار) وريوستات ومفتاح وجميعها موصولة 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 ولتكن 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 كهربية 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 :

$$V = V_1 + V_2 + V_3 , \quad V_1 = IR_1 , \quad V_2 = IR_2 , \quad V_3 = IR_3$$

$$\Rightarrow V = IR' = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

ومنها نجد أن :

$$R' = R_1 + R_2 + R_3$$

أي أن المقاومة المكافئة R' لمجموعة من المقاومات المتصلة على التوالى تساوى مجموع هذه المقاومات .
وعندما تكون المقاومات الموصولة على التوالى متساوية وقيمة كل منها R وعددتها N فإن :

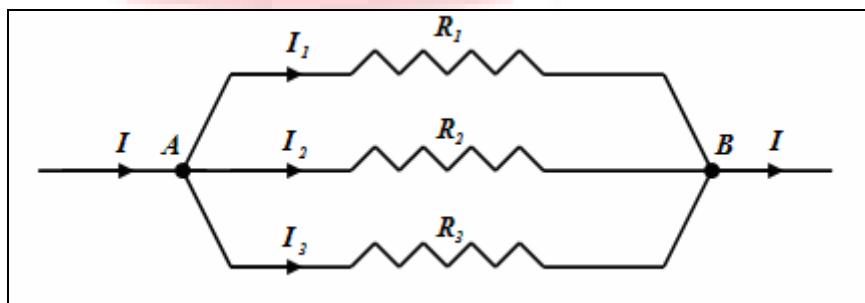
$$R' = N R$$

وبالتالى فإن المقاومة المكافئة لمجموعة من المقاومات المتصلة على التوالى تكون أكبر من أي مقاومة فيها .

❖ ثانياً : توصيل المقاومات على التوازى ❖❖

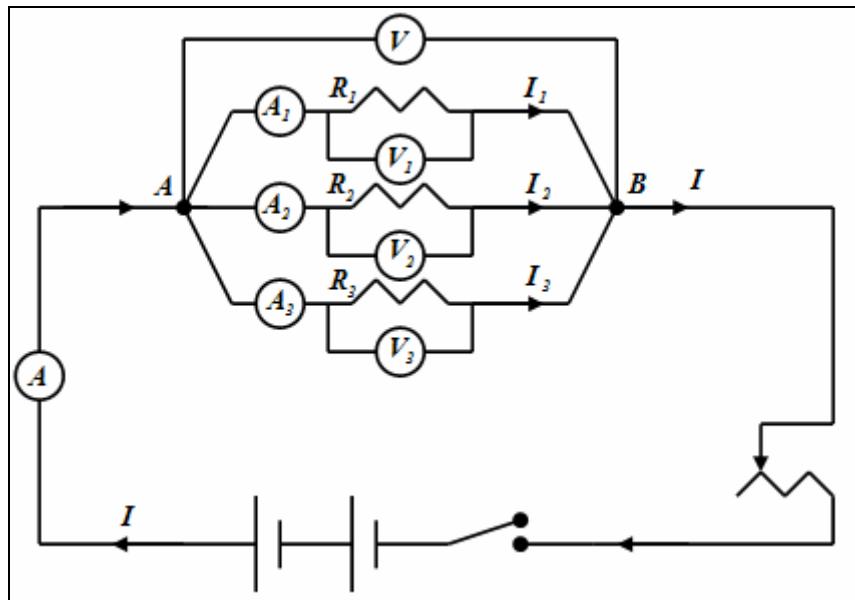
والغرض منه الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة من المقاومات .

إذا كان لدينا مجموعة من عدة مقاومات ولتكن (R_1, R_2, R_3) وأردنا توصيلهم على التوازى فإن ذلك يتم عن طريق توصيل طرفي كل مقاومة منها ب نقطتين ثابتتين ولتكن A, B كما في الشكل التالي :



❖ إيجاد المقاومة المكافئة لمجموعة من المقاومات المتصلة على التوازى عملياً :

1 - يتم دمج مجموعة المقاومات المتصلة على التوازى في دائرة كهربائية تحتوي على بطارية وأمبير (لقياس شدة التيار المار) وريوسات ومفتاح وجميعها موصولة على التوالى 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 ولتكن (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 ولتكن 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 لمجموعه من المقاومات المتصلة على التوازي يساوي مجموع مقلوبات هذه المقاومات .

وعندما تكون المقاومات الموصلة على التوازي متساوية وقيمة كل منها R وعددتها N فإن :

$$\frac{1}{R'} = \frac{N}{R} \quad \Rightarrow \quad R' = \frac{R}{N}$$

أي أن المقاومة المكافئة = قيمة مقاومة واحدة \div عددهم .

وبالتالي فإن المقاومة المكافئة لمجموعه من المقاومات المتصلة على التوازي تكون أصغر من أي مقاومة منها .

♦♦ إذا كان لدينا مقاومتان R_1, R_2 موصلتان على التوازي فإن :

$$\frac{1}{R''} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \Rightarrow R'' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

وعندما تكون $R_1 = R_2 = R$ فإن :

$$R'' = \frac{R}{2}$$

♦♦ مقارنة بين توصيل المقاومات على التوالى وعلى التوازي :

| التوصيل على التوازي | التوصيل على التوالى |
|---|--|
| 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 : $\frac{1}{R''} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}, \quad R'' = \frac{R}{N}$ | المقاومة المكافئة أكبر من أي مقاومة حيث : $R' = R_1 + R_2 + R_3, \quad R' = N R$ |
| 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 ♦♦

- بينما في ما سبق أن القوة الدافعة الكهربية مصدر هي عبارة عن الشغل الكلي المبذول لنقل كمية من الكهربية مقدارها 1 كيلوام عبر الدائرة الكهربية (داخل المصدر) في المادة الكمية الموجودة بين قطبي العمود الكهربى " وخارجه " في مقاومة الخارجية " .

إذا فرضنا أن القوة الدافعة الكهربية للعمود (البطارية) هي V_B وأن شدة التيار الماره I والمقاومة الخارجية هي R والمقاومة الداخلية للعمود هي r فإن :

القوة الدافعة للعمود الكهربى $V_B =$ فرق الجهد على مقاومة الخارجية $V +$ فرق الجهد داخل العمود (نتيجة مقاومة مادته الداخلية) V' . أي أن :

$$V_B = V + V' = IR + Ir = I(R + r) \Rightarrow I = \frac{V_B}{(R + r)}$$

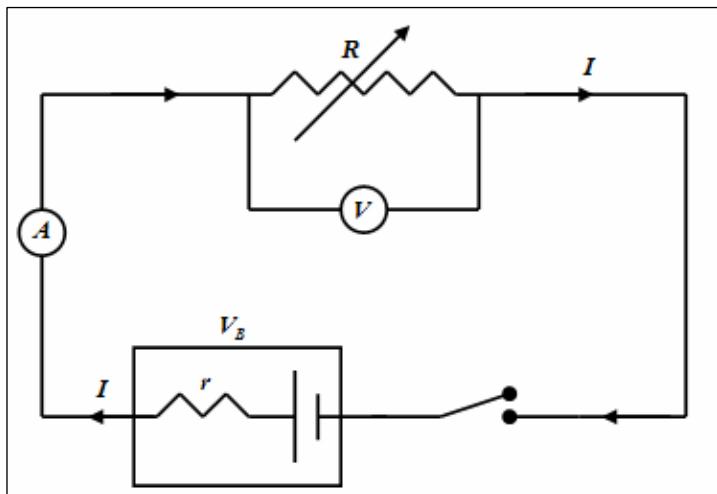
حيث أن المدار $(R + r)$ يمثل مقاومة الكلية للدائرة الكهربية . وبالتالي تكون :

$$\boxed{\text{شدة التيار المار في الدائرة} = \frac{\text{القوة الدافعة للعمود الكهربى}}{\text{المقاومة الكلية للدائرة}}}$$

والعلاقة السابقة هي عبارة عن " قانون أوم للدائرة المغلقة " .

♦♦ العلاقة بين القوة الدافعة لعمود كهربائي وفرق الجهد بين طرفيه ♦♦

- من العلاقة التالية :



$$V_B = V + Ir \quad \Leftrightarrow \quad V = V_B - Ir$$

نجد أنه مع إنفاس شدة التيار المار في الدائرة المقابلة وذلك بزيادة قيمة المقاومة الخارجية R يزداد فرق الجهد بين قطبي العمود الكهربائي . 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 الكهربائي متساوية 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 كهربائي في الدائرة) " .

♦♦ ما يعني أن القوة الدافعة الكهربية لعمود كهربائي = 1.5 فولت ؟ يعني ذلك أن فرق الجهد بين قطبي هذا العمود عندما تكون الدائرة مفتوحة (أي في حالة مرور تيار كهربائي في الدائرة) = 1.5 فولت .

♦♦ أمثلة محلولة ♦♦

1 - وصلت 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 موصولة على التوالي فإن التيار المار في الدائرة يكون هو نفسه في كل مقاومة ويعطي من قانون أوم للدائرة المغلقة التالي :

$$I = \frac{V_B}{R} = \frac{45}{180} = 0.25Amp. \rightarrow 1$$

- حساب فرق الجهد على المقاومات الثلاث :

فرق الجهد على المقاومة الأولى $V_1 = IR_1 = 0.25 \times 25 = 6.25V.$

فرق الجهد على المقاومة الثانية $V_2 = IR_2 = 0.25 \times 70 = 17.5V.$

فرق الجهد على المقاومة الثالثة $V_3 = IR_3 = 0.25 \times 85 = 21.25V.$

وللتتأكد :

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 6.25 + 17.5 + 21.25 = 45V.$$

2 - إذا وصلت المقاومات الثلاث التي في المثال السابق على التوازي مع نفس المصدر فإحسب 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 موصولة على التوازي فإن فرق الجهد (وفي حالتنا هذه القوة الدافعة الكهربية) يكون هو نفسه على كل مقاومة .

وتعطي شدة التيار الكلي من قانون أوم للدائرة المغلقة التالي :

$$I = \frac{V_B}{R} = \frac{45}{15.15} = 2.97 Amp.$$

- حساب شدة التيار المار في كل مقاومة :

$$I_1 = \frac{V_B}{R_1} = \frac{45}{25} = 1.8 Amp.$$

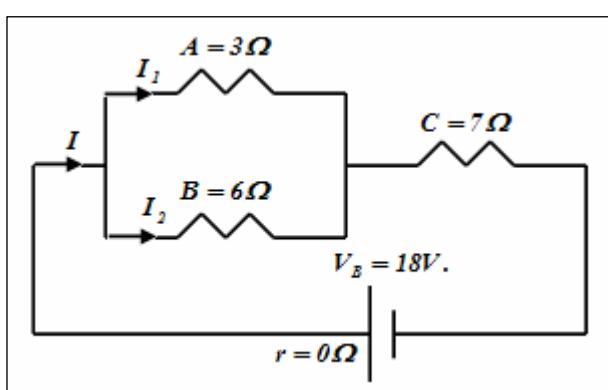
$$I_2 = \frac{V_B}{R_2} = \frac{45}{70} = 0.643 Amp.$$

$$I_3 = \frac{V_B}{R_3} = \frac{45}{85} = 0.529 Amp.$$

وللتتأكد :

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 1.8 + 0.643 + 0.529 = 2.97 Amp.$$

3 - في الشكل التالي وصلت المقاومتان A, B معاً على التوازي ثم وصلت المجموعة على التوازي مع مقاومة ثالثة هي C وبطارية قوتها الدافعة 18 فولت . فإذا كانت المقاومات A, B, C هي على الترتيب $3\Omega, 6\Omega, 7\Omega$ فإحسب مع إهمال المقاومة الداخلية للبطارية ما يلي : المقاومة الكلية / شدة التيار المار في الدائرة / شدة التيار المار في كلّ من A, B من



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 لهم ولتكن D تُعطى من العلاقة :

$$D = \frac{A \times B}{A + B} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = \frac{18}{6} = 2\Omega$$

وبالتالي تُصبح الدائرة السابقة على الصورة .

وتحل المقاومتان D, C موصلتان على التوالى . وبالتالي تُعطى المقاومة الكلية للدائرة ولتكن R من العلاقة :

$$R = D + C = 2 + 7 = 9\Omega$$

ثانياً : وبتطبيق قانون أوم للدائرة المغلقة لنجعل على شدة التيار الكلي المار في الدائرة ويكون :

$$I = \frac{V_B}{R} = \frac{18}{9} = 2Amp.$$

ثالثاً : إذاً يكون فرق الجهد على المقاومة D ولتكن 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 :

$$I_A = \frac{V'}{A} = \frac{4}{3} = 1.33Amp. \quad \& \quad I_B = \frac{V'}{B} = \frac{4}{6} = 0.667Amp.$$

4 - وصلت مقاومتان على التوالى وكانت المقاومة الكلية 25 أوم وعندما وصلتا على التوازي كانت المقاومة الناتجة 6 أوم . فنحسب قيمة كلًّا من هاتين المقاومتين على حدة ؟

الحل :

بفرض أن هاتين المقاومتين هما R_1, R_2 وأن المقاومة المكافئة لهما هي R .

- ففي حالة التوالى :

$$R = R_1 + R_2 = 25 \Rightarrow R_1 = 25 - R_2 \quad \otimes$$

- وفي حالة التوازي يكون :

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 6 \Rightarrow \frac{(25 - R_2) R_2}{25 - R_2 + R_2} = \frac{25 R_2 - R_2^2}{25} = 6$$

$$25 R_2 - R_2^2 = 150 \Rightarrow R_2^2 - 25 R_2 + 150 = 0$$

ويحل هذه المعادلة عن طريق إيجاد عددين حاصل ضربهما 150 ومجموعهما 25 فيكون :

$$(R_2 - 10)(R_2 - 15) = 0$$

أي أن $R_1 = 10\Omega$ أو $R_2 = 15\Omega$. وبالتالي في المعادلة \otimes تكون $R_1 = 15\Omega$ أو $R_2 = 10\Omega$

❖ ❖ ثم يحمد الله ونؤديه تعالى ❖ ❖

The image displays four sets of decorative Arabic calligraphy arranged horizontally. Each set consists of three stylized, blocky letters in a golden-brown color, representing the names Abu Bakr, Umar, Uthman, and Ali respectively. The letters are intricately designed with geometric patterns and shading.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

إعداد الأستاذ / رجب مصطفى

"الوحدة الرابعة / الفصل العاشر: أولاً / "تأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي"

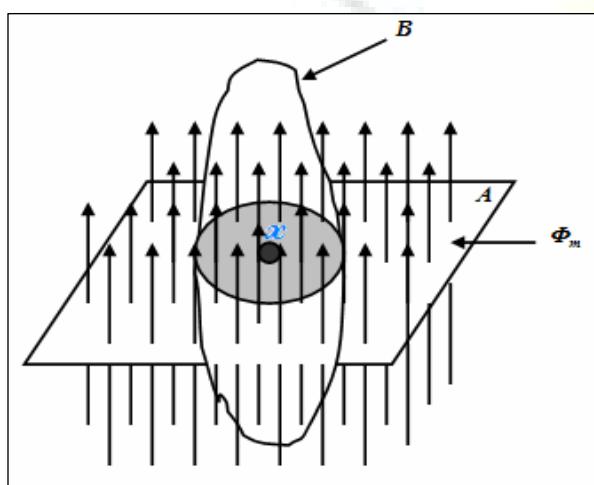
تأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي

◆ مقدمة :

لاحظ العالم أورستيد أنه عند وضع بوصلة مغناطيسية صغيرة بالقرب من سلك يمر به تيار كهربائي فإن إبرة البوصلة تنحرف لتأخذ إتجاه معين وعند قطع التيار الكهربائي عن السلك فإنها تعود إلى وضعها الأصلي . ولقد استنتج أورستيد من هذه الملاحظة أن التيار الكهربائي المار في سلك (موصل) يولد حوله مجال مغناطيسي . وقد وجداً أن خطوط الفيصل المغناطيسي الناتجة عن هذا المجال المغناطيسي تختلف باختلاف شكل الموصى مع العلم بأن خطوط الفيصل المغناطيسي هي خطوط تخيلية أو وهمية .

ف "الفيصل المغناطيسي" والذي يرمز له بالرمز Φ_m يُقدر بـ "العدد الكلي لخطوط الفيصل المغناطيسي التي تمر عمودياً على مساحة ما" . ويُقاس بـ "الواير Weber" .

أما "كثافة الفيصل المغناطيسي عند نقطة" فيرمز لها بالرمز B وتقدر بـ "عدد خطوط الفيصل المغناطيسي التي تمر عمودياً بوحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة" أو هي عبارة عن "الفيصل المغناطيسي لوحدة المساحة" . وتقاس بـ "التسلا Tesla" .



ويوضح الشكل التالي الفرق بين الفيصل المغناطيسي Φ_m خلال مساحة معينة ولتكن المساحة A وكثافة الفيصل المغناطيسي B عند نقطة B ولتكن النقطة x (ملحوظة : المنطقة المظللة تمثل وحدة المساحة المحيطة بالنقطة x) .

أي أن :

$$B = \frac{\Phi_m}{A} \quad \Leftrightarrow \quad \Phi_m = BA$$

$$\text{Tesla} = \text{Weber} / m^2 \quad \text{ومنها :}$$

- وسنتناول في هذا الفصل دراسة المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيار الكهربائي في موصل على هيئة :
- 1 - سلك مستقيم .
- 2 - ملف دائري .
- 3 - ملف تولبي (حلزوني) .

◆ أولاً : المجال المغناطيسي لتيار كهربائي يمر في سلك مستقيم ◆



ولدراسة شكل خطوط الفيصل المغناطيسي بالقرب من سلك مستقيم يمر به تيار كهربائي ننشر بعناية كمية من برادة الحديد على سطح لوح أفقي من الورق المقوى يحيط بسلك مستقيم يمر به تيار كهربائي ثابت الشدة ثم نطرق اللوح عدة طرقات خفيفة فنلاحظ أن برادة الحديد تترتب على هيئة دوائر منتظمة متعددة المركز ومركزها السلك المستقيم نفسه كما في الشكل المقابل .

❖ ولقد وجد بالتجربة أن كثافة الفيصل المغناطيسي B تتوقف على عاملين هامين هما :

- 1 - البعد عن السلك d : فيلاحظ أن الدوائر التي تمثل خطوط الفيصل المغناطيسي تتراهم بالقرب من السلك وتبعدها عنه وبالتالي فإن شدة المجال المغناطيسي الناتج تزداد بالإقتراب من السلك وتقل بالإبعاد عنه أي أن كثافة الفيصل المغناطيسي تتناسب عكسياً مع البعد عن السلك أو :

$$B \propto \frac{1}{d} \rightarrow I$$

- 2 - شدة التيار الكهربى 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 الفيصل المغناطيسي تتناسب طردية مع شدة التيار الكهربى أو :

$$B \propto I \rightarrow 2$$

من 1 و 2 نجد أن :

$$B \propto \frac{I}{d} \Leftrightarrow B = \text{const.} \frac{I}{d} \Rightarrow B = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I}{d} \rightarrow 3$$

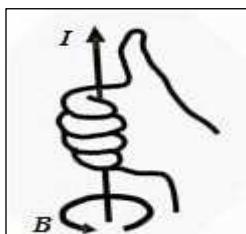
والمقدار $(\mu / 2\pi)$ هو ثابت التناسب . و μ هي مقدار ثابت للوسط ويُعرف بـ " النفاذية المغناطيسية للوسط " . والنفاذية المغناطيسية للهواء أو الفراغ $= 4\pi \times 10^{-7}$ وير / أمبير × متر .

والعلاقة رقم 3 تُعرف بـ " قانون أمبير الدائري " . وعندما يكون الوسط هو الهواء أو الفراغ فإن :

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi} \frac{I}{d} \Rightarrow B = 2 \times 10^{-7} \times \frac{I}{d} \text{ Tesla}$$

ولذا سبق يُنصح ببناء المساكن بعيداً عن أبراج الضغط العالي حفاظاً على الصحة العامة والبيئة .

❖ ملحوظة : يُعبر عن شدة المجال المغناطيسي بكثافة الفيصل المغناطيسي .



❖ ولتعيين إتجاه خطوط الفيصل المغناطيسي يُستخدم لذلك قاعدة تسمى بـ " قاعدة اليد اليمني لأمبير " والتي تنص على أنه " عندما تقبض اليد اليمني على السلك بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه التيار الكهربى فإن اتجاه الأصابع المتلقة على السلك يحدد إتجاه خطوط الفيصل المغناطيسي " . كما هو مُبين بالشكل المقابل .

❖ مثال محلول :

عين كثافة الفيصل المغناطيسي عند نقطة في الهواء على بعد 10 سم من سلك مستقيم طويل يمر به تيار شدته 10 أمبير ؟

المعطيات :

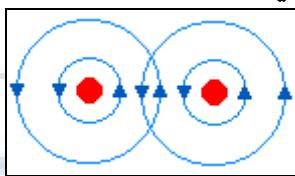
$$I = 10 \text{ Amp.} \quad \diamond \quad d = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m} \quad \diamond \quad \text{الوسط هواء}$$

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 إتجاه الكمية الفيزيائية (تيار كهربى / مجال مغناطيسى / قوة) عمودي على الصفحة للداخل. والرمز \oplus (عفواً : الرمز الصحيح دائرة بداخلها نقطة) إذا كان إتجاه الكمية الفيزيائية عمودي على الصفحة للخارج.
 - ▷ إذا كان لدينا سلكين مستقيمين متوازيين وتمر في كل منهما تيار كهربى I_1 و I_2 وأردنا تعين الفيصل المغناطيسى في نقطة بينهما فإنه :
- 1 - إذا كان التياران الماريان في السلكين في نفس الإتجاه : فإن كثافتي الفيصل في المنطقة المحصورة بينهما تكونان في إتجاهين متضادين (كما في الشكل التالي) :



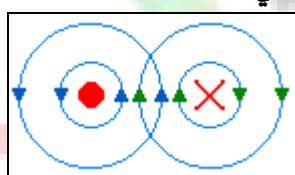
وتكون مجملتهما أقل من كثافة الفيصل خارج السلكين لذا ينشأ بينهما قوة تجاذب وتكون مجملة كثافة الفيصل المغناطيسى B هي :

$$B = B_1 - B_2 \quad \text{أو} \quad B = B_2 - B_1$$

- 2 - إذا كان التياران الماريان في السلكين في نفس الإتجاه ولهم نفس الشدة : فإن كثافتي الفيصل في المنطقة المحصورة بينهما تكونان متساوين وفي إتجاهين متضادين وبالتالي تكون مجملتهما في منتصف المسافة بينهما تساوى صفر ونسمى بـ "نقطة التعادل" وعندها يكون :

$$B_1 = B_2 \quad \Rightarrow \quad B = B_1 - B_2 = 0$$

- 3 - إذا كان التياران الماريان في السلكين في اتجاهين متضادين : فإن كثافتي الفيصل في المنطقة المحصورة بينهما تكونان في نفس الإتجاه (كما في الشكل التالي) :

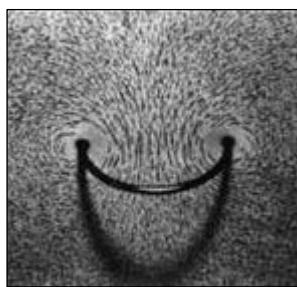


وتكون مجملتهما أكبر من كثافة الفيصل خارج السلكين لذا ينشأ بينهما قوة تنافر وتكون مجملة كثافة الفيصل المغناطيسى B هي :

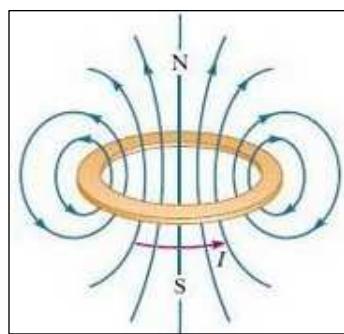
$$B = B_2 + B_1$$

❖ ثانياً : المجال المغناطيسي لتيار كهربى يمر في ملف دائري ❖

وكما سبق فإنه لدراسة شكل خطوط الفيصل المغناطيسي بالقرب من ملف دائري يمر به تيار كهربى ننشر بعنابة كمية من برادة الحديد على سطح لوح أفقي من الورق المقوى يخترقه ملف دائري بحيث يكون مستواه رأسياً ويمر به تيار كهربى ثابت الشدة ثم نطرق اللوح عدة طرقات خفيفة فنلاحظ أن برادة الحديد (وبالتالي خطوط الفيصل المغناطيسي) تترتب كما بالشكل المقابل بحيث :



1 - تكون عبارة عن دوائر بيضاوية تتزامن داخل الملف وتبتعد خارجه أي أن خطوط الفيصل المغناطيسي تفقد دائريتها حول كل من فرعى الملف .

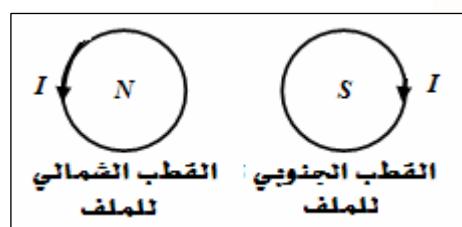


2 - تكاد تكون عبارة عن خطوط مستقيمة ومتوازية في منطقة ضيقة حول محور الملف (ومتعامدة على مستوى) مما يدل على أن المجال المغناطيسي في هذه المنطقة مجال منتظم .

3 - تختلف كثافة الفيصل المغناطيسي من نقطة لأخرى .

❖ ومن الشكل المقابل تلاحظ أن الملف الدائري الذي يمر به تيار كهربى يُماثل مغناطيس على هيئة قرص مصمم له قطبان مستديران .

❖ ويلاحظ أن خطوط الفيصل المغناطيسي تخرج من أحد وجهي الملف ثم تدخل في الوجه الآخر أي أن يشبه إلى حد كبير المجال المغناطيسي لмагناطيس قصير قطبيه هما وجهي الملف ولمعرفة نوع القطب في كلّ من وجهيه



نستخدم ما يُسمى بـ "قاعدة عقارب الساعة" . "عند 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 مُبين بالشكل المقابل .

❖ ولقد وجد أن كثافة الفيصل المغناطيسي B عند مركز الملف الدائري تتوقف على العوامل التالية :

1 - عدد لفات الملف N : فتتناسب كثافة الفيصل المغناطيسي تناضباً طرديةً مع عدد اللفات أو :

$$B \propto N \rightarrow 1$$

2 - شدة التيار الكهربى I : فتتناسب كثافة الفيصل المغناطيسي تناضباً طرديةً مع شدة التيار الكهربى أو :

$$B \propto I \rightarrow 2$$

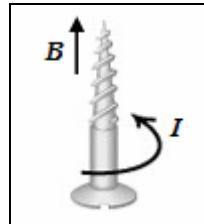
3 - نصف قطر الملف r : فتتناسب كثافة الفيصل المغناطيسي تناضباً عكسياً مع نصف قطره أو :

$$B \propto \frac{1}{r} \rightarrow 3$$

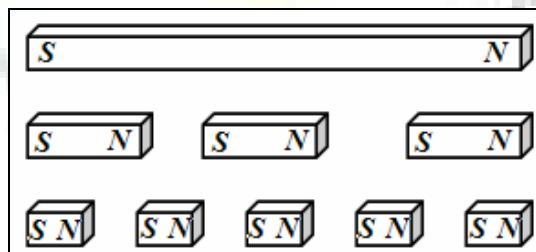
من 1 و 2 و 3 نجد أن :

$$B \propto \frac{NI}{r} \Leftrightarrow B = const. \frac{NI}{r} \Rightarrow B = \frac{\mu}{2} \frac{NI}{r} \rightarrow 4$$

♦ ولتعيين إتجاه خطوط المغناطيسي يُستخدم لذلك قاعدة تسمى بـ "قاعدة البريمة اليمني" والتي تنص على أنه " عند دوران (ريط) بريمة (مسمار قلاووظ) باليد اليمني عند مركز الملف بحيث يُشير إتجاه دورانها إلى إتجاه التيار الكهربائي فيه فإن إتجاه إنفاسها يدل على إتجاه خطوط المغناطيسي (إتجاه المجال المغناطيسي) عند مركز الملف " .



♦ مما سبق نصل إلى أن الملف الدائري الذي يمر به تيار كهربائي يكافئ ما يطلق عليه "ثنائي القطب المغناطيسي" . ففي الطبيعة لا توجد أقطاب مغناطيسية منفردة فمثلاً لا يوجد قطب شمالي منفرد أو قطب جنوبى منفرد فلذلك تم تقسيم مغناطيسياً إلى عدد كبير من الأجزاء نجد أن كل جزء عبارة عن ثنائي قطب مغناطيسي فدائماً كل جزء له قطبان أحدهما شمالي N والأخر جنوبى S (كما في الشكل التالي) في حين يوجد في الطبيعة أقطاب كهربائية 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 . فإذا حسب كثافة الفيصل المغناطيسي عند مركز الملف (النفاذية المغناطيسية للهواء = $4\pi \times 10^{-7}$ وير / أمبير \times متر) ♦
 $I = 0.7 \text{ Amp.}$ ♦ $N = 50 \text{ turns}$ ♦ $2r = 22 \text{ cm} = 0.22 \text{ m}$ ♦ $\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Weber / Amp.} \times \text{m}$

الحل :

$$\Rightarrow B = \frac{\mu}{2} \frac{NI}{r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 50 \times 0.7}{0.22} = 2 \times 10^{-4} \text{ Tesla}$$

2 - ملف دائري مكون من لفة واحدة يمر به تيار شدته 5 أمبير فيولد في مركزه قيمة معينة لكثافة الفيصل المغناطيسي . إذا حسب شدة التيار الذي يمر في سلك مستقيم بحيث ينشأ عنه نفس كثافة الفيصل عند نقطة يُعدّها العمودي عن السلك يساوي نصف قطر الملف ؟

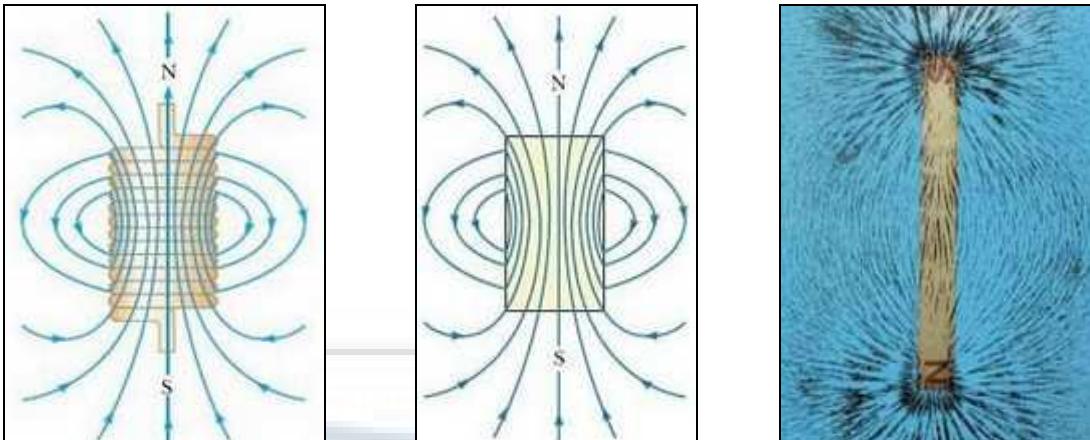
$$I_1 = 5 \text{ Amp.}$$
 ♦ $N = 1 \text{ turn}$ ♦ $B_1 = B_2$ ♦ $d = r$

الحل :

$$\begin{aligned} \therefore B_1 &= \frac{\mu NI_1}{2r}, \quad B_2 = \frac{\mu I_2}{2\pi d} \quad \& \quad B_1 = B_2 \\ \Rightarrow \frac{\mu NI_1}{2r} &= \frac{\mu I_2}{2\pi d} \quad \Leftrightarrow \quad NI_1 = \frac{I_2}{\pi} \quad \Rightarrow \quad 1 \times 5 = \frac{I_2}{3.14} \\ \Rightarrow I_2 &= 3.14 \times 5 = 15.7 \text{ Amp.} \end{aligned}$$

◆ ◆ ثالثاً : المجال المغناطيسي لتيار كهربى يمر في ملف لوبي ◆ ◆

عندما يمر تيار كهربى في ملف لوبي يتولد حوله ويدخله مجال مغناطيسي يشبه إلى حد كبير المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي . وكما هو مبين في الأشكال التالية :



نلاحظ أن خطوط الفيصل المغناطيسي تمثل مسارات متصلة ومغلقة داخل وخارج الملف حيث تكون هذه الخطوط عند محور الملف اللوبي وبالقرب منه على هيئة خطوط متوازية أي أن المجال المغناطيسي في هذه المنطقة يكون منتظماً .

♦ ولقد وجد أن كثافة الفيصل المغناطيسي B عند مركز الملف اللوبي تتوقف على العوامل التالية :

1 - عدد اللفات في وحدة الأطوال n : فتتناسب كثافة الفيصل المغناطيسي تناوباً طردياً مع عدد اللفات في وحدة الأطوال أو :

$$B \propto n \rightarrow 1$$

مع العلم بأن : عدد لفات الملف N = طول الملف l × عدد اللفات الموجودة في وحدة الأطوال منه n أي أن :

$$N = l \times n \Leftrightarrow n = \frac{N}{l}$$

2 - شدة التيار الكهربى I : فتتناسب كثافة الفيصل المغناطيسي تناوباً طردياً مع شدة التيار الكهربى أو :

$$B \propto I \rightarrow 2$$

من 1 و 2 نجد أن :

$$B \propto nI \Leftrightarrow B = \text{const. } nI \Rightarrow B = \mu n I \Leftrightarrow B = \mu \frac{NI}{l} \rightarrow 3$$

♦ ملحوظة : إذا كان لدينا ملف لوبي عدد لفاته N لفة ونصف قطر اللفة هو r فإن طول الملف يعطي من العلاقة : طول الملف l = عدد اللفات N × 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 اتجاه خطوط الفيصل المغناطيسي يُستخدم لذلك "قاعدة البريمية اليمني" السابقة باعتبار أن الملف اللوبي يتكون من مجموعة ملفات دائيرية متعددة المركز .

❖ ولمعرفة 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 الفيصل المغناطيسي يكون هو القطب الشمالي للملف . أما الطرف الذي تدخل فيه خطوط الفيصل المغناطيسي فيكون القطب الجنوبي للملف .

❖ أمثلة محلولة :

1 - إحسب كثافة الفيصل المغناطيسي عند نقطة على محور ملف تولبي (حلزوني) ويدخله عندما يكون طول الملف 24 سم وعدد لفاته 20 لفة ويمر به تيار كهربائي شدة 0.24 أمبير ؟

$$l = 24 \text{ cm} = 0.24 \text{ m} \quad \diamond \quad N = 20 \text{ turns} \quad \diamond \quad I = 0.24 \text{ Amp.}$$

$$\Rightarrow B = \mu \frac{NI}{l} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{20 \times 0.24}{0.24} = 2.512 \times 10^{-5} \text{ Tesla}$$

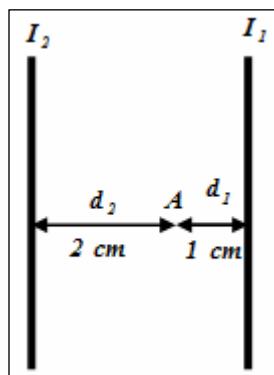
2 - إذا وضع داخل الملف السابق قضيب من الحديد المطاوع النفاذية المغناطيسية له 10^{-3} وير / أمبير . متر .
 فإذا وجد كثافة الفيصل عند نفس النقطة السابقة ؟

$$\mu = 2 \times 10^{-3} \text{ Weber / Amp.} \times \text{m}$$

$$B = \mu \frac{NI}{l} = 2 \times 10^{-3} \times \frac{20 \times 0.24}{0.24} = 4 \times 10^{-2} \text{ Tesla}$$

3 - سلكان مستقيمان متوازيان البُعد بينهما 3 سم ويحمل كلاً منهما تيار شدته 40 أمبير . فإحسب كثافة الفيصل 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 الفيصل المغناطيسي عند النقطة A لكل سلك على حدة :

$$B_1 = \frac{\mu}{2\pi d_1} I_1 = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{40}{2\pi \times 0.01} = 8 \times 10^{-4} \text{ Tesla}$$

$$B_2 = \frac{\mu}{2\pi d_2} I_2 = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{40}{2\pi \times 0.02} = 4 \times 10^{-4} \text{ Tesla}$$

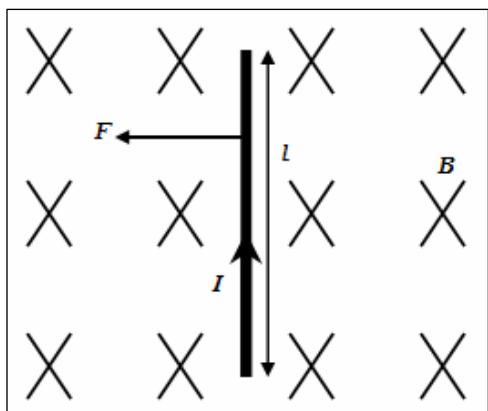
ثانياً : عندما يكونا في نفس الإتجاه ومما سبق يكون :

$$B = B_1 - B_2 \quad : \quad B_1 > B_2 \quad \Rightarrow \quad B = B_1 - B_2 = 8 \times 10^{-4} - 4 \times 10^{-4} = 4 \times 10^{-4} \text{ Tesla}$$

ثالثاً : عندما يكونا في إتجاهين متضادين يكون :

$$B = B_1 + B_2 \quad \Rightarrow \quad B = B_1 + B_2 = 8 \times 10^{-4} + 4 \times 10^{-4} = 12 \times 10^{-4} \text{ Tesla}$$

♦ القوة التي يؤثر بها مجال مغناطيسي على سلك يمر به تيار كهربائي ♦

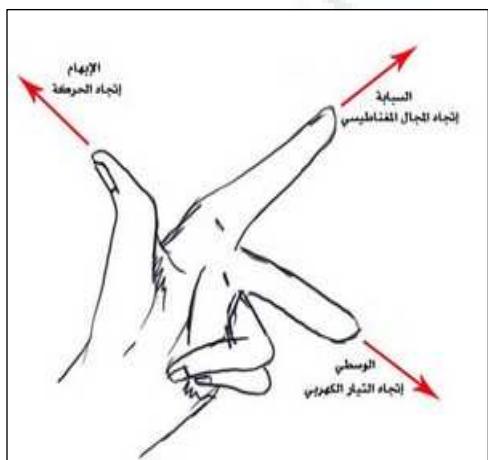


عندما يوضع سلك مستقيم يمر به تيار كهربائي عمودياً بين قطبي مغناطيسي فإنه سيتأثر بقوة تحركه في إتجاه معين . هذه القوة تكون عمودية على كلّ من السلك المستقيم (التيار الكهربائي) والمجال المغناطيسي بين قطبي المغناطيسي (كما هو مبين في الشكل المقابل) .

♦ ملحوظة : الرمز \otimes يدل على أن إتجاه المجال المغناطيسي عمودي على الصفحة للداخل كما بينا سابقاً .

وعندما ينعكس إتجاه التيار الكهربائي المار في السلك المستقيم فإن

إتجاه القوة المحركة الناشئة سينعكس أيضاً وبالتالي يتحرك السلك المستقيم في الإتجاه المخالف للإتجاه الأول . وفي كل الأحوال تكون القوة المحركة عمودية على كلّ من إتجاه التيار الكهربائي المار في السلك و إتجاه المجال المغناطيسي بين قطبي المغناطيسي .



♦ ويستخدم لتحديد إتجاه 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 والوسطي) متعامدة على بعضها البعض بحيث تشير السبابة إلى إتجاه المجال المغناطيسي وتشير الوسطي إلى إتجاه التيار الكهربائي فإن الإبهام يُشير عندئذ إلى اتجاه القوة المغناطيسية الناشئة والتي تحرّك 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 / : فتناسب القوة المغناطيسية تناسباً طردياً مع طول السلك أو :

$$F \propto l \rightarrow 1$$

2 - شدة التيار الكهربائي I : فتناسب القوة المغناطيسية تناسباً طردياً مع شدة التيار الكهربائي أو :

$$F \propto I \rightarrow 2$$

3 - كثافة الفيصل B : فتناسب القوة المغناطيسية تناسباً طردياً مع كثافة الفيصل المغناطيسي أو :

$$F \propto B \rightarrow 3$$

من 1 و 2 و 3 نجد أن :

$$F \propto B I l \Leftrightarrow F = \text{const. } B I l \rightarrow 4$$

ولقد أتفق على أن تؤثر وحدة كثافة الفيصل 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 :

$$F = B I l \quad \text{Newton} \quad \Rightarrow \quad B = \frac{F}{I l} \quad \text{Tesla} = \text{Newton} / \text{Amp.} \times m$$

ومنها يمكن تعريف "التسلا" على أنها "كثافة الفيصل المغناطيسى التي تولد قوة مقدارها 1 نيوتن على سلك طوله 1 متر يمر به تيار كهربى شدته 1 أمبير عندما يكون عمودياً على خطوط الفيصل المغناطيسى" .

◆ ما معنى أن كثافة الفيصل المغناطيسى عمودياً عند نقطة = 2 تسلا ؟

معني ذلك أنه إذا وضع عند هذه النقطة سلك مستقيم طوله 1 متر يمر به تيار كهربى شدته 1 أمبير عمودياً على خطوط الفيصل المغناطيسى (المجال المغناطيسى) فإنه يتأثر بقوة مقدارها 2 نيوتن .

- هذا عندما يكون المجال المغناطيسى عمودياً على إتجاه التيار الكهربى المار في السلك المستقيم . أما عندما يميل المجال المغناطيسى B بزاوية θ على إتجاه التيار الكهربى المار في السلك المستقيم كما هو موضح بالشكل المقابل . فإنه سيتم تحليل كثافة الفيصل المغناطيسى B إلى مركبتين متعامدتتين إحداهما موازية لإتجاه التيار الكهربى وهي $B \cos \theta$ وهذه لا تؤثر بأى قوة على السلك . والأخرى عمودية على إتجاه 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 المغناطيسى متوازيين فإن القوة F ستعدم أي أن :

$$F = 0 \quad \text{at} \quad \theta = 0^\circ$$

◆ القوة الناشئة بين سلكين مستقيمين متوازيين ويرتبا على كل منهما

فإذا كان لدينا سلكين مستقيمين متوازيين ويرتبا على كل منهما تيار كهربى I_1 و I_2 فإنه ستشكل بينهما قوة تكون جاذبة إذا كان التيارين في نفس الإتجاه وتنافرية إذا كانوا في إتجاهين متضادين كما سبق وأن بينا .

- ولحساب القوة التي يؤثر بها مجال أحد السلكين على السلك الآخر نفترض الشكل التالي :

وفيه نعطي كثافة الفيصل المغناطيسى 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 يتاثر بقوة مغناطيسية هي ناتجة عن المجال المغناطيسي للسلك 2 حيث :

$$F_1 = B_2 I_1 l \Rightarrow F_1 = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I_2}{d} I_1 l \Rightarrow F_1 = \frac{\mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2 l}{d}$$

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} تスلا عندما يتاثر 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 طويلان طول كلّاً منهما 75 سم في الهواء على بعد 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 فإنّ حسب قيمة القوة المغناطيسية التي يؤثر بها أحد السلكين على الآخر ؟

المعطيات :

$$\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Weber / Amp.} \cdot \text{m}$$

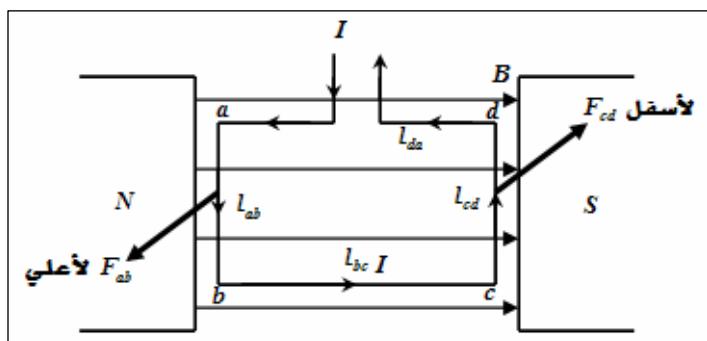
$$l = 75 \text{ cm} = 0.75 \text{ m} \quad \diamond \quad d = 14 \text{ cm} = 0.14 \text{ m} \quad \diamond \quad I_1 = 20 \text{ Amp.} \quad \diamond \quad I_2 = 10 \text{ Amp.}$$

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) .

فعندهما يمر في الملف تيار كهربائي شدته I أمبير يكون كلاماً من الضلعين ad و bc موازيين لخطوط الفيض المغناطيسي وبالتالي تكون القوة المؤثرة على كل منها متساوية للتصافر كما سبق وأن بينا .

أما الضلعين ab و cd فيكونان متعمدين على خطوط الفرض وبالتالي تتأثران بقوى متساويتين ومتوازيتين في المقدار ومتضادتين في الإتجاه .

حيث تكون القوة المؤثرة على الضلع ab هي F_{ab} وقيمتها BIl_{ab} وإتجاهها لأعلى (تبعاً لقاعدة اليد اليسري لفلمنج) بينما تكون القوة المؤثرة على الضلع cd هي F_{cd} وقيمتها BIl_{cd} وإتجاهها لأسفل (تبعاً نفس القاعدة) (ملحوظة : $l_{ab} = l_{cd}$) .

هاتان القوتان تكونان إزدواجاً يعمل على دوران الملف حول محوره في إتجاه عقارب الساعة . وحيث أن البعد العمودي بين القوتين هو l_{ad} أو l_{bc} لذا يعطى "عزم الإزدواج" (ويُرمز له بالرمز τ) والذي هو عبارة عن قيمة إحدى القوتين \times البعد العمودي بينهما من العلاقة :

$$\begin{aligned} \text{let } F_{ab} &= F_{cd} = F \\ \text{and } l_{ab} &= l_{cd} = l \\ \Rightarrow \tau &= F \times l_{bc} = BIl \times l_{bc} \end{aligned}$$

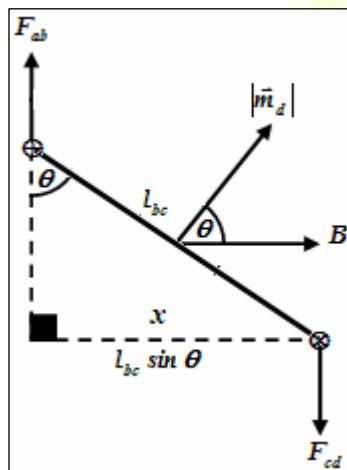
ولكن المقدار ($l \times l_{bc}$) هو عبارة عن مساحة الملف A (الطول $l \times$ العرض l_{bc}) . وبالتالي يكون : $\tau = BIA$

ومنها نلاحظ أن عزم الإزدواج يُقاس بوحدة النيوتن \times متر . $\text{Newton} \times \text{meter}$
وإذا كان الملف يحتوي على عدد N من اللفات فإن العزم الكلي له يصبح على الصورة :

$$\tau = BIAN$$

ومنها نلاحظ أن المقدار (IAN) يمثل 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 مستوى الملف موازيًا لخطوط المجال المغناطيسي أما عندما يميل المجال المغناطيسي B بزاوية θ على إتجاه المتجه العمودي على مستوى الملف (إتجاه عزم ثنائي القطب المغناطيسي) (الشكل المقابل) فإن البعد العمودي x بين القوتين x و F_{cd} يكون عبارة عن المقدار $l_{bc} \sin \theta$ (هندسياً) ويعطي عزم الإزدواج من العلاقة :

$$\begin{aligned} \tau &= F \times l_{bc} \sin \theta = BIl \times l_{bc} \sin \theta \\ \Rightarrow \tau &= BIAN \sin \theta \end{aligned}$$

ومنها نجد أن أقصى قيمة لعزم الإزدواج تكون عندما يكون إتجاه المجال المغناطيسي عمودياً على إتجاه عزم ثنائي القطب المغناطيسي أي عندما تكون $\theta = 90^\circ$.

❖ ... ثم يحمد الله ونؤديه تعالى ... ❖

المدخل [الطاوش] (ج)

أجهزة القياس الكهربائي

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الرابعة / الفصل العاشر : ثانياً / "أجهزة القياس الكهربائي "

أجهزة القياس الكهربائي

◆ مقدمة :

تنقسم أجهزة القياس الكهربائي إلى نوعين أساسيين هما :

1 - أجهزة قياس مباشرة : مثل الجلفانومتر ذو الملف المتحرك والأمبير والأوميترا والفولتميترا . وهي أجهزة سهلة الإستخدام ولكنها غير دقيقة .

2 - أجهزة قياس غير مباشرة : مثل القنطرة المترية وقنطرة هوبيستون ومقاييس 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 المغناطيسي للتيار الكهربائي . وأبسط هذه الأجهزة هو :

◆ ◆ الجلفانومتر ذو الملف المتحرك ◆ ◆

- والجلفانومتر ذو الملف المتحرك هو جهاز يستخدم في :

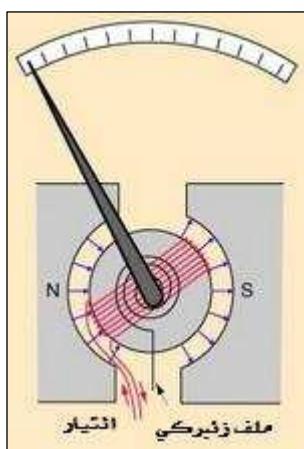
◆ الإستدلال على وجود تيارات كهربية ضعيفة جداً في دائرة ما .

◆ قياس شدة هذه التيارات وتحديد اتجاهها .

◆ ◆ فكرة عمله :

تعتمد فكرة عمل الجلفانومتر ذو الملف المتحرك كما سبق وأن قلنا على التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي . فعندما يمر تيار كهربائي في ملف قابل للدوران في مجال مغناطيسي فإنه يتاثر بعزم إزدوج يعمل على حرف هذا الملف بزاوية معينة تتناسب مع شدة التيار الكهربائي 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 حواجز من العقيق بحيث يقع بين قطبي مغناطيس قوي على شكل حذاء الفرس قطباه المتقابلان م-curran مما يؤدي إلى تنظيم وتركيز الفيض المغناطيسي بينهما .

3 - يوجد زوج من الملفات اللولبية (الزنبركية) أحدهما علوي والأخر سفلي . وهذا الملفان يعملان على :

أ / توصيل التيار الكهربائي إلى الملف : حيث يستخدم أحدهما لدخول التيار في الملف والأخر لخروج التيار منه .

ب / التحكم في حركة الملف : حيث ينشأ عن قوة اللي الموجدة في الزنبركين إزدوج يعمل في عكس اتجاه الإزدوج الناشئ عن مرور التيار الكهربائي في الملف .

ج / عودة الملف إلى وضعه الأصلي عند قطع التيار عنه .

4 - يُثبت في الملف مؤشر خفيف من الألومنيوم يتحرك على تدرج منتظم .

❖ علل : في الجلفانومتر ذو الملف المتحرك يكون القطبان المغناطيسيان المتقابلان مقعران كما يُلف الملف حول أسطوانة من الحديد المطاوع .

وذلك حتى تكون خطوط الفيصل المغناطيسي بينهما على هيئة أنصاف أقطار للأسطوانة وبالتالي يُصبح مستوى الملف في أي موضع موازياً لخطوط الفيصل المغناطيسي وعندئذ تكون كثافة الفيصل 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 إزدوج يعمل على دوران الملف في إتجاه معين ول يكن في إتجاه حركة عقارب الساعة .

2 - يتحرك المؤشر مع الملف في نفس الإتجاه .

3 - يتولد عزم إزدوج يعمل في إتجاه عكس إتجاه حركة عقارب الساعة وهو ناشئ عن قوة اللي في الملفات الزنبركية .

4 - يستقر الملف وبالتالي المؤشر في موضع معين عندما يتزن عزم الإزدوج الناتج عن القوة المغناطيسية مع العزم الناتج عن قوة اللي .

5 - عند عكس إتجاه التيار في الملف فإن الملف وبالتالي المؤشر يدوران في الإتجاه المخالف للإتجاه الأول .

6 - تدل قراءة المؤشر على التدرج على قيمة شدة التيار الكهربائي المار .

❖ حساسية الجلفانومتر :

ثُقاس " حساسية الجلفانومتر " بـ " مقدار زاوية انحراف المؤشر عندما يمر في الملف تيار كهربائي شدته الوحدة " .
أي أن :

$$\text{حساسية الجلفانومتر} = \frac{\theta}{I} \quad (\text{درجة / ميكرو أمبير}) \text{ أو } (\deg / \mu \text{Amp.})$$

❖ ملاحظة : تم استخدام وحدة الميكرو أمبير كوحدة لقياس شدة التيار المار في الجلفانومتر لأن التيارات الضعيفة غالباً ما تُقاس بهذه الوحدة .

❖ ما يعني 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 الإنحراف الكبير له وتختلف الركائز التي يستند عليها وأيضاً إنصهار سلك الملف نتيجة للحرارة المترسبة فيه عند مرور تيار عالي الشدة خلاله .

كما يجب صيانة أو معايرة الجلفانومتر ذو الملف المتحرك بعد فترات مختلفة من الاستعمال لأن قوي اللي المخزن في الملفين الزنبركين تقل بكثره الاستعمال .

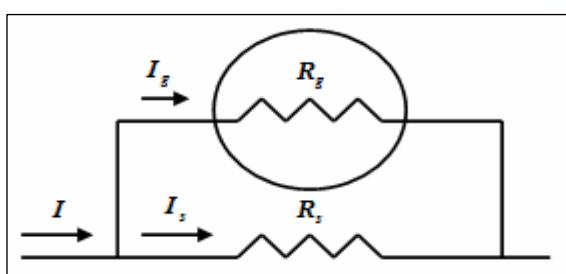
♦ تطبيقات على الجلفانومتر :

♦♦ أمبير التيار المستمر ♦♦

من المعروف أن الأميتر جهاز يستخدم لقياس التيار الكهربائي ذو الشدة العالية مباشرةً 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 مدي الجلفانومتر وجعله يقيس شدة التيارات العالية (أي تحويله إلى أميتر) يوصل بملفه (أي ملف الجلفانومتر) مقاومة صغيرة جداً على التوازي تسمى بـ "جزئ التيار" ويرمز لها بالرمز R_s .



- وبالتالي فإن الأميتر يتكون من جلفانومتر ذو ملف متحرك يوصل بملفه على التوازي مجزئ للتيار كما بالشكل .

♦ فائدة مجزئ التيار :

- حيث أن مجزئ التيار عبارة عن مقاومة صغيرة جداً موصلة على التوازي مع الجلفانومتر ذو الملف المتحرك لذا تصبح

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 .

- حيث أن التوصيل على التوازي لذا يتجزأ التيار ويمر الجزء الأعظم منه وليكن I_s في المجزئ ويمرباقي وليكن I_g في ملف الجلفانومتر وبالتالي يصبح الجهاز صالحًا لقياس تيارات ذات شدة أكبر مما كان الملف يتحملها بمفردة .

- 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 وهم عبارة عن مقاومتين متصلتين على التوازي 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 تعريف مقاومة مجزئ التيار R_s التي يلزم إضافتها إلى ملف الجلفانومتر ليتحول إلى أميتر يقيس تيار شدته I أمبير .

❖ ملحوظة: يوصل الأميتير في الدائرة الكهربائية على التوالى حتى يكون التيار المار فيه هو نفسه التيار المار في الدائرة . كما أن مقاومة الأميتير يجب أن تكون صغيرة جداً حتى 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 أميتير النهاية العظمى لتدريجه 10 أمبير ؟
المعطيات :

$$R_g = 2\Omega \quad \diamond \quad I_g = 5 \text{ m Amp.} = 5 \times 10^{-3} \text{ Amp.} \quad \diamond \quad I = 10 \text{ Amp.}$$

الحل :

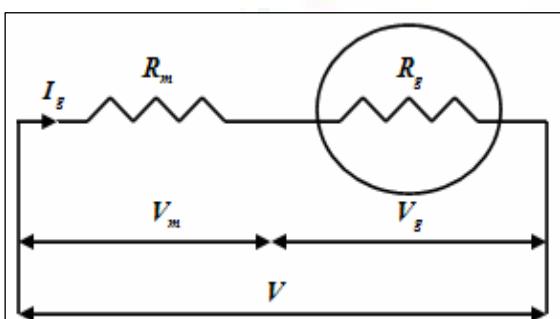
$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{5 \times 10^{-3} \times 2}{10 - 0.005} = 0.001\Omega$$

❖ فولتميتر التيار المستمر ❖

يستخدم الفولتميتر لقياس فرق الجهد بين أي نقطتين في دائرة كهربائية وأيضاً قياس القوة الدافعة الكهربائية لعمود أو بطارية .

ويوصل الفولتميتر على التوازي بين طرفي الموصى المطلوب قياس فرق الجهد بين طرفيه لهذا يجب أن تكون مقاومة الفولتميتر عالية حتى لا يسحب تياراً كبيراً من الدائرة الأصلية فلا تتأثر شدة التيار المار فيها تأثراً ملحوظاً وبالتالي لا يحدث تغير في فرق الجهد المطلوب قياسه .

وحيث أن فرق الجهد بين طرفي ملف الجلفانومتر صغير جداً حتى مع إنحراف مؤشره إلى نهاية التدرج فإنه لتحويل الجلفانومتر ذو الملف المتحرك إلى فولتميتر يجب أن يوصل بملفه (أي ملف الجلفانومتر) مقاومة كبيرة جداً على التوالى تسمى بـ " مضاعف الجهد " ويرمز لها بالرمز R_m .



- وبالتالي فإن الفولتميتر يتكون من جلفانومتر ذو ملف متحرك يوصل بملفه على التوالى مضاعف للجهد كما بالشكل .

❖ فائدة مضاعف الجهد :

- حيث أن مضاعف الجهد عبارة عن مقاومة كبيرة جداً موصولة على التوالى مع الجلفانومتر ذو الملف المتحرك لهذا

تصبح 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 .

- 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 التدريج حيث :

$$V_m = I_g R_m \quad , \quad V_g = I_g R_g$$

(2) ويفرض أن R_m هي مقاومة مضاعف الجهد و R_g هي مقاومة ملف الجلفانومتر وهما عبارة عن مقاومتين متصلتين على التوالي لذا يمكّنهما 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 تعين مقاومة مضاعف الجهد R_m التي يلزم إضافتها إلى ملف الجلفانومتر ليتحول إلى فولتميتر يقيس فرق جهد مقداره V فولت .

♦ ملاحظة : المقاومة الكلية للفولتميتر عبارة عن :

$$R = R_m + R_g \Rightarrow V = I_g (R_m + R_g)$$

لأن كلاً من R_g و R_m موصلتين على التوالي .

♦ مثال محلول :

فولتميتر معد لقراءة 150 فولت عند نهاية إنحراف مؤشره . فإذا كانت مقاومة ملفه (ملف الجلفانومتر) 50 أوم وشدة التيار المار فيه هي 4×10^{-4} أمبير . فإحسب 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 :

| الفولتميتر | الأميتر | وجه المقارنة |
|---|--|------------------------|
| قياس فرق الجهد مباشرةً بالفولت أو الميلي فولت . | قياس شدة التيار مباشرةً بالأميتر أو الميلي أمبير . | الوظيفة |
| على التوازي . | على التوالي . | التوصيل في الدائرة |
| مقاومة كبيرة على التوازي (مضاعف الجهد) . | مقاومة صغيرة على التوازي (مجزئ التيار) . | يوصل بملف الجلفانومتر |
| كبيرة جداً . | صغيرة جداً . | المقاومة الكلية للجهاز |

♦ الأوميتر ♦

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 تعين قيمتها من قانون أوم . وإذا ثبتنا فرق الجهد عند قيمة معينة فيمكننا رفع الفولتميتر من الدائرة ومعايير الجلفانومتر ليعطي قيمة مقاومة مجهولة مباشرةً حيث أنه مع زيادة المقاومة تقل شدة التيار المار في الدائرة (عند ثبوت فرق الجهد) . أي أن الأوميتر عبارة عن جلفانومتر ذو ملف متحرك معدل لقياس مقاومة أي جزء من أجزاء الدائرة مباشرةً .

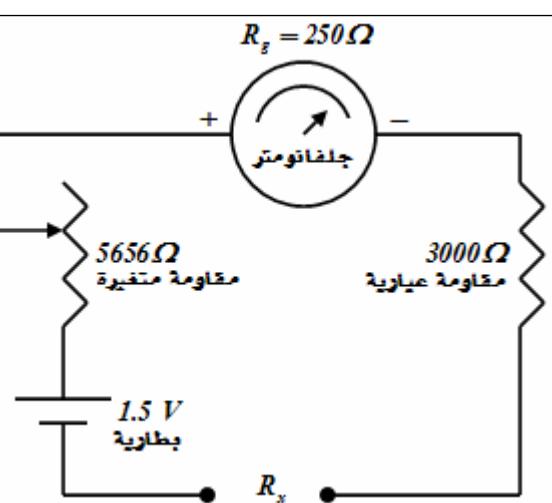
♦ تركيب الأوميتر :

فكمما هو موضح في الشكل المقابل نجد أن الأوميتر يتكون من :

(1) ميكروأميتر مقاومته $R_g = 250\Omega$ قيمتها 250 أوم وأقصى قراءة له (I_g) 400 ميكروأميتر .

ملحوظة : يمكن اعتبار الجلفانومتر عبارة عن ميكروأميتر .
(2) مقاومة عيارية (ثابتة) ولتكن R_c قيمتها 3000 أوم .

(3) مقاومة متغيرة (ريوستات) ولتكن R_x مداها من صفر إلى 5656 أوم . وتستخدم في تغيير مقاومة الأوميتر الكلية حتى ينحرف مؤشره إلى نهاية تدريجه .



(4) عمود كهربائي قوته الدافعة الكهربائية ولتكن V_B قيمتها 1.5 فولت مع إهمال مقاومته الداخلية ($r = 0$) .

(5) توصل المقاومة المجهولة R_x المطلوب إيجاد قيمتها بين طرفي الإختبار للجهاز كما هو مبين بالشكل .

♦ معايير الأوميتر :

(1) نغلق الدائرة بدون أن نضع أي مقاومة وذلك بتلامس طرفي الإختبار للجهاز عندئذ يمر تيار كهربائي في الدائرة .

(2) نعدل المقاومة المتغيرة حتى ينحرف المؤشر إلى نهاية التدرج وعندئذ يمر أقصى تيار في الميكروأميتر (400 ميكروأميتر) وتعتبر نهاية التدرج هذه هي صفر للأوميتر 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 :

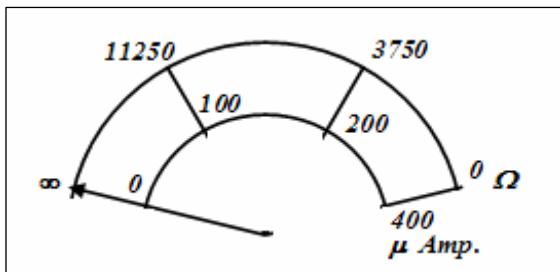
$$R = \frac{1.5}{400 \times 10^{-6}} = 3750 \Omega$$

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 معايير الجهاز بدلالة قيمة المقاومة التي تم إدخالها وذلك حسب الجدول التالي :

| R_x (Ω) | I (μ Amp.) | R_x (Ω) | I (μ Amp.) | R_x (Ω) | I (μ Amp.) | R_x (Ω) | I (μ Amp.) |
|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| 0 | 400 | 3750 | 200 | 11250 | 100 | ∞ | 0 |

♦ تدريج الأومميتر :



من الجدول السابق والشكل المقابل ثلاحظ أن تدريج الأومميتر عكس تدريج الميكروأميتر وذلك لأن :

- 1 - الصفر على تدريج الميكروأميتر يدل على أن شدة التيار = صفر وعندئذ تكون المقاومة أكبر ما يمكن (ما لا نهاية) .
- 2 - نهاية تدريج الميكروأميتر تدل على أن شدة التيار نهاية عظمى وعندئذ تكون المقاومة منعدمة (صفر) .
- 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 وتشتمل أجهزة القياس التي تعتمد على قراءة المؤشر " الأجهزة التناهيرية " أما النوع الآخر من الأجهزة والتي تعتمد على قراءة الأعداد على شاشة صغيرة فتسمى بـ " الأجهزة الرقمية " وهي تعتمد على الإلكترونيات الرقمية ويتكون هذا النوع من الأجهزة بأنها متعددة الأغراض حيث يمكن بجهاز واحد منها قياس كلّ من التيار والجهد والمقاومة .

♦ مثال محلول :

جلفانومتر مقاومته 25 أوم يصل مؤشره إلى نهاية تدريجه إذا مر به تيار شدته 0.02 أمبير . فإذا أردت تعديله إلى أومميتر فما مقدار المقاومة العيارية التي يجب استخدامها علماً بأن القوة الدافعة الكهربية للعمود المستخدم = 1.5 فولت ؟ وما مقدار المقاومة التي عند قياسها بواسطة الأومميتر تجعل المؤشر ينحرف إلى 10 ميللي 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' .

$$\Rightarrow R' = \frac{V_B}{I_{g_1}} = \frac{1.5}{0.02} = 75 \Omega$$

$$\therefore R' = R_c + R_g \quad \Rightarrow \quad R_c = R' - R_g = 75 - 25 = 50 \Omega \quad \rightarrow 1$$

ويفرض أن المقاومة الكلية للدائرة في حالة وجود مقاومة خارجية ولتكن R هي '' R''

$$\Rightarrow R'' = \frac{V_B}{I_{g_2}} = \frac{1.5}{10 \times 10^{-3}} = 150 \Omega$$

$$\therefore R'' = R_c + R_g + R \quad \Rightarrow \quad R = R'' - R_c - R_g = 150 - 75 = 75 \Omega \quad \rightarrow 2$$

♦ ... نحمد الله ونؤله يفه عالي .. ♦

الفصل الطاقي عشر

الدُّرُّ الْكَفُورِ وَمَغْنَاطِيسِينَ

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 حول 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 ثبّني 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 ويُلاحظ إنحراف مؤشر الجلفانومتر إنحرافاً لحظياً في إتجاه معين .

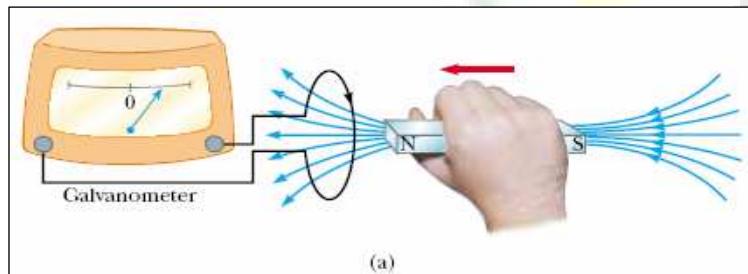
3 - عند إخراج المغناطيس من الملف فإن لفات السلك تقطع خطوط الفيض المغناطيسي أيضاً ويُلاحظ إنحراف مؤشر الجلفانومتر إنحرافاً لحظياً في الإتجاه المضاد .

4 - عند تثبيت المغناطيس وتحريك الملف نحو المغناطيس أو بعيداً عنه حصل على نفس النتائج .

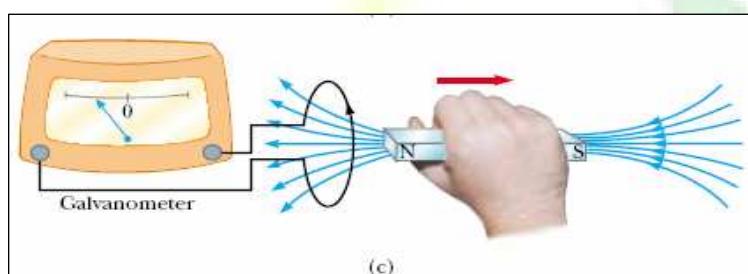
♦ نستنتج مما سبق :

أنه إذا قطع موصل مجالاً مغناطيسياً فإنه يتولد في الموصل قوة دافعة كهربية تسمى بـ "القوة الدافعة المستحثة" يُرمز لها بالرمز (emf) كما يمر في الموصل تيار كهربائي يسمى بـ "تيار مستحث" وتسمى هذه الظاهرة بـ "الحث الكهرومغناطيسي" .

ف "الحث الكهرومغناطيسي" هو "ظاهرة تولد قوة دافعة مستحثة وتيار كهربائي مستحث في موصل عندما يقطع خطوط الفيض المغناطيسي" .



(a)



(c)

♦ قانون فاراداي ♦

قام فاراداي بعدد من التجارب خلص من خلالها إلى العوامل التي يتوقف عليها مقدار القوة الدافعة المستحثة المترولة في موصل . هذه العوامل هي :

- الحركة النسبية بين الموصل والمجال المغناطيسي : حيث تعمل على إحداث تغير في عدد خطوط الفيض المغناطيسي التي يقطعها الموصل في زمن معين ... ويعني آخر ... تعمل على إحداث تغير في المعدل الزمني الذي يقطع به الموصل خطوط الفيض المغناطيسي الأمر الذي يؤدي أن تولد قوة دافعة مستحثة فيه .
ويتناسب مقدار هذه القوة الدافعة المستحثة تناضباً 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 .

- اتجاه هذه الحركة : حيث يتوقف إتجاه القوة الدافعة المستحثة على إتجاه حركة الموصل .
- عدد لفات الملف : حيث يتتناسب مقدار القوة الدافعة المستحثة تناضباً طردياً مع عدد لفات الملف الذي يقع خطوط الفرض . أي أن :

$$emf \propto N$$

مما سبق نجد أن مقدار القوة الدافعة المستحثة يتبع من العلاقة :

$$emf = - N \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t}$$

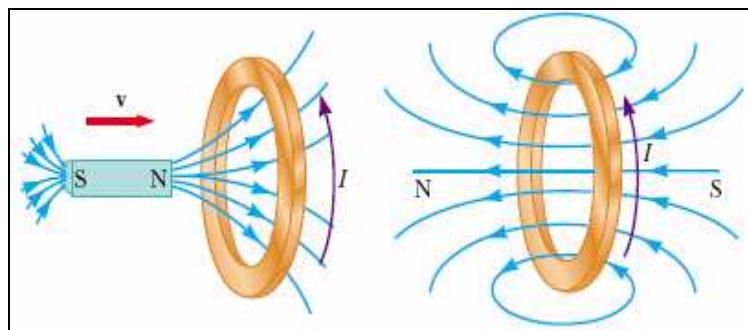
وهي ما يُعرف بـ "قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي" والذي ينص على أن "مقدار القوة الدافعة المستحثة المترولة في موصل بالحث الكهرومغناطيسي يتتناسب تناضباً طردياً مع المعدل الزمني الذي يقطع به الموصل خطوط الفرض" .

وتدل الإشارة السالبة على أن إتجاه القوة الدافعة المستحثة وبالتالي إتجاه التيار يُعاكِس التغير المسبب له . يُعرف بـ "قاعدة لنز" .

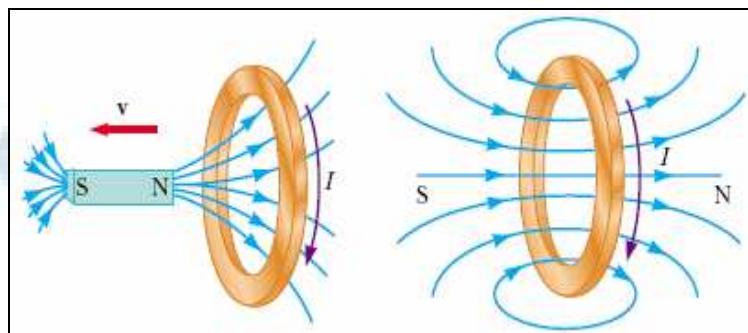
♦ قاعدة لنز ♦

تنص "قاعدة لنز" على أن "التيار الكهربائي المستحدث المترول في الموصل يأخذ الإتجاه الذي يُعاكِس التغير المسبب له" . فمثلاً :

- عند تقريب القطب الشمالي لمغناطيس من ملفٍ ما فإنه يتولد فيه تيار كهربائي مستحدث يمر في إتجاه معين بحيث يكون قطب شمالي عند طرف الملف المواجه للقطب الشمالي للمغناطيس فتعمل قوى التناقض الناتجة بين القطبين المتشابهين على مقاومة حركة تقريب هذا القطب (وهو التغير المسبب للتيار المستحدث) .



2 - أما عند إبعاد القطب الشمالي لمغناطيس عن الملف فإنه يتولد فيه تيار كهربائي مستمر يمر في الاتجاه المضاد بحيث يكون قطب جنوبى عند طرف الملف المواجه للقطب الشمالي للمغناطيس فتعمل قوى التجاذب الناتجة بين القطبين المختلفين على مقاومة حركة إبعاد هذا القطب المؤثر (وهو التغير السبب للتيار المستمر) .



♦ إتجاه التيار الكهربائي المستمر في سلك مستقيم ♦



يمكن تعين إتجاه التيار المستمر المتولد في سلك مستقيم باستخدام ما يُعرف بـ "قاعدة اليد اليمنى لفلمنج" والتي تنص على أنه : "عند جعل أصابع اليد اليمنى الثلاث (الإبهام والسبابة والوسطي) متعدمة على بعضها البعض بحيث تشير السبابة إلى إتجاه المجال المغناطيسي ويشير الإبهام إلى إتجاه حركة السلك فإن الوسطي تشير عنده إلى إتجاه التيار الكهربائي المستمر في هذا السلك ". كما هو مُبين في الشكل المقابل .

♦♦ الحث المتبادل ♦♦

إذا وضع ملفان أحدهما داخل الآخر أو بالقرب منه فإن تغير شدة التيار المار في أحدهما يولّد قوة دافعة مستحثة في الآخر . أي أن الملفين يؤثّر 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 الفيصل المغناطيسي يتناسب أيضاً تناهياً طردياً مع شدة التيار الكهربائي المار حيث :

$$\frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t} \propto \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

لذا فإن القوة الدافعة المستحثة المولدة في الملف الثاني تتناسب طردياً مع معدل التغير في شدة التيار الكهربائي المار في الملف الأول . أي أن :

$$(emf)_2 \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \Rightarrow (emf)_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

حيث M مقدار ثابت يسمى "معامل الحث المتبادل بين الملفين" وهو عبارة عن "مقدار القوة الدافعة المستحثة المولدة في أحد الملفين عندما تتغير شدة التيار في الملف الآخر بمعدل 1 أمبير في الثانية" .

والإشارة السالبة تدل على أن القوة الدافعة المستحثة تعاكس 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 :

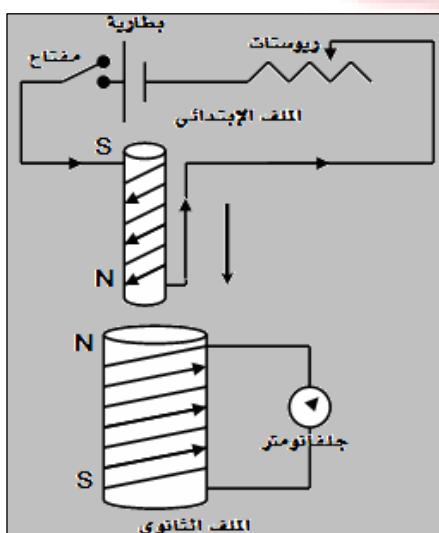
$$Henry = Volt \cdot sec / Amp.$$

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 كلّ 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 الإبتدائي" .

أما الملف الثاني فيوصل بجلفانومتر حساس صفره في منتصف التدرج ويُعرف هذا الملف بـ "الملف الثانوي" .

أي أن "الملف الإبتدائي" هو "الملف الذي يمر به تيار كهربائي متغير الشدة فيتولد حوله ويداخله مجال مغناطيسي" .

أما "الملف الثانوي" فهو "الملف الذي يقطع خطوط الفيصل المغناطيسي فيتولد فيه قوة دافعة مستحثة وتيار مستحث إذا كانت دائرة مغلقة" .

◆ التجربة :

- 1 - نغلق دائرة الملف الإبتدائي ونقر به (أو ندخله) من (أو في) الملف الثانوي فنلاحظ إنحراف مؤشر الجلفانومتر في إتجاه معين دليلاً على تولد قوة دافعة مستحثة في الملف الثانوي وذلك نتيجة لتغير خطوط الفيصل المغناطيسي التي تمر بلفات هذا الملف . وعند إبعاد الملف الإبتدائي (أو اخراجه) عن (أو من) الملف الثانوي نلاحظ إنحراف مؤشر الجلفانومتر في الإتجاه المضاد .
- 2 - بزيادة شدة التيار المار في الملف الإبتدائي أثناء وجوده داخل الملف الثانوي نلاحظ إنحراف مؤشر الجلفانومتر في إتجاه معين . وعند انفاس شدة التيار نلاحظ إنحراف المؤشر في الإتجاه المضاد . الأمر الذي يدل على تولد قوة دافعة مستحثة في الملف الثانوي بزيادة شدة التيار المار في الملف الإبتدائي أو نقصانه .
- 3 - أثناء وجود الملف الإبتدائي داخل الملف الثانوي ... نغلق دائرة الملف الإبتدائي نلاحظ إنحراف مؤشر الجلفانومتر في إتجاه معين . وعند فتح دائرة الملف الإبتدائي نلاحظ إنحراف المؤشر في الإتجاه المضاد . الأمر الذي يدل على تولد قوة دافعة مستحثة في الملف الثانوي أثناء خلق دائرة الملف الإبتدائي أو فتحها .

◆ الإستنتاج :

- نستنتج مما سبق أنه عند :

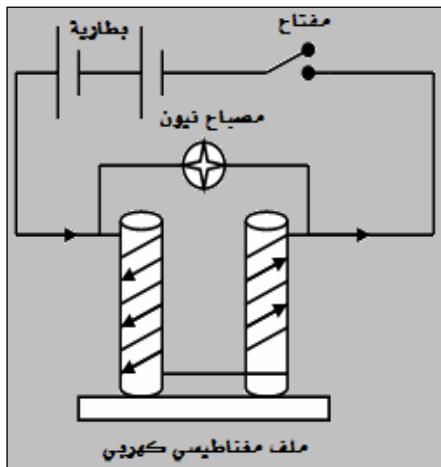
- ١ / تقريب الملف الإبتدائي أو إدخاله في الملف الثانوي .
 - ٢ / زيادة شدة التيار المار في الملف الإبتدائي أثناء وجوده داخل الملف الثانوي .
 - ٣ / غلق دائرة الملف الإبتدائي أثناء وجوده داخل الملف الثانوي .
- يتغير عدد خطوط الفيصل المغناطيسي التي تقطع الملف الثانوي (بالزيادة) وبالتالي تتولد في دائرة قوة دافعة مستحثة وتيار كهربائي مستحث يكون إتجاههما عكس إتجاه التيار المار في الملف الإبتدائي مما يعمل على مقاومة التزايد الحادث في المجال المغناطيسي (وهو المجال المؤثر) للملف الإبتدائي (وذلك حسب قاعدة لنز) لذا يُسمى هذا التيار المستحث بـ "التيار العكسي" .

- أما عند :

- ٤ / إبعاد الملف الإبتدائي أو إخراجه من الملف الثانوي .
 - ٥ / نقص شدة التيار المار في الملف الإبتدائي أثناء وجوده داخل الملف الثانوي .
 - ٦ / فتح دائرة الملف الإبتدائي أثناء وجوده داخل الملف الثانوي .
- يتغير عدد خطوط الفيصل المغناطيسي التي تقطع الملف الثانوي (بالنقصان) وبالتالي تتولد في دائرة قوة دافعة مستحثة وتيار كهربائي مستحث يكون إتجاههما في نفس إتجاه التيار المار في الملف الإبتدائي مما يعمل على مقاومة التناقض الحادث في المجال المغناطيسي (وهو المجال المؤثر) للملف الإبتدائي (حسب نفس القاعدة) لذا يُسمى هذا التيار المستحث بـ "التيار الطردي" .

◆ الحث الذاتي ملحف ◆

لُوحظَ أنه عند تغير شدة التيار المار في ملفٍ ما فإنه يتولد في نفس الملف قوة دافعة كهربية مستحثة ويُطلق على هذه الظاهرة "الحث الذاتي للملف".



ولبيان ذلك نعتبر التجربة بالشكل التالي :

حيث تتكون من ملف مغناطيس كهربائي عدد لفاته كبير موصى على التوالي مع بطارية قوتها الدافعة 6 فولت وفتح 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 ينبع عنها مجال مغناطيس يقطع اللفات التالية لها وبالتالي يتولد في الملف كل 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 تلاحظ مرور شرر كهربائي بين طرفي المفتاح وتوجه المصباح النيون كلامح البصر ويفسر 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 يتوجه فلابد 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 بالتلعب على مقاومة الهواء.

◆ حساب القوة الدافعة المستحثة المتولدة بالحث الذاتي في ملف :

حيث أن القوة الدافعة المستحثة تتناسب تتناسب طردياً مع المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي حيث :

$$emf \propto \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t}$$

والذي يتناسب بدوره تتناسب 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 :

$$emf \propto \frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow emf = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

حيث L مقدار ثابت يسمى "معامل الحث الذاتي للملف" وهو عبارة عن "مقدار القوة الدافعة المستحثة المولدة في الملف عندما تتغير شدة التيار المار فيه بمعدل 1 أمبير في الثانية".

والإشارة السالبة تدل على أن القوة الدافعة المستحثة تعاكس التغير السبب لها حسب قاعدة لنز. ومن العلاقة السابقة نجد أن :

$$L = -emf \frac{\Delta t}{\Delta I}$$

أي أن معامل الحث الذاتي للملف يُقاس أيضاً بوحدة "henry".

ومنها يمكن تعريف "henry" أو وحدة قياس معامل الحث الذاتي للملف على أنه "معامل الحث الذاتي للملف الذي تولد فيه قوة دافعة مستحثة مقدارها 1 فولت عندما تتغير شدة التيار المار فيه بمعدل 1 أمبير في الثانية".

◆ ما يعني أن الحث الذاتي لملف = 6 ميكرو هنري ؟

معني ذلك أنه عندما تتغير شدة التيار المار في الملف بمعدل 1 أمبير في الثانية تولد فيه قوة دافعة مستحثة مقدارها 6 ميكرو فولت.

◆ التطبيقات المترتبة على خاصية الحث الذاتي :

- ومن 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 حرارية تؤدي إلى إصطدامها مع بعضها البعض الأمر الذي ينتج عنه تأين هذه الذرات واصطدامها مع سطح الأنبوبة الداخلي المطل بالمادة الفلورسية مما يؤدي إلى إبعاث الضوء المرئي.

ويظهر الحث الكهرومغناطيسي في عمل كثير من الأجهزة أبرزها "ملف الحث" أو "ملف رومكوف" والذي يستخدم كملف إشتعال في آلات الاحتراق الداخلي للسيارات.

◆ علل :

1 - يُراعي 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 مجدهما المغناطيسيان متساويان ومتضادين في الإتجاه فيلاشي كلّاً منهما الآخر ويدل ذلك على عدم الحث الذاتي للملف فلا يكون له أي تأثير على التيار الأصلي ويُقال أن المقاومة عديمة الحث.

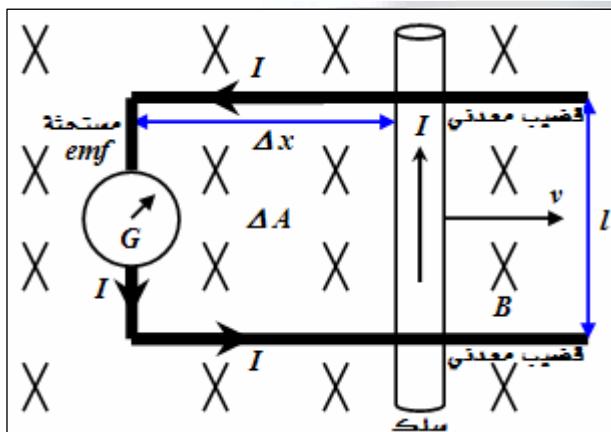
2 - عند فتح دائرة مغناطيس كهربائي تحدث شرارة كهربائية عند موضع الفتح ؟

لأنه عند فتح الدائرة يتناقص الفيض المغناطيسي بسرعة فيتولد في الدائرة قوة دافعة مستحثة طردية تكون كبيرة بالدرجة التي تسمح لها بالتفغل على مقاومة الهواء عند موضع الفتح فتمر الشرارة الكهربائية.

♦♦ التيار الدوامي ♦♦

عند وضع قطعة معدنية في مجال مغناطيسي متغير (كالمجال المغناطيسي الناشئ عن تيار متعدد) فإن التغير في عدد خطوط الفيصل 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 دائريّة كالتدوامة . ويستفاد من هذه التيارات الدوامية في صنع أفران لصهر الفلزات تسمى "أفران الحث" .

♦♦ القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في سلك مستقيم ♦♦



- بفرض أن لدينا سلكاً طوله l متر ينزلق على قضبان معدنية وموضع عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه B Tesla واتجاهه 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 يعطي من العلاقة :

$$\Delta A = l \Delta x$$

وبالتالي يكون التغير في الفيصل المغناطيسي عبارة عن :

$$\Delta \Phi_m = B \Delta A = B l \Delta x$$

ولكن القوة الدافعة المستحثة في السلك المستقيم هي :

$$emf = - \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t}$$

وبالتالي يكون :

$$emf = - \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t} = - \frac{B l \Delta x}{\Delta t} = - B l \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right)$$

$$but \quad v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow emf = - B l v$$

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 الفيصل (الشكل السابق) فإن :

$$emf = - B l v \sin \theta$$

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 الفيصل المغناطيسي ($\theta = 90^\circ$) .

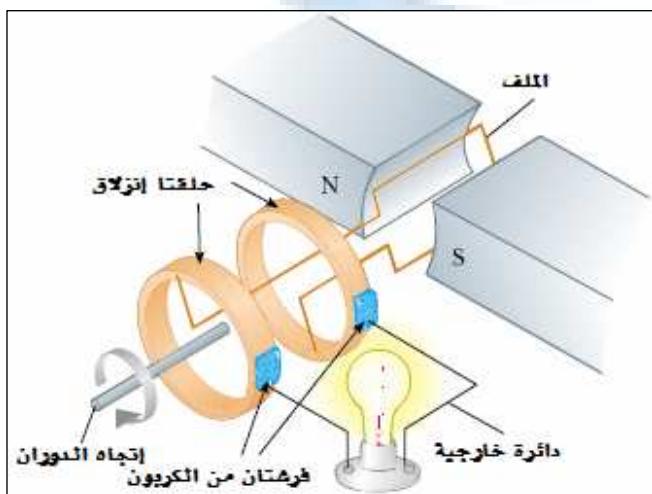
- ♦ أي أن العوامل التي تتوقف عليها القوة الدافعة المستحثة في سلك مستقيم هي :
- 1 - كثافة الفيصل المغناطيسي .
- 2 - طول السلك .
- 3 - سرعة حركة السلك .
- 4 - الزاوية المحصورة بين إتجاه سرعة حركة السلك واتجاه كثافة الفيصل .

♦ مولد التيار الكهربائي المتردد ♦

المولد الكهربائي أو الدينامو هو " جهاز لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية عند دوران ملفه في مجال مغناطيسي " .

عند دوران ملف بين قطبي مغناطيس قوي فإنه يقطع خطوط المغناطيسي ويولد بين طرفيه قوة دافعة كهربائية مستحثة يمكن الحصول على تيار كهربائي مستحث متغير الشدة والإتجاه .

♦ تركيبه : يتراكب الدينامو (كما بالشكل) من :



1 - مغناطيس ثابت : وهو عبارة عن مغناطيس قوي جداً على شكل حذاء الفرس قطباً متقابلاً . وهو إما أن يكون مغناطيس دائم أو مغناطيس كهربائي .

2 - ملف : وهو عضو الإنتاج الكهربائي وهو عبارة عن ملف مستطيل معلق بين قطبي المغناطيس كما يمكن أن يتكون من لفة واحدة أو عدة لفات .

3 - حلقتا إنزلاق : تتصلان بطارياً في الملف وهمما تدوران مع الملف في المجال المغناطيسي .

4 - فرشتان : وهما فرشستان ثابتتان من الكريون كلاً منها تلامس إحدى الحلقتين المنزلقتين وتتصلان بالدائرة الخارجية .

♦ حساب القوة الدافعة المستحثة المتولدة في ملف الدينامو :

1 - بداية نفترض أن الملف يتكون من لفة واحدة وأن طول الملف هو l وأن كثافة الفيصل المغناطيسي هي B .

2 - عندما يدور الملف حول محوره فإنه يصنع دائرة نصف قطرها r وبالتالي تُعطى سرعته الخطية v من العلاقة :

$$v = r\omega$$

حيث ω هي السرعة الزاوية وهي تُعطى من العلاقة :

$$\omega = 2\pi f$$

حيث f هو التردد .

3 - وبفرض أن الملف بدأ الدوران عندما كان مستواه عمودياً على خطوط المغناطيسي (ويسمى هذا الوضع بـ " وضع الصفر ") ثم وصل أثناء دورانه إلى موضع جديد بحيث كانت الزاوية المحصورة بين إتجاه السرعة الخطية v واتجاه كثافة الفيصل المغناطيسي B هي الزاوية θ وعندئذ وكما ذكرنا سابقاً تكون :

القوة الدافعة المستحثة في أحد جوانب الملف هي :

$$emf = B l v \sin \theta$$

ويتولد في الجانب المقابل من الملف قوة دافعة مماثلة .

وبالتالي تكون القوة الدافعة المستحثة الكلية المتولدة في الملف عبارة عن :

$$emf = 2 B l v \sin \theta$$

وبالتعميض عن قيمة v نحصل على :

$$emf = 2 B l v \sin \theta = 2 B l r \omega \sin \theta = (2 l r) B \omega \sin \theta$$

ولكن المدار $(2 l r)$ عبارة عن مساحة سطح الملف A حيث :

$$A = l \times 2 r$$

حيث r هو عرض الملف . وبالتالي نحصل على العلاقة :

$$emf = B A \omega \sin \theta$$

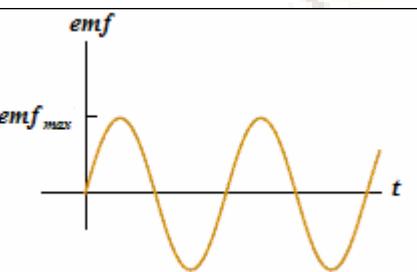
وعندما يكون الملف مكوناً من عدد N لفة تكون القوة الدافعة المستحثة اللحظية المتولدة فيه هي :

$$emf = N B A \omega \sin \theta \rightarrow 1$$

ومنها ثلثا لاحظ أن القوة الدافعة المستحثة تتغير جيبياً مع الزمن .

4 - وعندما يدور الملف بزاوية قدرها 90° فإن $\sin 90^\circ = 1$ وعندها تبلغ القوة الدافعة المستحثة نهايتها العظمى . أي أن نهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة هي :

$$emf_{max} = N B A \omega \rightarrow 2$$



من 1 و 2 ثلثا لاحظ أن العلاقة بين القوة الدافعة المستحثة اللحظية والنهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة هي :

$$emf = emf_{max} \sin \theta$$

ويجب ملاحظة أن الزاوية θ تُعطى من العلاقة :

$$\theta = \omega t = 2 \pi f t$$

إذا :

$$emf = N B A \omega \sin \theta \Leftrightarrow emf = 2 \pi N B A f \sin (2 \pi f t)$$

$$emf = emf_{max} \sin \theta \Leftrightarrow emf = emf_{max} \sin (2 \pi f t)$$

ومن المعادلة رقم 1 نجد أن القوة الدافعة المستحثة المتولدة في الدينامو تتوقف على العوامل التالية :

1 - كثافة الفيصل المغناطيسي .

2 - السرعة الزاوية التي يدور بها الملف .

3 - مساحة وجه الملف .

4 - عدد لفات الملف .

5 - الزاوية التي يعملها الملف بين وضعه في لحظة معينة ووضعه عندما كان مستواه عمودياً على إتجاه المجال .

❖ ❖ ❖ و مما سبق ثلثا لاحظ أن :

التيار المار في الدائرة الخارجية يغير إتجاهه 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 إتجاهه 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 الفيصل | زاوية الدوران θ | $\sin \theta$ | القوة الدافعة المستحثة اللحظية emf |
|---|--------------------------------|------------------------|---------------|--------------------------------------|
| 1 | | 0° | 0 | $+ emf_{max}$ |
| 2 | | 90° | +1 | 0 |
| 3 | | 180° | 0 | $- emf_{max}$ |
| 4 | | 270° | -1 | 0 |
| 5 | | 360° | 0 | |

♦ شدة التيار المتردد I :

رأينا فيما سبق أن شدة التيار المستحث تبلغ نهايتها العظمى عندما تبلغ القوة الدافعة المستحثة نهايتها العظمى وتندفع 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 :

$$I = I_{max} \sin \theta \Leftrightarrow I = I_{max} \sin (2 \pi f t)$$

♦ القيمة الفعالة للتيار المتردد ♦

لاحظنا مما سبق أنه في كل دورة من دورات الملف تصل شدة التيار المتردد إلى نهايتها العظمى مررتين : 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 تستنزف الطاقة الكهربائية كطاقة حرارية نتيجة لحركة الشحنات الكهربائية (بعض النظر عن الإتجاه) . كما أن معدل الطاقة الكهربائية المستنفدة تتناسب طردياً مع مربع شدة التيار المار .

لذا كانت أفضل طريقة لقياس القيمة الفعالة لشدة التيار المتردد هي إيجاد قيمة التيار الموحد الإتجاه (المستمر) الذي يولد نفس كمية الحرارة أو الذي يولد نفس القدرة التي يولدها التيار المتردد في مقاومة ما .

ولقد وجد أن القيمة الفعالة لشدة التيار المتردد $I_{eff} = 0.707 I_{max}$. 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 الموصى وخلال نفس الزمن .

♦ أمثلة محلولة :

1 - ملف مستطيل الشكل أبعاده 5 و 10 سم يحتوي على 200 لفة وضع عمودياً على علي مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه 10×10^{-3} Tesla . فإذا قُلِّبَ الملف في 0.1 ثانية . فما مقدار القوة الدافعة المتولدة فيه ؟
المعطيات :

$$A = 5 \times 10 = 50 \text{ cm}^2 = 50 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad N = 200 \text{ Turns} \quad B = 4 \times 10^{-3} \text{ Tesla} \quad \Delta t = 0.1 \text{ sec}$$

الحل :

- الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف هو :

$$\Phi_m = B A = 50 \times 10^{-4} \times 4 \times 10^{-3} = 2 \times 10^{-5} \text{ Weber}$$

- 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 يعطي 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 منتظم مقدارها 1800 دورة في الدقيقة في مجال مغناطيسي كثافة فيضة 0.365 Tesla . فاحسب متوسط القوة الدافعة المستحثة المتولدة فيه خلال ربع دورة ؟

المعطيات :

$$A = 25 \times 15 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad N = 300 \text{ Turns} \quad B = 0.365 \text{ Tesla} \quad f = 1800 \text{ cycle / min.}$$

الحل :

حيث 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 :

$$\Delta \Phi_m = B A = 0.365 \times 25 \times 15 \times 10^{-4} = 136.875 \times 10^{-4} \text{ Weber}$$

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 m^2 متراً مربع يدور بمعدل 600 دورة في الدقيقة في مجال مغناطيسي كثافة فيضه 10^{-3} Tesla . اوجد قيمة القوة الدافعة المستحثة عندما يصنع زاوية قدرها 30° مع

الفيض المغناطيسي ؟

المعطيات :

$$A = 0.25 \text{ m}^2 \quad N = 800 \text{ Turns} \quad B = 10^{-3} \text{ Tesla} \quad f = 600 \text{ cycle/min.} \quad \theta = 30^\circ$$

الحل :

$$\therefore \omega = 2 \pi f = 2 \pi \frac{600}{60} = 62.8$$

$$\Rightarrow emf = N B A \omega \sin \theta = 800 \times 10^{-3} \times 0.25 \times 62.8 \times \sin 30^\circ = 6.28 \text{ Volts}$$

4 - إذا كانت القيمة الفعالة للقوة الكهربية الناتجة من مولد كهربائي متعدد هي 122 فولت . فاحسب قيمة القوة الدافعة المستحثة عندما يدور الملف بزاوية قدرها 50° ؟

المعطيات :

$$emf_{eff} = 122 \text{ Volts} \quad \theta = 50^\circ$$

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 :

$$I_{eff} = 10 \text{ Amp.} \quad emf_{eff} = 240 \text{ Volts}$$

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 ◆◆

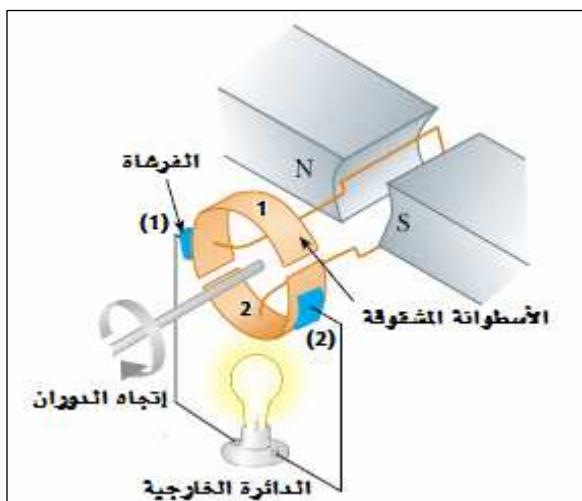
يُقصد بـ "تقويم التيار المتردد" جعله يمر في إتجاه واحد أي جعله تيار مستمر.

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 الموحد الإتجاه هو نفسه دينامو التيار المتردد مع تعديل بسيط وهو استبدال الحلقتين المعدنيتين بما يُسمى بـ "مِقْوَمُ التِّيَارِ" والذي يتراكب (كما بالشكل) من :



- إسطوانة معدنية جوفاء مشقوقة إلى نصفين مثبتان على محور الدوران ومزرولان عنه كما يُعزلان عن بعضهما البعض بمادة عازلة تماماً الشق بينهما ويدوران مع الملف حول نفس محور الدوران ويراعي أن يكون مستوى الشق عمودياً على مستوى الملف حتى تلامس الفرشتان المادة العازلة في اللحظة

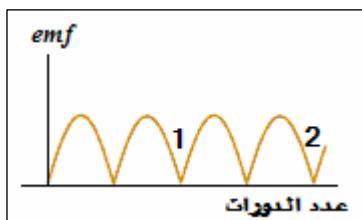
التي يكون فيها مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيصل المغناطيسي أي اللحظة التي تكون فيها القوة الدافعة المستحثة المولدة في الملف = صفرأ .

❖ شرح عمل دينامو التيار المستمر :

1 - بفرض أن الملف بدأ الدوران من اللحظة التي يكون فيها مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيصل المغناطيسي أي اللحظة التي تكون فيها القوة الدافعة المستحثة المولدة في الملف = صفرأ .

2 - وبفرض 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 إتجاه معين يترتب عليه أن يمر التيار في الدائرة الخارجية في الفرشاة ف (1) إلى ف (2) .

أما في النصف الثاني للدورة فسينعكس وضع نصف الأسطوانة بالنسبة للفرشتين فتلامس الفرشاة ف (1) نصف الأسطوانة رقم 2 والفرشاة ف (2) ملامسة لنصف الأسطوانة رقم 1 وبالتالي ينعكس إتجاه مرور التيار في الملف وبذلك يمر التيار في الدائرة الخارجية في إتجاه من ف (1) إلى ف (2) وهو نفس إتجاه 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 .



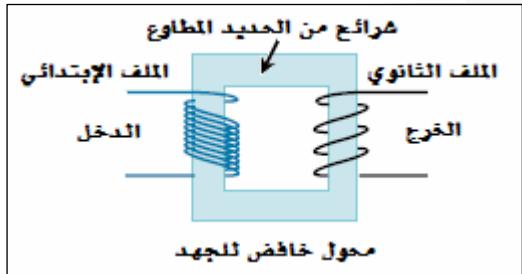
❖ ويجب ملاحظة أن القوة الدافعة الكهربية على الرغم من أنها أصبحت موحدة الإتجاه إلا أنها ليست ثابتة القيمة حيث تتغير قيمتها من صفر إلى نهاية عظمى ثم إلى صفر كل نصف دورة من دورات الملف (كما هو مُبين بالشكل) .

❖ وللحصول على تيار موحد الإتجاه ثابت الشدة تقريرياً نستخدم عدد من الملفات بينها زوايا صغيرة وبالتالي يقسم مقوم التيار إلى عدد من الأجزاء يساوي ضعف عدد الملفات حيث يصل كل ملف بجزئين متقابلين . وكلما 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 تقريرياً (تيار مستمر) .

❖ المحول الكهربائي ❖

المحول الكهربائي هو جهاز يستخدم لرفع أو خفض القوة الدافعة الكهربية المترددة ويعتمد عمله على الحث المتبادل بين ملفين .

❖ تركيبه : كما بالشكل من :



- 1 - ملف إبتدائي : وهو عبارة عن ملف من سلك معدني معزول يتصل طرفاً بمصدر القوة الدافعة المترددة المراد رفعها أو خفضها .
- 2 - ملف ثانوي : وهو عبارة عن ملف من سلك معدني معزول أيضاً يتصل طرفاً 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 .

ويفصل الملف الإبتدائي والثانوي حول القلب الحديدي .

❖ فكرة العمل :

عند غلق دائرة الملف الثانوي يمر تيار متعدد في الملف الإبتدائي فيولد حوله ويدخله مجال مغناطيسي ويعمل القلب الحديدي على تجميع خطوط الفيض المغناطيسيي داخل الملف الثانوي فتولد فيه أيضاً قوة دافعة مستحبة متزددة أكبر أو أقل من القوة الدافعة للمصدر ويمر تيار كهربائي متزددة في دائرة الملف الثانوي يكون تردداته نفس تردد التيار في الملف الإبتدائي .

❖ العلاقة بين القوتين الدافعتين الكهربيتين في ملفي المحول :

- 1 - بداية نفترض عدم وجود أي فقد في الفيض المغناطيسيي (أي أن الفيض المغناطيسيي الناتج عن الملف الإبتدائي يمر بأكمله إلى الملف الثانوي) وأن عدد لفات الملف الإبتدائي هو N_p وعدد لفات الملف الثانوي هو N_s .
- 2 - عند مرور التيار المتزددة في الملف الإبتدائي وغلق دائرة الملف الثانوي فإنه يتولد فيه (أي الثانوي) قوة دافعة مستحبة أو فرق جهد مستحب V_s يمكن تعبينه من العلاقة :

$$V_s = - N_s \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t} \rightarrow I$$

- 3 - عند فتح دائرة الملف الثانوي وبقاء الملف الإبتدائي متصلًا بالمصدر فإنه تتولد في الملف الإبتدائي قوة دافعة مستحبة بالحث الذاتي V_p تتناسب مع القوة الدافعة للمصدر وتعمل على تحديد قيمة التيار بحيث لا يزداد أكثر من اللازم فيحترق الملف الإبتدائي وهي تُعطى من العلاقة :

$$V_p = - N_p \frac{\Delta \Phi_m}{\Delta t} \rightarrow 2$$

ويقسم المعادلاتين 1 و 2 نحصل على :

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \rightarrow I^*$$

وهذه العلاقة تبين كيفية إرتباط القوة الدافعة للملف الثانوي V_s بالقوة الدافعة للملف الإبتدائي V_p . كما ثلّاحظ أن القوة الدافعة المستحثة V تتناسب تناسباً طردياً مع عدد لفات الملف N أي أن :

$$V \propto N$$

♦ ومنها أيضاً ثلّاحظ أن هناك نوعان من المحولات هما :

1 - المحول الرافع للجهد : وفيه يكون عدد لفات الملف الثانوي أكبر من عدد لفات الملف الإبتدائي وبالتالي تكون القوة الدافعة المستحثة في الملف الثانوي أكبر من القوة الدافعة المستحثة في الملف الإبتدائي 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 الإبتدائي وبالتالي تكون القوة الدافعة المستحثة في الملف الثانوي أصغر من القوة الدافعة المستحثة في الملف الإبتدائي حيث :

$$N_s > N_p \Rightarrow V_s > V_p$$

♦ العلاقة بين شدة التيارين في ملفي المحول :

من المعروف أن :

$$\text{الطاقة الكهربية} = \text{فرق الجهد } V \times \text{شدة التيار } I \times \text{الزمن } t$$

ويفرض عدم وجود فقد في الطاقة الكهربية فإنه تبعاً لقانون بقاء الطاقة يكون :

الطاقة الكهربية المستنفدة في الملف الإبتدائي = الطاقة المستنفدة 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 I^* و I^{*} نحصل على العلاقة التالية :

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \Rightarrow V \propto N \propto \frac{I}{I}$$

أي أن : شدة التيار في أي ملف من الملفين تتناسب عكسيّاً مع عدد لفاته . ومعنى ذلك أنه إذا كان عدد لفات الملف الثانوي ضعف عدد لفات الملف الإبتدائي فإن تيار الملف الثانوي ينخفض إلى النصف وترتفع فيه القوة الدافعة إلىضعف .

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 الكهربية والتي تُعطى من العلاقة التالية :

$$\text{القدرة الكهربية} = \text{فرق الجهد } V \times \text{شدة التيار } I = \text{المقاومة } R \times \text{مربع شدة التيار } I^2$$

فلو تم خفض التيار الكهربائي المار في أسلاك النقل بواسطة المحول الرافع بمقدار $100 / 1$ من قيمته الأصلية فإن الطاقة المفقودة ستقل بمقدار $10000 / 1$ من قيمة الطاقة المفقودة إذا ظل التيار في الملف الإبتدائي بنفس شدته الأولى .

♦ ♦ استخدامات المحول الكهربائي :

- 1 - تشغيل بعض الأجهزة المنزلية كالتلفزيون والتلاجات والأجراس .
- 2 - نقل القدرة الكهربائية من محطات توليد الكهرباء إلى أماكن إستهلاكها على مسافات بعيدة عبر الأسلاك المعدنية دون فقد يذكر في الطاقة الكهربائية .

حيث تستخدم محولات رافعة للجهد عند محطات التوليد بينما تُستخدم محولات خاضعة 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 المستنفدة في الملف الإبتدائي تساوي الطاقة الكهربائية المستنفدة في الملف الثانوي فإن كفاءة المحول تكون 100% ولكن مثل هذا المحول غير موجود عملياً . ف " كفاءة المحول " هي عبارة عن " النسبة بين الطاقة الكهربائية في الملف الثانوي والطاقة الكهربائية في الملف الإبتدائي " ويرمز لها بالرمز η . أي أن :

$$\eta = \frac{V_s \times I_s \times t}{V_p \times I_p \times t} = \frac{V_s \times I_s}{V_p \times I_p}$$

وُتضرب هذه العلاقة في 100 للحصول على النسبة المئوية أي :

$$\boxed{\eta = \frac{V_s \times I_s}{V_p \times I_p} \times 100}$$

♦ وسب عدم وجود محول كفائته 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 وتعزل عن بعضها عزلاً تماماً فترتزيد مقاومة القلب الأمر الذي يضعف من التيارات الدوامية .
- 3 - تحول جزء ثالث من الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية تستنفذ في تحريك الجزيئات المغناطيسية للقلب الحديدي : لهذا يُصنع القلب الحديدي من الحديد المطاوع لسهولة حركة جزيئاته .
- 4 - تسرب بعض خطوط الفيض المغناطيسي خارج القلب الحديدي فلا تقطع لفات الملف الثانوي : لهذا يجب وضع الملف الإبتدائي داخل الملف الثانوي أو قريباً منه .

♦ ♦ أمثلة محلولة :

- 1 - جرس كهربائي مركب على محول كهربائي كفائته 80% يعطي 8 فولت إذا كانت القوة الدافعة الكهربائية في المنزل 220 فولت . فما عدد لفات الملف الثانوي إذا كان عدد لفات الملف الإبتدائي 1100 لفة ؟ وما هي شدة التيار في الملف الثانوي إذا كانت شدة التيار المار في الملف الإبتدائي 0.1 أمبير ؟

المعطيات :

$$\eta = 80\% \quad \diamond \quad N_p = 1100 \text{ Turns} \quad \diamond \quad V_s = 8 \text{ Volts} \quad \diamond \quad V_p = 220 \text{ Volts} \quad \diamond \quad I_p = 0.1 \text{ Amp.}$$

الحل :

$$\begin{aligned} \therefore \eta &= \frac{V_s \times I_s}{V_p \times I_p} \times 100 \quad \text{and} \quad \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \Rightarrow \eta = \frac{V_s \times N_p}{V_p \times N_s} \times 100 \\ \Rightarrow N_s &= \frac{V_s \times N_p}{V_p \times \eta} \times 100 = \frac{8 \times 1100}{220 \times 80} \times 100 = 50 \text{ Turns} \\ \frac{I_p}{I_s} &= \frac{N_s}{N_p} \Leftrightarrow \frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \\ \Rightarrow I_s &= \frac{N_p}{N_s} \times I_p = \frac{1100}{50} \times 0.1 = 2.2 \text{ Amp.} \end{aligned}$$

2 - إذا كان جهد الملف الإبتدائي في محول خافض هو 110 فولت وجهد ملفه الثانوي هو 48 فولت فاحسب شدة التيار الذي يمر في الملف الإبتدائي إذا كانت شدة التيار في الملف الثانوي 5.5 أمبير علماً بأن الطاقة الكهربية في الملف الإبتدائي تفقد 4 % عند إنتقالها إلى الملف الثانوي ؟

المعطيات :

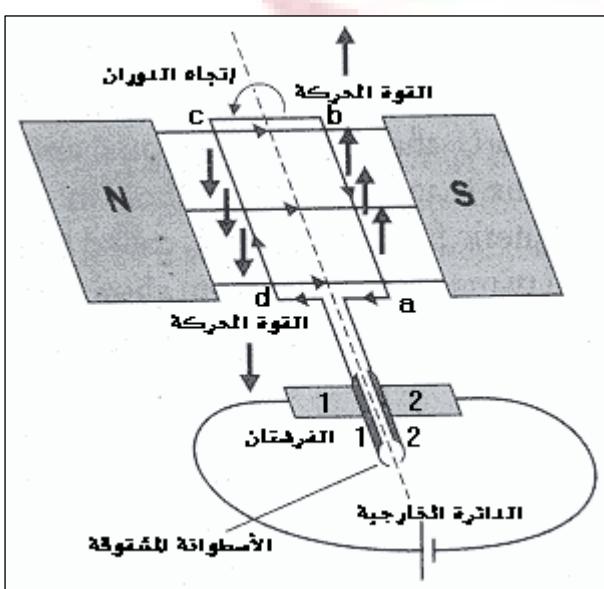
$$V_s = 48 \text{ Volts} \quad \diamond \quad V_p = 110 \text{ Volts} \quad \diamond \quad I_s = 5.5 \text{ Amp.}$$

الحل :

$$\eta = 100\% - 4\% = 96\%$$

$$\therefore \eta = \frac{V_s \times I_s}{V_p \times I_p} \times 100 \Rightarrow I_p = \frac{V_s \times I_s}{V_p \times \eta} \times 100 = \frac{48 \times 5.5}{110 \times 96} \times 100 = 2.5 \text{ Amp.}$$

♦♦ محرك التيار الكهربائي المستمر (المotor)



محرك التيار الكهربائي المستمر أو المотор هو جهاز يستخدم لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية (حركية).

♦ تركيبه :

تركيب المotor يشبه إلى حد كبير تركيب الدينامو حيث يتكون من :

1 - مغناطيس قوي على شكل حذاء الفرس قطباه المتعارض متقابلان.

2 - ملف مستطيل الشكل من سلك من النحاس المعزول عدد لفاته كبير وملفوف طوليًا حول قلب من الحديد المطاوع مكون من صفائص رقيقة معزولة لتقليل التيارات الدوامية . والملف ومعه القلب الحديدی قابلان للدوران

بين قطبي المغناطيس .

3 - يتصل طرفا الملف بمنصفي أسطوانة نحاسية مشقوقة طولياً إلى نصف مثبتان على محور الدوران ومعزولة عن بعضهما بمادة عازلة ويراعي أن يكون المستوى المار بالشق الفاصل لنصف الأسطوانة عمودياً على مستوى الملف .

4 - فرشتان من الكربون أو المعدن ثابتتان وتلامسان نصف الأسطوانة أثناء دورانهما وتوصلان عند تشغيل المotor بقطبي البطارية الخارجية .

◆ فكرة عمله :

وفكرة عمل المotor 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 إتجاه عمودي على كلتا من إتجاه التيار وإتجاه المجال المغناطيسي .

ولكن الفرق بينهما أن ملف المحرك الكهربائي يجب أن يستمر في الدوران في نفس الإتجاه الأمر الذي ينتج عنه أن يعكس التيار الكهربائي المار في ملف المحرك إتجاهه كل نصف دورة .

◆ تعيين اتجاه حركة السلك :

يتم تعيين اتجاه حركة السلك بإستخدام 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 الفيصل المغناطيسي تكون الفرشاة (1) ملامسة لنصف الأسطوانة 1 والفرشاة (2) ملامسة لنصف الأسطوانة 2 وعندئذ يمر التيار في الإتجاه $abcd$ ويتطبق قاعدة اليد اليسرى لفلمنج على كلتا السلكين نلاحظ أن السلك ab يتأثر بقوة إلى أعلى بينما يتأثر السلك cd بقوة إلى أسفل وينشا عن هاتين القوتين إزدواج يعمل على دوران الملف في الإتجاه المبين بالشكل السابق وبالتالي يكتسب الملف طاقة حركية .

2 - بدوران الملف يقل البُعد العمودي بين القوتين وبالتالي يقل عزم الإزدواج تدريجياً حتى ينعدم تماماً عندما يكون مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيصل المغناطيسي ولكنه يستمر في الدوران تحت تأثير قصوره الذاتي (الناتج عن طاقة الحركة التي اكتسبها) .

3 - بإستمرار الدوران يصبح مستوى الملف أفقياً مرة أخرى ولكن في هذه المرة تتبادل نصفاً الأسطوانة موضعهما بالنسبة للفرشتان فينعكس إتجاه التيار المار في الملف ويمر في الإتجاه $dcba$ ويتطبق قاعدة فلمنج لليد اليسرى على الوضع الجديد نجد أن السلك ab يتأثر بقوة إلى أسفل بينما يتأثر السلك cd بقوة إلى أعلى وينشا عن هاتين القوتين إزدواج يعمل على دوران الملف في نفس الإتجاه الأول فيزيد عزم الإزدواج تدريجياً حتى يصبح نهاية عظمي عندما يكون مستوى الملف موازياً لخطوط الفيصل المغناطيسي .

4 - بإستمرار الدوران يقل البُعد العمودي بين القوتين مرة أخرى وبالتالي يقل عزم الإزدواج تدريجياً حتى ينعدم تماماً عندما يكون مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيصل المغناطيسي ولكنه يستمر في الدوران تحت تأثير قصوره الذاتي وتتبادل نصفاً الأسطوانة موضعهما بالنسبة للفرشتان فينعكس إتجاه التيار المار في الملف مرة أخرى ويستمر في الدوران في نفس الإتجاه ويزداد عزم الإزدواج تدريجياً حتى يصبح نهاية عظمي عندما يكون

مستوي الملف موازياً لخطوط الفيصل المغناطيسي وبذلك يكون الملف قد أتم دورة كاملة . وتتكرر هذه العملية ويستمر الملف في الدوران وبذلك نحصل على طاقة ميكانيكية من الطاقة الكهربائية المستمد من البطارية .
♦ ولزيادة قدرة المотор والإحتفاظ بعزم دوران ثابت تقريراً عند النهاية العظمى نستخدم عدة ملفات بين مستوياتها زوايا صغيرة متساوية وفي هذه الحالة تقسم الأسطوانة إلى عدد من القطع يساوي ضعف عدد الملفات ويفصل بين القطع مادة عازلة ثم يوصل طرفا كل ملف بقطعتين متقابلتين ثلاثة فرشتان أثناء الدوران عندما يكون الملف المتصل بهما أفقياً (وضع أقصى عزم إزدجاج) .

♦ ♦ علَّ ♦ ♦

1 - يعمل التيار المستحدث العكسي المولد بالبحث الكهرومغناطيسي في ملف المotor على إنتظام معدل دورانه ؟
وذلك لأنه :

- عند زيادة سرعة المotor تزداد شدة التيار العكسي فتقل شدة التيار المحرك للمotor فتقل سرعته . وعند إبطاء سرعة المotor تقل شدة التيار العكسي ويزيد الفرق بين التيارين فتزداد سرعته .
- عند سرعة معينة يثبت الفرق بين التيارين (تيار البطارية والتيار العكسي) فتثبت سرعة دوران ملف المotor .

2 - لا يعمل المحول الكهربائي بالتيار المستمر ؟
وذلك لأن التيار المستمر يولد مجال مغناطيسي ثابت الشدة والإتجاه وبالتالي لا يحدث تغير في الفيصل المغناطيسي الذي يقطع الملف الثانوي فلا يتولد فيه قوة دافعة مستحثة .

3 - تُصنع أسلاك الملفين الإبتدائي والثانوي في المحول من النحاس ؟
وذلك لصغر المقاومة النوعية للنحاس فتقل مقاومة الملفات وبالتالي يقل مقدار الطاقة الكهربائية التي تفقد على هيئة حرارة .

4 - في المحول الكهربائي يكاد ينعدم مرور التيار الأصلي في الملف الإبتدائي رغم إتصاله بمصدر التيار عندما تكون دائرة الملف الثانوي مفتوحة ؟
وذلك لتولد قوة دافعة مستحثة عكسية بالبحث الذاتي في الملف الإبتدائي تكاد تكون متساوية لقوى الدافعات للمصدر ومضادة لها في الإتجاه فينعدم تقريراً التيار في الملف الإبتدائي ولا يحدث لإستهلاك يذكر في الطاقة الكهربائية .

❖ ❖ ثُمَّ يَهْدِ اللَّهُ وَذُو وَفِي هُنْ عَالَىٰ ❖ ❖



الْوَدْكَنُ الْجَلَامِي

"الفيزاء الحديثة"

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الفصل الثاني عشر

الزرواجية الموجة والجسيم

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الخامسة / الفصل الثاني عشر: "إذدواجية الموجة والجسيم"

إذدواجية الموجة والجسيم

❖ مقدمة :

بدايةً ينبغي أن نعلم أن علم الفيزياء ينقسم إلى قسمين أساسيين هما :

(1) الفيزياء الكلاسيكية أو التقليدية .

فـ "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 يتمركز في موضع معين في لحظة ما ، ويتميز بخواص معينة مثل الكتلة والسرعة والطاقة وما إلى ذلك . أما الموجة فتتميز بتردد وطول موجي وتنشر بشكل مستمر أي أنها ليست متمركزة في موضع معين في لحظة ما كما أن طاقتها موزعة في الفضاء وليس محصورة في منطقة معينة) (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 والذررة والإلكترون) حيث فشلت قوانين الفيزياء الكلاسيكية عن وصف حركة هذه الأجسام وتفسير الظواهر المرتبطة بها كإشعاع الجسم الأسود والتأثير الكهرومغناطيسي . 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 والإتصالات الحديثة .

4 - تفسر التفاعلات الكيميائية على مستوى الجزيئات والتي تمكن العالم الدكتور / أحمد زويل من تصوير بعضها بإستخدام "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 الكمومية" .

❖ إشعاع الجسم الأسود ❖

درسنا فيما سبق أن الضوء عبارة عن موجات لأنه يتمتع بخصائص الموجات التي يمكن إيجازها في الإنعكاس والإنسار والتدخل والحياء .

كما بيّنا أن الضوء لا يحتاج إلى وسط مادي لينتشر فيه . كما أن الضوء المرئي هو عبارة عن جزء بسيط من مدي واسع من الموجات التي تسمى بال WAVES الكهرومغناطيسية التي تنتشر جميعها في الفراغ بسرعة ثابتة c قدرها 3×10^8 م / ث . وتحتختلف 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 التالي) .

أما عن مصادر الضوء فتتنوع فمنها :

1 - الأجسام المتوجهة بذاتها مثل الشمس والنجوم .

2 - الأجسام الصلبة المحماة مثل قطعة متوجهة من الفحم وفتيلة التنجستين لمصباح كهربائي .

3 - الغازات التي حدث لها تفريغ كهربائي مثل لمبة النيون المعادة .

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 (ويرمز 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 المنحني التالي والذي يُعرف بـ " منحني بلانك ". ويدرسة هنا

المنحني وجد الآتي :

1 - لاحظ العالم " فيين " أنه كلما زادت درجة حرارة المصدر كلما كان الطول الموجي الذي عنده أقصى شدة إشعاع (قمة المنحني) أقصر والعكس صحيح ولقد صاغ هذه النتيجة في قانون يُعرف بـ " قانون فيين " وينص على أن " الطول الموجي الذي يصاحبه أقصى شدة إشعاع يتناسب تناسباً عكسيًا مع درجة الحرارة المطلقة " .

2 - عند درجة حرارة 6000 درجة كلفينية وهي درجة حرارة سطح الشمس نجد أن شدة الإشعاع العظمي تقع عند الطول الموجي 500 نانومتر أي في منطقة الضوء المرئي ومن هذا

المنحني نجد أن حوالي 40% من الطاقة الإشعاعية للشمس تكون في صورة ضوء مرئي وحوالي 50% تقريباً تكون في صورة إشعاع حاري (تقع في منطقة الأشعة تحت الحمراء ذات التأثير الحراري " الجزء الأيمن من المنحني ") أما باقي الإشعاع فيقع في منطقة الأشعة فوق البنفسجية (الجزء الأيسر) .

3 - عند درجة حرارة 3000 درجة كلفينية وهي درجة حرارة المصباح الكهربائي المتوجه نحصل على نفس المنحني مع اختلاف بسيط وهو أن الطول الموجي المقابل لقمة المنحني 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 الفيزياء الكلاسيكية تفسيرها وذلك لأنه تبعاً لها وحيث أن الإشعاع عبارة عن موجات كهرومغناطيسية فإن شدة الإشعاع تزداد بزيادة التردد (نقصان الطول الموجي) .

... فلماذا إذا تقل شدة الإشعاع عند الترددات العالية ...

❖ استمر هذا الحال حتى أواخر العام 1900 عندما وجد العالم " بلانك " أن المنحنى السابق يتكرر مع كل الأجسام الساخنة التي تشع طيفاً متصلأً من الإشعاع . وليس فقط الشمس . بل يحدث ذلك أيضاً للأرض وجميع الكائنات الحية ... - فـ " الأرض " باعتبارها جسم غير متوجه نجد أنها تمتض الإشعاع الصادر من الشمس ثم تشعه 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 وجد أن الإشعاع الحراري الصادر منها يبقى فترة حتى بعد انصرافهم . ويفيد 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 والأجنحة .

3 / مجال إكتشاف الأدلة الجنائية فيما يُسمى بـ " تقنية الإستشعار عن بعد " .

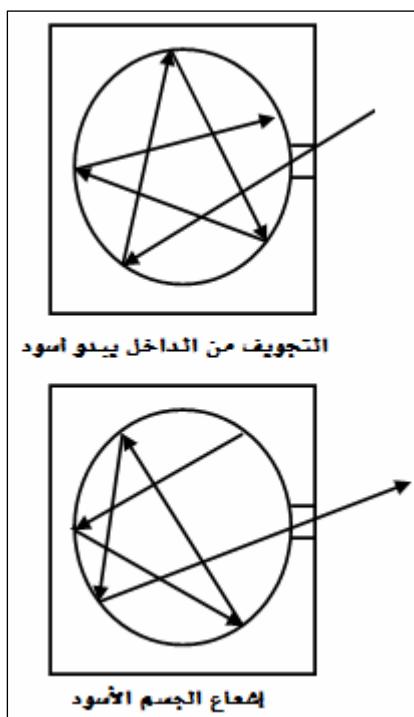
❖ ولتوسيع هذه الظاهرة (ظاهرة إمتصاص الأجسام للإشعاع الساقط عليها ثم إشعاعه مرة أخرى) اقترح " بلانك " استخدام ما يُسمى بـ " الجسم الأسود " وهو " الجسم الذي يمتص كل ما يسقط عليه من أشعة ذات أطوال موجية مختلفة ثم

يُبعَد إشعاعها مرة أخرى بصورة مثالية " فهو ممتص مثالي ونفي نفس الوقت باعث مثالي (أي أنه أفضل الأجسام في إمتصاصه كما أنه أفضلاها أيضاً في إصداره للإشعاع) (والجسم الأسود جسم افتراضي لأنه لا يوجد جسم مثالي 100 % حيث لا بد وأن يفقد جزء من طاقة الإشعاع) .

- وكمثال جيد للجسم الأسود نعتبر " عادة " 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 لإنتكسات 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 يعتبر بمثابة الجسم الأسود .

❖ ولتفسير إشعاع الجسم الأسود افترض " بلانك " عدة فروض أهمها :

1 - أن الشعاع الكهرومغناطيسي يتتألف من وحدات صغيرة جداً أو دفعات من الطاقة تسمى بـ " الكم " أو " الفوتون " (والكم إصطلاح يقصد به كمية محدودة لا تقبل التجزئة كما أنها تمثل أصغر كمية يمكن وجودها) وبالتالي فإن الإشعاع الصادر عن



الجسم الأسود عبارة عن سيل من هذه الفوتونات .

2 - طاقة كل وحدة أو دفعه E تتناسب طردياً مع تردد الإشعاع ν بقانون " بلانك " التالي :

$$E = h\nu \quad (1)$$

و $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ Joule.sec}$.

3 - الإشعاع الصادر من الجسم المتوج يكون نتيجة تذبذب ذراته (كما سيتبين لاحقاً) وطاقة هذه الذرات المتذبذبة مكملة أيضاً أي غير متصلة . وتعطي 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 والإلكترونات سالبة تدور حولها وفي حالة الفلزات أو المعادن تجد أن هذه الإلكترونات حرة الحركة داخل المعدن ولكنها لا تستطيع أن تفادي 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 أعطيت كمية مناسبة من الطاقة سواء كانت في صورة طاقة حرارية أو طاقة ضوئية .

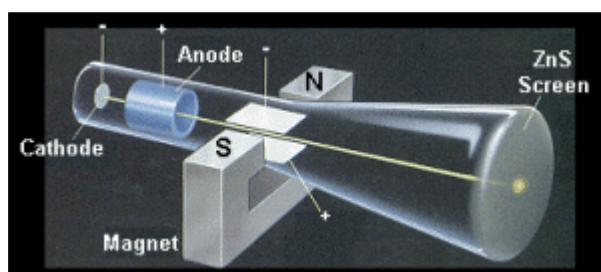
♦ فمثلاً : في حالة " أنبوبة أشعة الكاثود " الموجودة في شاشة التليفزيون والكمبيوتر تكون الطاقة المعطاة في صورة حرارة .

- **التركيب** : وترتكب هذه الأنبوة من وعاء زجاجي مخروطي الشكل مفرغ تماماً من الغازات يحتوي على (من اليسار إلى اليمين) فتيلة التسخين - الكاثود - الشبكة - الأنود (وهذه تكون ما يُسمى بـ " المدفع الإلكتروني ") - زوج من الألواح الأفقية Y - زوج من الألواح الرأسية X (وزوجي الألواح هذه تُعرف بـ " الألواح الحارفة ") .

- **فكرة العمل** : يتم تسخين الكاثود بواسطة فتيلة التسخين فتنتطلق منه الإلكترونات التي يتم تعجิلها بواسطة الأنود الذي يكون على هيئة قرصين يوجد في وسط كلّاً منهما ثقب صغير للحصول على شعاع إلكتروني دقيق مُجلّ 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 .

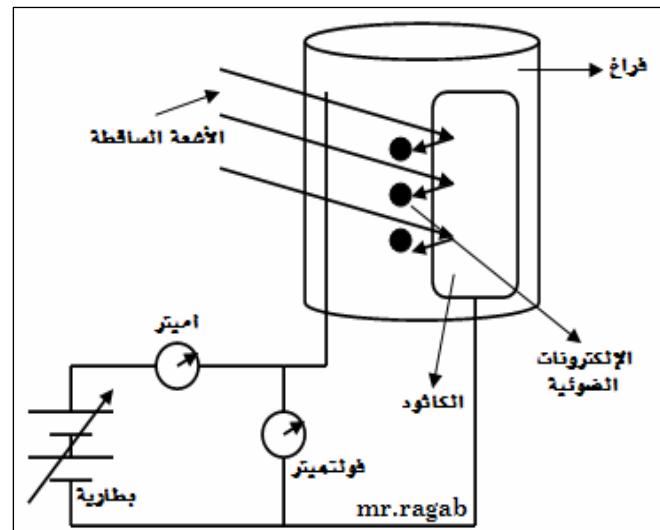
أما توجيه شعاع الإلكترونات فيتم بواسطة الألواح الحارفة (مع العلم بأن الألواح الأفقية تحرف النقطة المضيئة وبالتالي الشعاع الإلكتروني في الإتجاه الرأسي بينما تحرفه الألواح الرأسية في الإتجاه الأفقي) والمساطط عليها مجالات كهربائية ومغناطيسية مناسبة بحيث يمسح الشعاع الشاشة أفقياً بسرعة ثابتة وفي إتجاه واحد ثم يعود إلى موضع البداية في زمن لحظي ويستمر هذا المسح دوريًا ونقطة نقطة حتى تكتمل الصورة .

والشكل التالي يوضح أحد نماذج أنبوبة أشعة الكاثود :



♦ أما عندما يسقط ضوء على الكاثود بدلًا من تسخينه فإن التيار يمر أيضًا خلال الدائرة ومعنى ذلك أن الإلكترونات تحررت بفعل الضوء وسمى في هذه الحالة بـ "الإلكترونات الكهروضوئية" وتسمى الظاهرة ككل بـ "تأثير الكهروضوئي".
 فـ "تأثير الكهروضوئي" هو "ظاهرة انبعاث الإلكترونات من سطح الفلز تحت تأثير الضوء الساقط عليه". ولدراسة هذه الظاهرة نستخدم الجهاز المبين بالشكل المقابل.

وقد بينت النتائج والمشاهدات العملية أن :



- 1 - هناك شرط أساسي لحصول هذه الظاهرة وهو أن يكون تردد الإشعاع الساقط أكبر من قيمة معينة تسمى بـ "تردد الحرج v_c ". فلا يمكن حدوثها مهما كانت شدة الإشعاع الساقط مالم يزد تردده عن v_c .
- 2 - إنطلاق الإلكترونات (وبالتالي طاقتها الحركية) يتناسب مع تردد الإشعاع الساقط وليس له أي علاقة بشدته.
- 3 - إنطلاق الإلكترونات يكون لحظياً مهما كانت شدة الإشعاع منخفضة.

4 - يتناسب عدد الإلكترونات المنطلقة (وبالتالي التيار الكهروضوئي) طردياً مع شدة الإشعاع الساقط إذا ما زاد تردده عن القيمة الحرجة .

♦ و يناقشة هذه النتائج من خلال نظرية الكلاسيكية للضوء (التي تعتبر أن الضوء عبارة عن موجات فقط) نجد أن هناك تناقضًا واضحًا فمثلاً :

1 - لو كان إمتصاص الإلكترونات للطاقة يتم بشكل مستمر فإن كل إلكترون يجمع الطاقة بالتدريج ولا يتحرر حتى تبلغ طاقتة قيمة كافية لتحريره من الفلز، ولو كان هذا صحيحاً لوجب أن يحصل التأثير الكهروضوئي عندما تكون شدة الإشعاع عالية بغض النظر عن ترددده وهذا يخالف المشاهدة الأولى .

2 - ولنفس السبب، فإنه ينبغي إزدياد الطاقة الحركية للإلكترونات المنطلقة بزيادة شدة الإشعاع وهذا يخالف المشاهدة الثانية .

3 - كل ما سبق سيؤدي إلى تأخر زمني في إنبعاث الإلكترونات وخاصة عندما تكون شدة الإشعاع منخفضة ولن تستكمل الإلكترونات الطاقة الكافية ل نفسها عن المعدن إلا بعد فترة طويلة وهذا يخالف المشاهدة الثالثة .

♦ أما في عام 1905 فقد قدم العالم "أينشتاين" تفسيراً لظاهرة التأثير الكهروضوئي بناءً على فرض بلانك ويخلص هذه التفسير فيما يلي :
 "" عندما يسقط فوتوناً طاقتة $h\nu$ على سطح فلز ما وكانت هذه الطاقة مساوية لقيمة معينة تسمى 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 بالكافأن يحرر الإلكترون من سطح المعدن ويكون :

$$h\nu = E_W$$

وعليه إذا كانت $h\nu$ أقل من E_W أو كانت $\nu < \nu_c$ فإن الإلكترون لا يستطيع أن يتحرر مهما كانت شدة الإضاءة .

أما إذا كان تردد الإشعاع الساقط $h\nu$ أكبر من التردد الحرج أي أن طاقته أكبر من دالة الشغل للمعدن فإن الإلكترون سيعتبر
أما فرق الطاقة فيخرج في صورة طاقة حركة للإلكترونات المنطلقة ويكون :

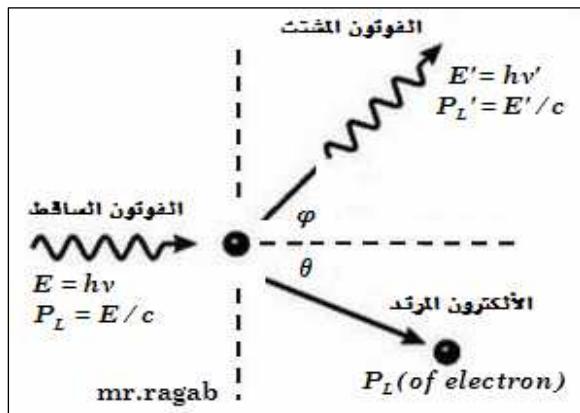
$$h\nu = E_W + K.E. = h\nu_c + K.E.$$

وتزداد طاقة الحركة $K.E.$ هذه بزيادة تردد الإشعاع الساقط لأنه من المعادلة السابقة ثلّاحظ أن دالة الشغل ذات قيمة ثابتة .
كما ثلّاحظ أن التردد الحرج ν_c هو خاصية مميزة للمعدن وعليه فإن دالة الشغل E_W تختلف من معدن لأخر كما أنها لا تعتمد على شدة الضوء الساقط أو زمن التعرض له أو حتى فرق الجهد بين المبهض والمصعد .

والمعادلة السابقة هي " معادلة أينشتاين في التأثير الكهروضوئي " ومن خلالها يمكن تفسير النتيجتين الأولى والثانية . أما بالنسبة للانتقال الآني للإلكترونات فإن أي إلكترون يمتص فوتوناً من فوتونات الإشعاع الساقط يتحرر فوراً ولا يحتاج إلى زمن طويل لتجمّيع 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 المتبعة .

♦♦ 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 " تشتن الأشعة السينية "



والمعروفة بـ "تأثير كومبتون" (الشكل المقابل).
فقد لاحظ العالم " كومبتون " في هذه التجربة أن الأشعة المتشتّتة تكون ذات تردد أصغر قليلاً من الأشعة الساقطة . فعند سقوط فوتون عالي التردد (أحد فوتونات الإشارة السينية أو أشعة جاما) على إلكترون حر فإن تردد هذا الفوتون يقل ويتحسن اتجاهه وفي نفس الوقت تزداد سرعة الإلكترون مع تحفيز 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 وكثافة وبالتالي كمية حركة وطاقة .
ويتطبيق 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 .
إن إسٌطاع كومبتون أن يحصل على نتائج تتطابق مع المشاهدات التجريبية .

♦♦ خواص الفوتون ♦♦

مما سبق نصل إلى أن الفوتون :

- 1 / هو جسم من الطاقة مرکز في حيز صغير جداً ولا يتفاعل التجزئة فهو يتفاعل كوحدة كاملة وتعطي طاقته من المعادلة (1).
- 2 / يتحرك بسرعة ثابتة هي سرعة الضوء c مهما كان ترددده .
- 3 / له كتلة m وله سرعة c وبالتالي تكون له كمية حركة P_L .

- ومن ناحية أخرى ... فقد أثبتت "أينشتاين" في "النظرية النسبية" ارتباط الكتلة والطاقة بعلاقة واحدة هي :

$$E = mc^2 \quad (2)$$

والتي ثبّت أن الكتلة والطاقة وجهان لعملة واحدة ويمكن لأحدّهما أن يتحول إلى الآخر ... أي أن النقص أو الفقد في الكتلة يتحول إلى طاقة .. وهذا هو أساس القنبلة النووية ..

فقد وجدَ أنه خلال الإنطمار 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 ($10^{16} m^2 / sec^2 \times 9$) أي أنه مقدار كبير جداً .

وللعلم : هنا بالنسبة لتحول الكتلة إلى طاقة أما بالنسبة لتحول الطاقة إلى كتلة فيحدث في عملية تسمى بـ "إنتاج الزوج" فيها تحول الطاقة (أشعة جاما) إلى كتلة (إلكترون وبوزيترون) .

وبعد أن ثبّت إمكانية التحول من طاقة إلى كتلة والعكس فإن قانونبقاء الكتلة وقانونبقاء الطاقة المنفصلين في الفيزياء الكلاسيكية يندمجان معاً في النظرية النسبية في قانون واحد هو "قانونبقاء الكتلة والطاقة" .

- نعود مرة ثانية إلى الفوتون ذو الطاقة $E = h\nu$ فإنه حسب معادلة أينشتاين السابقة يملّك أثناء حركته كتلة تعطي من العلاقة :

$$E = h\nu = mc^2 \quad or \quad m = \frac{h\nu}{c^2} \quad (3)$$

وبالتالي تكون كمية حركته P_L (وهي حاصل ضرب الكتلة في السرعة) هي :

$$P_L = mc = \frac{h\nu}{c^2} \times c = \frac{h\nu}{c} \quad or \quad P_L = \frac{h\nu}{c} \quad (4)$$

أما عندما يسقط شعاع من الفوتونات على سطح ما بمعدل φ_L photons/sec، فإن كل فوتون يسقط على السطح وينعكس عنه يعني تغيراً في كمية الحركة بمقدار $\Delta P_L = 2mc$.

وللشعاع ككل يكون $\Delta P_L = 2mc\varphi_L$ حيث φ_L تمثل عدد الفوتونات الساقطة في الثانية .

وبالتالي فإن القوة التي يؤثّر بها شعاع الفوتونات على السطح تكون عبارة عن التغيير في كمية التحرّك للشعاع لكل ثانية أي أن :

$$F = \frac{\Delta P_L}{\Delta t} = 2mc\varphi_L = 2\left(\frac{h\nu}{c^2}\right)c\varphi_L = 2\left(\frac{h\nu}{c}\right)\varphi_L \quad : \quad \Delta t = 1 sec$$

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 يؤثّر بها شعاع قدرته 1 وات على سطح حائط من القانون السابق يكون :

$$F = \frac{2P_w}{c} = \frac{2 \times 1}{3 \times 10^8} = \frac{0.67}{10^8} Newtons$$

وهذه القوة صغيرة جداً فلا تؤثّر تأثيراً ملحوظاً على سطح الحائط ، ولكن يمكن أن تؤثّر بدرجة كبيرة على الإلكترون حروذلك لصغر كتلته فتقذفه بعيداً ... وهذا ما يفسّر ظاهرة "كومبتون" .

❖ ❖ العلاقة بين الطول الموجي وكمية التحرك الخطية للفوتون ❖ ❖

إلي هنا نكون قد إقتتنعنا بأن الفوتون له طبيعة مزدوجة (موجة / جسيم) . فيعبر عن الطابع الجسيمي له بمعادلة بلانك :

$$E = h\nu$$

أما الطابع الموجي فيظهر في المعادلة :

$$c = \lambda\nu$$

حيث هو λ طول الموجة الخاص به و ν ترددہ و c سرعة انتشاره . إذا :

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{c}{\nu} \times \frac{h}{h} = \frac{h}{h\nu/c}$$

$$but \quad P_L = \frac{h\nu}{c} \quad so \quad \boxed{\lambda = \frac{h}{P_L}} \quad (6)$$

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 :

$$\lambda = 380 \text{ nanom.} \quad \diamond \quad c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}^2 \quad \diamond \quad h = 6.625 / 10^{34} \text{ Joule.sec}$$

إذا :

$$c = \lambda\nu \quad >>> \quad \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \times 10^9}{380} = 7.89 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$but \quad m = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{6.625 / 10^{34} \times 7.89 \times 10^{14}}{9 \times 10^{16}} = 5.81 / 10^{36} \text{ kg}$$

$$and \quad P_L = \frac{h\nu}{c} = \frac{6.625 / 10^{34} \times 7.89 \times 10^{14}}{3 \times 10^8} = 1.74 / 10^{27} \text{ kgm/sec}$$

❖ الطبيعة الموجية للجسيم ❖

درس الفيزيائي الفرنسي " لويس دي بروولي " الطبيعة المزدوجة التي يتصرف بها الإشعاع وأحس بالتناظر القائم في الكون وتسأل :
 إذا كانت للموجات طبيعة جسيمية فلماذا لا يكون للجسيم (وبالتالي للمادة) طبيعة موجية !!؟
 لهذا فقد اقترح في رسالته للدكتوراه عام 1924 اقتراحاً مفاده أن للمادة أيضاً طبيعة موجية بالإضافة إلى طبيعتها الجسيمية .
 فكما أن للإشعاع ذي الطول الموجي λ كمية تحرك خطية $P_L = h\nu / c$ يُعطى من العلاقة $P_L = h\nu / c$ يكون للجسيم المادي (إلكترون أو بروتون أو نيوترون أو أي جسيم دقيق) ذو كمية التحرك الخطية P طول موجي مصاحب λ يُعطى من العلاقة :

$$\boxed{\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv}} \quad (7)$$

ويعني الطول الموجي λ في هذه الحالة بـ " طول موجة دي بروولي للجسيم ".
 وبناءً على هذا التناظر والتماثل الموجود بين الموجات والجسيمات ... وحيث أن الشعاع الضوئي مكون من مجموعة هائلة من الفوتونات لها طول موجة مصاخب يصف سلوكها الجماعي من حيث الانتشار والإعكاس والإنكسار والتدخل والحياء .

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 انتشار وإنعكاس وإنكسار وتدخل وحيود .

وهنا يتبدّل إلى أذهاننا .. سؤال ... !!!

هل يعني ما سبق أنه يمكن استخدام شعاع من الإلكترونات كما نستخدم شعاع من الضوء !!!!!!
والإجابة هي :::: نعم :::

وأكبر دليل على ذلك هو " الميكروسكلوب الإلكتروني " .

❖ ❖ الميكروسكلوب الإلكتروني ❖ ❖

يعتبر الميكروسكلوب الإلكتروني من الأجهزة المعملية التي تعتمد على الطبيعة الموجية للإلكترونات . وهو يشبه الميكروسكلوب الضوئي في نواحٍ كثيرة منها (أن تجميع الشعاع الإلكتروني أو الأشعة الضوئية أو تفريقها يتم بواسطة عدسات مناسبة . كما يحدث لكل منها خاصيتي التداخل والحيود) .

أما الاختلاف الرئيسي بينهما فيكمن في " القدرة على التحليل " ، حيث يمتاز الميكروسكلوب الإلكتروني بقدرة تحليلية عالية جداً وأيضاً تميز التفاصيل الدقيقة .

وذلك لأنه يعتمد في عمله (كما يتضح من الاسم) على الشعاع الإلكتروني . وكما درسنا سابقاً فإن الإلكترونات المتحركة تصحبه دائمًا 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 تحمل بطاقة حركة عالية جداً ومن ثم يكون لها أطوال موجية قصيرة جداً وعليه يكون معامل التكبير للميكروسكلوب 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 اكتشفت ظواهر عجزت الفيزياء التقليدية عن تفسيرها . ظهرت فرضيات أضيفت إلى الفيزياء التقليدية لتناسب هذه الظواهر وأنتهي الأمر أخيراً إلى نظرية متكاملة سميت 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 تُنبع الطاقة من الذرة إلا إذا انتقل الإلكترون من مستوى معين إلى مستوى أدنى منه .
- 3 / تصدر هذه الطاقة علي هيئة فوتون طاقته $\hbar\nu$ وهي تساوي فرق الطاقة بين المستويين وتسمى هذه العملية بـ " الاسترخاء " .

4 / ينتقل الإلكترون من مستوى معين إلى مستوى أعلى منه عندما تمتضى الذرة كمية من الطاقة (على هيئة فوتون أيضاً) مساوية لفرق الطاقة بين المستويين وتسمى هذه العملية بـ "الاستثارة" .

5 / إذا كانت طاقة الفوتون الساقط أكبر من طاقة التأين للذرة فإن الإلكترون يتحرر من الذرة نهائياً تاركاً الذرة عبارة عن آيون موجب .

6 / عملية الاستثارة وعملية الاسترخاء عمليات متلازمان وفي حالة الإتزان الحراري تكون الذرة مستقرة .

7 / هناك دالة تصف حالة الإلكترون داخل الذرة تسمى بـ " الدالة الموجية " / هذه الدالة تعبر عن احتمالية وجود الإلكترون في مكان ما في لحظة معينة . فـ " الاحتمالية " هي مقدار موجب تراوحت قيمة بين صفر (في حالة التأكد من عدم وجود الجسيم في ذلك المكان عند تلك اللحظة فمثلاً احتمالية وجود الإلكترون داخل الذرة بالقرب من النواة تساوي صفر وإنما يسقط في النواة ويضفي الكون ، وأيضاً احتمالية 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 استخدام الميكانيكا الكلاسيكية .

♦ مثال : إحسب الطول الموجي لكرة كتلتها 140 كجم تتحرك بسرعة 40 م / ث . ثم إحسب الطول الموجي للإلكترون إذا كان يتحرك بنفس السرعة ؟
المعطيات :

$$m = 140 \text{ kg} \quad \diamond \quad v = 40 \text{ m/sec} \quad \diamond \quad m_e = 9.1 / 10^{31} \text{ kg} \quad \diamond \quad h = 6.625 / 10^{34} \text{ Joule.sec}$$

أولاً : الطول الموجي للكرة :

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv} = \frac{6.625 / 10^{34}}{140 \times 40} = 1.18 / 10^{37} \text{ m}$$

ثانياً : الطول الموجي للإلكترون :

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{m_e v} = \frac{6.625 / 10^{34}}{9.1 / 10^{31} \times 40} = 1.82 / 10^5 \text{ m}$$

ومن خلال هذا المثال يمكن طرح سؤال هام وهو : ماذا لا تظهر الخواص الموجية للأجسام المحيطة بنا ٩٩٩
يرجع هذا الأمر إلى أن طول موجة الأجسام المتحركة ذات الكتلة الكبيرة نسبياً يكون صغيراً جداً ... فكما رأينا في المثال أن الخواص الموجية للكرة السابقة يمكن أن تظهر فقط عندما تصطدم بشبكة حيدود يبلغ عرض فتحتها $1.18 / 10^{37}$ متر ولكن هذه المسافة أصغر بكثير من أبعاد الذرة ($10^{10} / 1$ متر) كما أنها أصغر من أبعاد النواة ($10^{13} / 1$ متر) أيضاً وعليه لا يمكن أن تظهر الخواص الموجية للكرة لدى إصطدامها بأجسام حقيقة . أما بالنسبة لموجة الإلكترونات فإنه يمكن ملاحظة حيدودها عند إصطدام الإلكترونات بذرارات البلورات ...

... تو بحمد الله و توفيقه تعالى ...



المعلم | المعلم

|| الأطباف الذرية ||

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

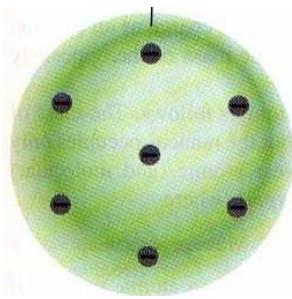
الوحدة الخامسة / الفصل الثالث عشر: "الأطيات الذرية"

الأطيات الذرية

❖ مقدمة :

لقد كان تطور مفهوم الذرة يسير جنباً إلى جنب مع تطور علمي الكيمياء والفيزياء ، لذا فقد جرت عدة محاولات لوضع فرضيات ونمادج للذرة تحاول التوفيق بين النموذج المقترن والمعطيات التجريبية . ومن هذه النماذج :

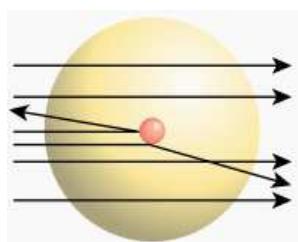
نموذج طومسون



- بعد اكتشاف الإلكترون تمكّن الفيزيائي " ج ج طومسون " في إحدى تجاريه 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 مصمّمة من مادة ذات شحنة موجبة توزع داخلها الإلكترونات سالبة الشحنة بشكل منتظم .
 وفيه أيضاً تكون الشحنة السالبة الكلية للذرة مساويةً للشحنة الموجبة لها . لأن الذرة متعادلة كهربياً .

نموذج رذرفورد

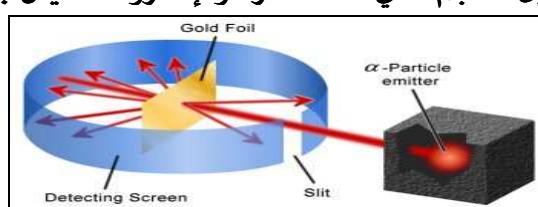
في عام 1911 أجري " رذرفورد " تجربته الشهيرة في تشتت أشعة ألفا والتي تعد دليلاً قاطعاً على عدم صلاحية نموذج " طومسون " فعند توجيه حزمة من جسيمات ألفا He^4 السريعة إلى شريحة رقيقة جداً من الذهب (سمكها حوالي 10^{-4} سم) لاحظ رذرفورد الآتي :



- 1 - معظم جسيمات ألفا تنفذ خلال الشريحة دون أن تُثَانِي أي إنحراف يُذكر في مسارها مما يعني أن معظم الذرة فارغ .
- 2 - تنحرف نسبة قليلة من هذه الجسيمات عن مسارها الأول بزوايا صغيرة مما يدل على اقترابها من جسيم كبير نسبياً مماثل لها في الشحنة .
- 3 - بعض هذه الجسيمات ينحرف بزوايا كبيرة إلى نفس جهة صدورها ، بل إن عدداً منها يرتد بزاوية 180° تقريباً الأمر الذي يعني اصطدامها بجسيم كبير نسبياً مماثل لها في الشحنة .

❖ وبناءً على هذه الملاحظات والنتائج وضع " رذرفورد " نموذجه 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 لانجدبت 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 ضيئل جداً مقارنة بحجم الذرة ككل .



* الصعوبات التي صادفت نموذج رذفورد !!!

بعد أن استقر الرأي على إعتماد نموذج رذفورد وجهت إليه بعض الإنتقادات الخاصة بـاستقرار الذرة وتفسيـر خطوط الطيف .
- أولاً : بالنسبة لـاستقرار الذرة :

إـذا ما إفترضنا أن الإلكترونات تدور حول النواة بـسرعة كبيرة فإن هذا النـظام يـبدو مستـقراً من النـاحية الميكانيـكية لأن الإلكترون سيكون متـزنـاً تحت تـأثير قـوة جـذب النـواة المـوجـبة المـعـادـلة لـالـقـوـة المـارـدة المـركـزـية النـاتـجة عـن دـورـانـ الـإـلـكتـرونـات حـولـ النـواـة في مـدـارـاتـ دائـرـيةـ .

ولـكنـ هـذـا لا يـحلـ المشـكـلةـ ذـلـكـ لأنـ الـإـلـكتـرونـ وـهـوـ يـدورـ حولـ النـواـةـ سـيـكتـسـ عـجلـةـ مـرـكـزـيةـ ...ـ وـأـيـ شـحـنةـ تـتـحـركـ بـعـجلـةـ لـابـدـ لهاـ "ـ تـبعـاـ لـلـنظـرـيـةـ الـكـهـرـوـمـغـناـطـيسـيـةـ "ـ منـ أـنـ تـصـدـرـ طـاقـةـ كـهـرـوـمـغـناـطـيسـيـةـ (ـ إـشـاعـ كـهـرـوـمـغـناـطـيسـيـ)ـ بـشـكـلـ مـسـتـمرـ .ـ وـتـكـونـ هـذـهـ الطـاقـةـ المـفـقـودـةـ عـلـىـ حـاسـبـ الطـاقـةـ الـكـلـيـةـ لـلـإـلـكتـرونـ فيـ مـدـارـهـ ...ـ الـأـمـرـ الـذـيـ يـتـسـبـبـ فيـ إـقـرـابـ الـإـلـكتـرونـ مـنـ النـواـةـ بـشـكـلـ تـدـريـجيـ وـيـتـخـذـ مـسـارـاـ حـلـزـونـيـاـ حـتـىـ يـسـقطـ عـلـىـ النـواـةـ فـتـنـهـارـ الذـرـةـ وـيـفـنـيـ الكـونـ ...ـ وـلـكـنـ هـذـاـ لاـ يـحـدـثـ فيـ الـوـاقـعـ .ـ

- ثـانـياـ :ـ بالـنـسـبـةـ لـتـفـسـيرـ خـطـوـطـ الطـيفـ لـلـعـنـاصـرـ :

وـهـذـاـ يـرـتـبـطـ بـالـتـفـسـيرـ السـابـقـ ...ـ فـحـيـثـ أـنـ الذـرـةـ تـشـعـ الطـاقـةـ بـاـسـتـمـارـ ...ـ لـذـاـ إـنـهـ يـجـبـ أـنـ يـحـتـويـ إـشـاعـ النـاتـجـ عـلـىـ كـلـ التـرـدـدـاتـ المـمـكـنةـ أـيـ أـنـ تـصـدـرـ الذـرـةـ "ـ طـيـفـاـ مـسـتـمـراـ"ـ .ـ

ولـكـنـ هـذـاـ يـخـالـفـ الـمـشـاهـدـاتـ الـعـمـلـيـةـ ،ـ إـذـ أـنـ طـيـفـ الـعـنـاصـرـ يـكـوـنـ "ـ طـيـفـ خـطـيـ"ـ (ـ خـطـوـطـ طـيـفـيـةـ مـتـقـطـعـةـ)ـ أـيـ عـلـىـ هـيـئـةـ خـطـوـطـ ذاتـ أـطـوـالـ مـوـجـيـةـ مـحـدـدـةـ تـمـيـزـ كـلـ عـنـصـرـ عنـ الـآـخـرـ .ـ

نموذج بور

منـ أـكـثـرـ النـماـذـجـ الـتـيـ إـسـتـحوـذـتـ عـلـىـ إـعـجـابـ الـعـلـمـاءـ وـتـقـدـيرـهـمـ هوـ نـمـوذـجـ "ـ بـورـ"ـ الذـرـيـ .ـ فـيـهـ إـعـتمـدـ "ـ بـورـ"ـ عـلـىـ نـمـوذـجـ "ـ رـذـفـورـدـ"ـ السـابـقـ وـاسـتـطـاعـ تـجـاـزـ تـنـاقـضـاتـهـ بـاـسـتـعـمالـ فـكـرـةـ "ـ الـكـمـ"ـ الـتـيـ إـسـتـخـدـمـهاـ كـلـاـ مـنـ "ـ بـلـانـكـ"ـ وـ "ـ آـيـنـشتـايـنـ"ـ مـنـ قـبـلـ .ـ

وـقـدـ نـصـتـ فـرـضـيـاتـ هـذـاـ نـمـوذـجـ عـلـىـ :

- 1 - تـتـرـكـ مـعـظـمـ كـتـلـةـ الذـرـةـ فيـ حـجـمـ صـغـيرـ جـداـ مـنـهـ يـسـمـيـ بـ "ـ النـواـةـ"ـ الـتـيـ تـحـمـلـ الشـحـنةـ الـمـوجـبةـ .ـ
- 2 - الذـرـةـ مـتـعـالـةـ كـهـرـيـاـ وـبـالـتـالـيـ فـيـانـ عـدـدـ الـإـلـكتـرونـاتـ السـالـبـةـ خـارـجـ النـواـةـ = عـدـدـ الشـحـنـاتـ الـمـوجـبةـ دـاخـلـهاـ .ـ
- 3 - تـدـورـ الـإـلـكتـرونـاتـ بـسـرـعـةـ كـبـيرـةـ فيـ الفـضـاءـ الشـاسـعـ حـولـ النـواـةـ فيـ مـدـارـاتـ مـحـدـدـةـ ثـعـرـفـ بـ "ـ الـأـلـغـافـةـ"ـ لـكـلـ مـنـهـ مـسـتـوـيـ .ـ

❖ وـالـيـ جـانـبـ هـذـهـ فـرـضـيـاتـ وـضـعـ "ـ بـورـ"ـ الـفـروـضـ الـثـلـاثـةـ التـالـيـةـ :

- 4 - لـاـ تـنـبـعـ إـشـاعـاتـ الـكـهـرـوـمـغـناـطـيسـيـةـ (ـ الـفـوـتـونـاتـ)ـ مـنـ الـإـلـكتـرونـاتـ إـلاـ عـنـدـمـاـ يـقـفـزـ الـإـلـكتـرونـ مـنـ مـسـتـوـيـ معـينـ (ـ وـلـتـكـنـ طـاقـتـهـ E_2 ـ)ـ إـلـيـ مـسـتـوـيـ الأـدـنـيـ مـنـهـ (ـ طـاقـتـهـ E_1 ـ مـثـلاـ)ـ .ـ وـتـكـونـ طـاقـةـ الـفـوـتـونـ المـنـبـعـ $h\nu$ ـ مـساـوـيـةـ لـلـفـرقـ بـيـنـ طـاقـتـيـنـ .ـ
- فـيـذـاـ كـانـتـ $E_2 > E_1$ ـ فـيـانـ طـاقـةـ الـفـوـتـونـ تـعـطـيـ مـنـ الـعـلـاقـةـ :

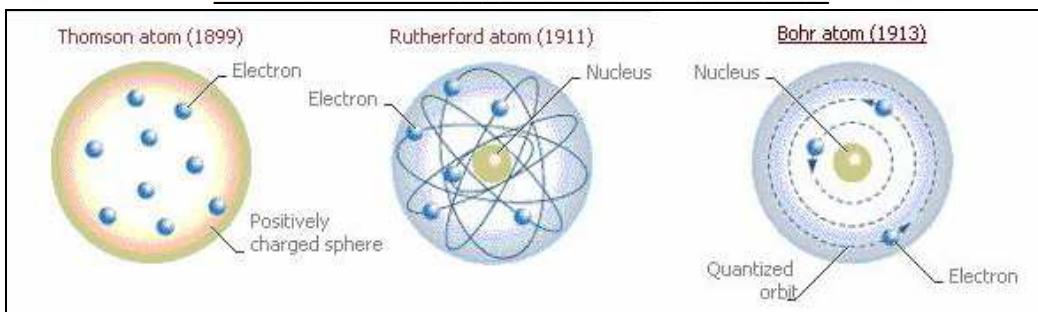
$$h\nu = \Delta E = E_2 - E_1 \quad (1)$$

حيـثـ ν ـ هوـ تـوـدـدـ إـشـاعـ المـنـبـعـ .ـ

- 5 - القـوىـ الـكـهـرـيـةـ (ـ قـوـةـ التـجـاذـبـ بـيـنـ النـواـةـ وـالـإـلـكتـرونـ)ـ وـالـقـوىـ الـمـيـكـانـيـكـيـةـ (ـ قـوـيـ الـطـردـ المـركـزـيـ)ـ تـكـونـ قـاـبـلـةـ لـلـتـطـبـيقـ عـلـىـ مـسـتـوـيـ الذـرـيـ .ـ

6 - يـمـكـنـ حـاسـبـ طـاقـةـ الـمـدارـ تـقـدـيرـياـ بـيـاعتـبارـ أـنـ الـمـوجـةـ الـمـصـاحـبـةـ لـلـإـلـكتـرونـ مـوجـةـ مـوـقـوفـةـ .ـ

❖ وـالـشـكـلـ التـالـيـ يـوـضـعـ فـرـقـ بـيـنـ شـكـلـ الذـرـةـ فيـ ضـوءـ النـمـاذـجـ الـثـلـاثـ السـابـقـةـ :



الطيف الخطي لذرة الهيدروجين

1 / عندما تكتسب مجموعة من ذرات الهيدروجين كمية من الطاقة فإنها لا تشاركنها بنفس الدرجة ، حيث نجد أن الإلكترونات الموجودة في المستوى الأول (المستوى الأرضي حيث $n = 1$) لتلك الذرات تنتقل إلى مستويات مختلفة أعلى حيث $n = 2 \text{ or } 3 \text{ or } 4 \text{ or } \dots$ وذلك حسب كمية الطاقة التي يتلقاها كل إلكترون في كل ذرة والتي يجب أن تكون متساوية للفرق بين طاقة المستوى النهائي n وطاقة المستوى الأول أي ($E_n - E_1$ ناقص 1).

2 / لا تبقي الذرة في حالة الإثارة إلا لفترة قصيرة جداً (حوالي 10^{-8} ثانية) ثم تعود بعدها إلى حالة الأول . وبمعنى آخر : لا تبقي الإلكترونات في المستويات العليا إلا لفترة قصيرة جداً تهبط بعدها إلى مستواها الأرضي مرة أخرى .
 3 / وكما سبق وأن بينا ... فإن الإلكترون عندما يهبط من المستوى العليا إلى مستوى أدنى فإن فرق الطاقة يخرج في شكل إشعاع كهرومغناطيسي تردد ν وطاقة تساوي $h\nu$ حيث :

$$h\nu = \Delta E = E_2 - E_1 \quad \text{and} \quad \lambda = c / \nu$$

4 / ولقد وجد عملياً ... أنه عند إشارة 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 "بالي" : 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 "براكت" : 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 وتمتاز بأنها أكبر الأطوال الموجية .

المطياف

- بدايةً : يمكن تعريف "الطيف" على أنه "نواتج تحليل الضوء إلى مكوناته المئوية وغير المئوية".
- كذلك يوجد نوعين إثنين من الطيف هما : طيف مستمر وطيف خطى .
- ف "الطيف المستمر" هو "الطيف الذي يشتمل على كل الأطوال الموجية في مدي معين موزعة توزيعاً مستمراً أو متصلة".
- أما "الطيف الخطى" فهو "الطيف الذي يشتمل على بعض الأطوال الموجية موزعة توزيعاً غير متصل".

❖ إستخدامه : يستخدم المطياف في الحصول على الطيف النقي للعناصر .

❖ تركيبه : يتربّك المطياف من ثلاثة أجزاء رئيسية هي :

- 1 - المجمع : وهو يشتمل على مصدر الضوء الذي يوجد أمامه فتحة مستطيلة ضيقة يمكن التحكم في اتساعها بواسطة مسمار محوي وتضيّع هذه الفتحة حتى تكون دائمة في بؤرة عدسة محدبة .
- 2 - منضدة قابلة للدوران يوضع عليها منشور ثلاثي من الزجاج بشرط أن يكون في وضع النهاية الصغرى للإنحراف (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 لوحة فوتوغرافية حساس .

❖ طريقة العمل :

- 1 / يسقط شعاع من الضوء الأبيض المتاليق على الفتحة المستطيلة ومن ثم على المنشور .
- 2 / يوجه التليسكوب لاستقبال الأشعة المارة خلال المنشور . ويجب ملاحظة أن أشعة كل لون تكون متوازية فيما بينها وغير موازية لأشعة الألوان الأخرى .

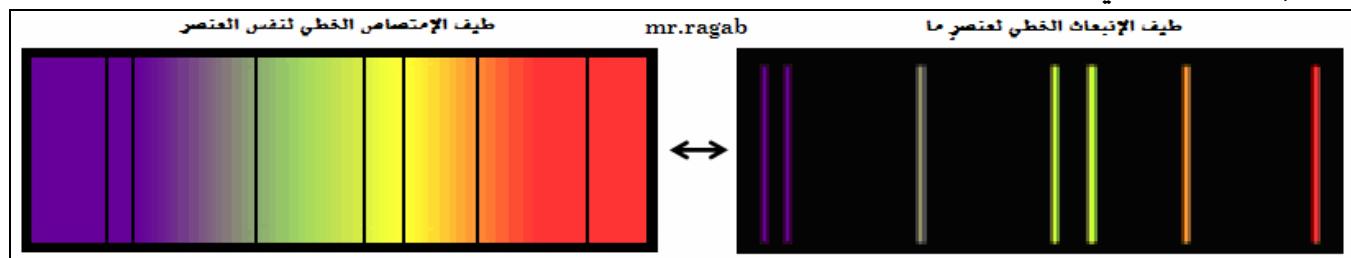
لذا تعمل العدسة الشيئية على تجميع كل لون منها في بؤرة خاصة به على المستوى البؤري لهذه العدسة . التي يمكن رؤيتها بواسطة العدسة العينية .

و بذلك يتم الحصول على طيف نقي .

* أنواع المطياف !!

بدراسة أطياف المواد المختلفة التي تشعها ذراتها المثارة نجد أنه يمكن تقسيم هذه الأطياف إلى نوعين رئيسين هما :

- 1 - طيف الإنبعاث : وهو الطيف الناتج عن إنتقال الذرات المثارة من المستويات العليا إلى المستويات الدنيا . وقد يكون هذا الطيف مستمراً كالطيف المتولد عن الأجسام الصلبة المتوجهة إلى درجة البياض حيث تظهر فيه مناطق الطيف متصلة بعضها دون أي فاصل بينها . أو يكون خطياً على شكل خط أو عدة خطوط رقيقة ملونة تختلف حسب موضعها من الطيف بينها مناطق سوداء وذلك كالطيف الناتج عن الغازات والأبخنة 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 بطيقه الخطى ويظهر مكانها خطوط سوداء لذا يسمى هذا النوع بـ "طيف الإمتصاص الخطى" .



و " خطوط فراونهوفر " الموجودة في طيف الشمس تمثل أطيفاً إمتصاص خطية للعناصر الموجودة في جو الشمس . الأمر الذي أثبت وجود عنصري الهيليوم والهيدروجين في الشمس .

♦ ملحوظة هامة : تسمى " الأطيف الخطية " بـ " الأطيف الذري " لأنه توجد علاقة وثيقة بين الطيف الخطى لعنصر ما وبين التركيب الذري له . فكل عنصر طيف خطى 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 اكتشاف هذه الأشعة بواسطة العالم " رونتجن " عام 1895 أثناء دراسته لخواص التفريغ الكهربائي للغازات ، ونظرًا لعدم معرفته بماهية هذه الأشعة الجديدة فقد أطلق عليها اسم " أشعة إكس " . كما تسمى أيضًا بـ " أشعة رونتجن " .

* خواص الأشعة السينية !!!

تمتاز هذه الأشعة بأنها :

- 1 - ذات قدرة كبيرة على اختراق المواد .
- 2 - ذات قدرة كبيرة على تأمين الغازات .
- 3 - تحديد في البلورات .
- 4 - تؤثر على الألواح الفوتografية الحساسة .
- 5 - غير مشحونة وتسير في خطوط مستقيمة .

* توليد الأشعة السينية بواسطة " أنبوبة كوكولج " !!!

يوضح الشكل التالي الجهاز الذي يستخدمه العالم " كوكولج " لتوليد الأشعة السينية والذي مازالت فكرته تستخدمن حتى الآن .

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 خطى : ويسمى بـ " **الطيف المميز للأشعة السينية** " حيث يُقابل أطوال موجية معينة تميز العنصر المميز بمادة الهدف .

* تفسير طيف الأشعة السينية !!!

أولاً : بالنسبة للطيف المستمر :

فينشا الطيف المستمر عن الإشعاع الكهرومغناطيسي المبعث 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 الفرماء أو الكبح** " .

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 ودرجات متضادة .

ثانياً : بالنسبة للطيف الخطى :

فينتقل الطيف الخطى عندما يصطدم الإلكترون المعجل (بواسطة المجال الكهربى بين الأنود والكاಥود) في أنبوبة الأشعة السينية بآحادى الذرات الموجودة في مادة الهدف حيث ينتقل جزءاً من طاقته إلى أحد الإلكترونات الداخلية في هذه الذرة .

وعليه ... إذا كانت الطاقة المتتصدة كافية لأن يخرج الإلكترون من الذرة نهائياً أو أن ينتقل من مستوى الطاقة الخاص به إلى مستوى أعلى فإن الذرة تصبح في حالة إستثنارة عالية وعند رجوعها إلى حالتها الأرضية عن طريق أن يحل الإلكترون من أحد المستويات العليا محل الإلكترون الخارج من الذرة أو أن يعود الإلكترون إلى مستوى الأول ... وفي كلتا الحالتين يظهر الفرق بين طاقة المستويين على شكل إشعاع كهرومغناطيسي مميز له طول موجي محدد .

ويلاحظ في هذا الطيف الخطى أن :

1 - الطول الموجي للأشعة المميزة لا يتوقف على فرق الجهد المستخدم ولكن يتوقف على نوع العنصر المستخدم كهدف . فكما 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 الإستفادة 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 " محزوّز الحيود " حيث تتكون هدب مضيئة وأخرى مظلمة تبعاً لفرق المسار بين الموجات المتدخلة .

2 - حيث أن الأشعة السينية لها قدرة كبيرة على النفاذ لذا تستخدم في الكشف عن العيوب التركيبية في المواد المستخدمة في الصناعات المعدنية .

3 - ويتربّط على خاصية النفاذ أيضاً أن لها القدرة على تصوير العظام لتحديد الكسور أو الشروخ أو في بعض التشخيصات الطبية الأخرى .

... ثم بحمد الله وتوفيقه تعالى ...



الْمَدْلُوْلُ عَلَيْهِ عَلْمٌ

"اللَّبِيزْدَر"

إعداد الأستاذ /
رجيب مصطفى

الوحدة الخامسة / الفصل الرابع عشر: " الليزر "

الليزر

♦ مقدمة :

- معناه :

ثمثيل الكلمة الـ " ليزر " Laser المحروف الأولى من مجموعة من الكلمات الإنجليزية التي تعني " تكبير أو تضخيم شدة الضوء بواسطة الانبعاث المستحدث 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 استثناء مثل الفيزياء والكيمياء والجيولوجيا والبيولوجيا والبصريات والطب والهندسة وبالأخص الاتصالات .

- تاريخه :

تمكن الفيزيائي الأمريكي " ميمان " عام 1960 من صناعة أول ليزر بواسطة بلورة من الياقوت المطعم بالكروم . وبعده بأشهر أمكن تصنيع الليزر الغازى مثل ليزر الهيليوم / نيون . ثم توالي بعده تصنيع الأنواع المختلفة من الليزر .

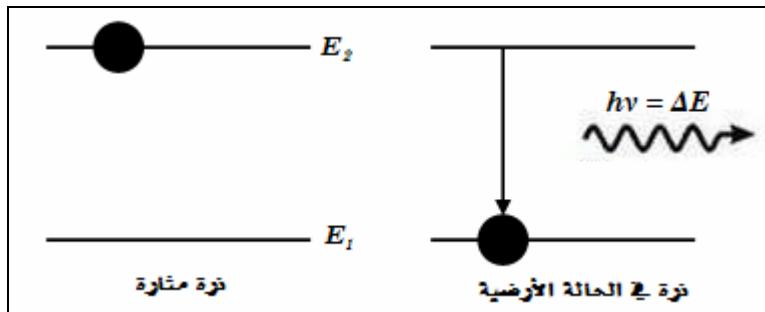
<> الإنبعاث (أو الإشعاع) التلقائي والإنباع المستحدث <>

- درسنا فيما سبق أن للذرة مستويات طاقة أدنها 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 المثاررة " .

- وإذا رمزاً لطاقة المستوى الأرضي بالرمز E_1 ومستويات الإثارة بالرموز E_2, E_3, E_4, \dots مثلاً . فإنه عندما تُقذف ذرة في حالتها العادية بفوتون طاقته $(E_2 - E_1)$ فإنها تتحصى وتنتقل من المستوى الأرضي إلى مستوى الإثارة الذي طاقته E_2 .

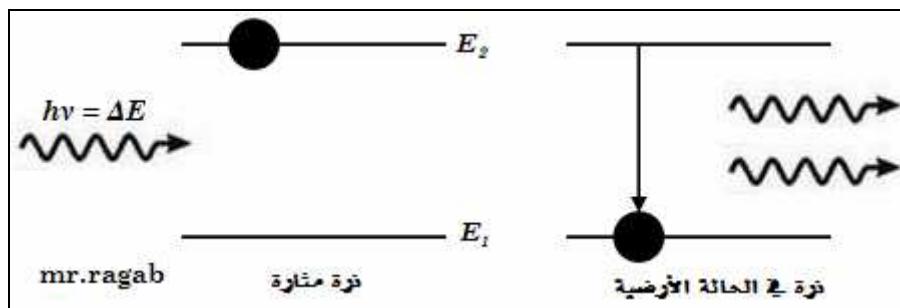
- ولكن سرعان ما تتخلص الذرة (بعد فترة زمنية قصيرة جداً حوالي 10^{-8} ثانية تسمى بـ " فترة العمر ") من طاقة الإثارة . هذه بأشعاعها على شكل فوتون آخر لتعود إلى حالتها العادية .

- ويسمى هذا النوع من الإشعاع بـ " الإشعاع التلقائي " وهو النوع السائد في معظم مصادر الضوء العادي . ويكون للفوتون المنبعث نفس تردد الفوتون المسبب للإثارة أما إتجاهه وطوره فهما عشوائيان .



- أما عندما يسقط فوتون طاقته $(E_2 - E_1)$ على ذرة مثاررة أصلاً (موجودة في مستوى الإثارة الذي طاقته E_2 ولم تنتهي فترة عمر لها) فإن هذا الفوتون يُحير 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 " الأشعاع المستحدث " وهو السائد في مصادر الليزر .



- ❖ ملاحظة : إنطلاق الفوتونات من ذرات المادة بهذه الطريقة تجعلها (أي الفوتونات) :
 - 1 - تتجمع في حزم متوازية وبصورة متراقبة لمسافات طويلة جداً .
 - 2 - ذات تركيز عالي أو شدة عالية على طول مسار الحركة .
 - 3 - لا تعاني من التشتت أو الإنكسار الذي تُعانيه حزم الفوتونات المنبعثة عن طريق الإشعاع التلقائي .
- ❖ مقارنة بين الإنبعاث التلقائي والإنبعاث المستحدث :

| الإنبعاث المستحدث | الإنبعاث التلقائي |
|--|---|
| يحدث عندما يسقط الفوتون على ذرة مثارة أصلاً (اي قبل انتهاء فترة بقائها في الحالة المثارة) ، حيث يُجبر هذا الفوتون الذرة على الصعود 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 (اي ثمار الذرة) . وعندما تعود الذرة إلى حالتها العادية بعد انتهاء فترة بقائها في الحالة المثارة فإنها " تلقائياً وبدون أي مؤثر خارجي " تشع الفرق بين طاقتى المستويين على شكل فوتونات لها نفس تردد الفوتون الساقط . |
| فوتونان . | فوتون واحد . |
| 1 - لها طول موجي موحد . 2 - لها نفس الطور والإتجاه . كما تتحرك على شكل أشعة متوازية تماماً . 3 - لا تخضع لقانون التربع العكسي حيث تظل شدة الإشعاع ثابتة لمسافات طويلة أثناء انتشارها . | 1 - تغطي مدي واسع من الأطوال الموجية للطيف الكهرومغناطيسي . 2 - تتحرك بصورة عشوائية تماماً (الإتجاه والطور غير محددين) . 3 - تخضع لقانون " التربع العكسي " حيث يقل التركيز أثناء الانتشار بحيث تتناسب شدة الإشعاع عكسياً مع مربع المسافة المقطوعة . |
| يعتبر النوع السائد في مصادر الليزر المختلفة . | يعتبر النوع السائد في مصادر الضوء العادي . |

<> خصائص أشعة الليزر <>

تمتاز أشعة الليزر عن الضوء العادي بعدد من الخصائص هي :

1 - النقاء الطيفي :

أشعة الليزر عبارة عن حزمة ضوئية غاية في النقاء من ناحية الطول الموجي حيث تنتج خطأً طيفياً واحداً فقط له مدي ضئيل جداً من الأطوال الموجية تتركز شدته عند هذا المدي المعين وبالتالي يمكن اعتبار أشعة الليزر " أحادية الطول الموجي " تقريباً .

في حين يحتوي كل خط من خطوط الطيف العادي على مدي كبير من الأطوال الموجية تتفاوت في شدتها من طول موجي لأخر .

2 - التركيز أو التوازي :

فأشعة الليزر عبارة عن حزمة رقيقة 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 فقدان .

في حين نجد أن قطر حزمة الضوء الصادرة من المصادر العادي يزداد أثناء إنتشارها نتيجة للتشتت .

3 - الترابط :

فتنتقل الفوتونات المكونة لأشعة الليزر بصورة متراقبة زمانياً ومكانياً ، كما تكون متتفقة في الطور مما يجعلها أكثر تركيزاً .
أما فوتونات الضوء العادي فتنطلق بصورة عشوائية غير متراقبة وفي أزمنة مختلفة .

4 - الشدة :

فأشعة الليزر الساقطة على سطح ما لا تخضع لقانون التربع العكسي للمسافات وبالتالي تحفظ بشدة ثابتة لوحدة المساحات من هذا السطح .

أما الأشعة الضوئية العادي 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 <>

ت تكون أجهزة توليد الليزر على اختلاف أنواعها وأشكالها وطاقتها من ثلاثة عناصر أساسية هي :

1 - الوسط الفعال :

وهو المادة الفعالة لإنتاج الليزر . وهو إما أن يكون :

أ / بلورات صلبة : مثل الياقوت الصناعي .

ب / بلورات صلبة شبه موصلة : مثل بلورات السيليكون .

ج / صبغات سائلة : مثل الصبغات العضوية المذابة في الماء .

د / غازات : وهذه إما أن تكون ذرات مثل الهيليوم أو النيون وإما أن تكون جزيئات ثاني أوكسيد الكربون .

ه / غازات متآينة : مثل الأرجون المتأين .

2 - مصدر الطاقة :

وهو المسؤول عن إكساب مادة الوسط الفعال الطاقة اللازمة لإثاراتها . وطاقة الإثارة هذه إما أن تكون في صورة :

أ / طاقة كهربية :

ويتم ذلك إما بإستخدام مصادر للترددات الراديوية أو بإستخدام التفريغ الكهربائي بواسطة فرق جهد مستمر عالي . والنوع الثاني (التفريغ الكهربائي) غالباً ما يستخدم في أجهزة الليزر الغازية مثل ليزر ثاني أوكسيد الكربون وليزر الهيليوم / نيون وليزر الأرجون .

ب / طاقة ضوئية :

وتعرف هذه الطريقة بـ " الضخ الضوئي " ويمكن أن تتم بوسائلتين مختلفتين هما :

1 / المصابيح الوهاجة ذات القدرة العالية : كما في ليزر الياقوت .

2 / أشعة الليزر أيضاً : كما في ليزر الصبغات السائلة .

ج / طاقة حرارية :

باستخدام التأثير الحراري الناتج عن الضغط الحركي للغازات في إثارة المواد الفعالة .

د / طاقة كيميائية :

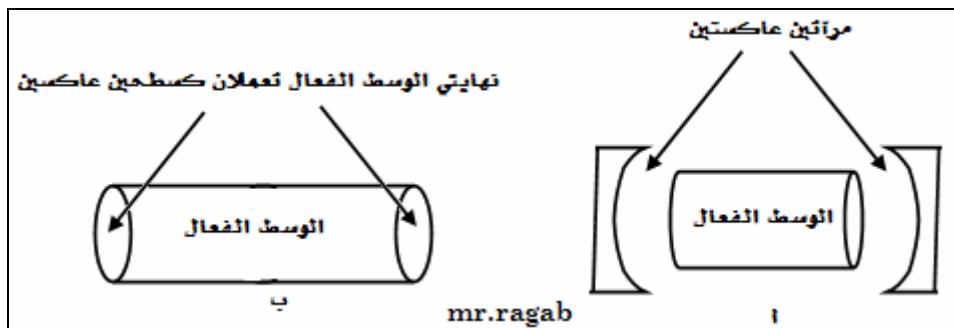
باستخدام الطاقة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية بين المواد الفعالة مثل التفاعلات التي تتم بين مزيج من الهيدروجين والفلور أو التفاعلات التي تتم بين خليط من فلوريد الديوتيريوم وثاني أوكسيد الكربون .

3 - التجويف الرئيسي :

وهو الوعاء الحاوي والمنشط لعملية التكبير . وهو إما أن يكون :

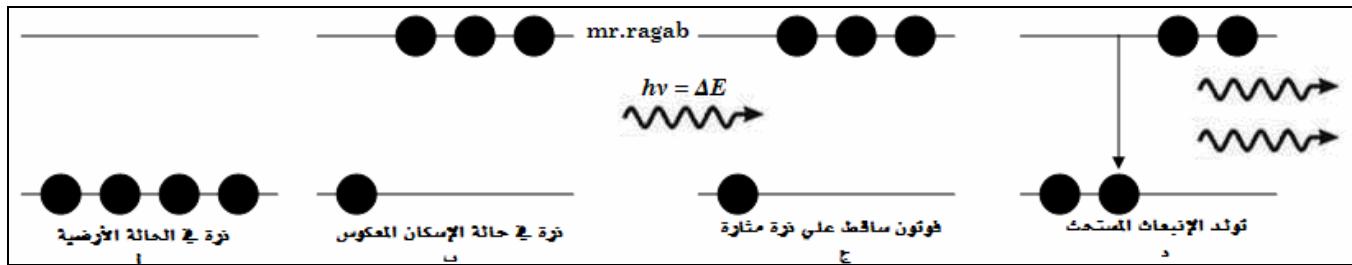
أ / تجويف رئيسي خارجي : ويكون على شكل مراتين متوازيتين يحصاران بينهما المادة الفعالة بحيث تكون الانبعاثات المتعددة بينهما الأساس في عملية التكبير الضوئي . كما في الليزر الغازية .

ب / تجويف رئيسي داخلي : حيث يتم طلاء نهاية المادة الفعالة لتعملان كمراتين يحصاران بينهما المادة الفعالة بحيث تكون إحدى هاتين المراتين " شبه منفذة " حتى تسمح لبعض أشعة الليزر المتولدة بالمرور . كما في الليزرات الصلبة بصفة عامة مثل ليزر الياقوت .



<< نظرية عمل الليزر >>

يتعمد " 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 تتهيأ الفرصة لفوتونات الإنبعاث المستحدث أن يتضخم عددها عند مرورها ذهاباً وإياباً خلال الوسط الفعال نتيجة للإنبعاثات المتتالية بين سطحي المراتين . حيث يتم حث الذرات الواقعة على مسار الشعاع لتنتج فوتونات جديدة وهكذا يتضخم الشعاع بواسطة " الإنبعاث المستحدث " .



<> ليزر الهيليوم / نيون <>

- تم اختيار هذين العنصرين نظراً لتقارب قيم مستويات الإثارة شبه مستقرة (حيث تبقى الذرة في مستويات الإثارة فترة عمر طويلة نسبياً) في كلِّ منهما .

❖ تركيب الجهاز :

1 - أنبوبة من الكوارتز تحتوي على خليط من غاز الهيليوم والنيون بنسبة 10 : 1 تحت ضغط جوي منخفض حوالي 0.6 ميليمتر زئبق .

2 - يوجد عند نهاية الأنبوبة مرآتان مستويتان ومتوازيتان ومتعادمتان على محور الأنبوبة معامل انعكاس إحداهما 99.5 % والأخر 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 عالي 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 من منتقل الطاقة من ذرات الهيليوم المثارة إلى ذرات النيون الغير مثارة (نتيجة لتقارب قيم مستويات الطاقة المثارة في كلِّ 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 المعكس " .

4 - تهبط أول مجموعة من ذرات النيون تم إثارتها هبوطاً تلقائياً إلى مستويات إثارة أقل مطلقةً فوتونات طاقتها تعادل الفرق بين طاقة المستويين وتنتشر هذه الفوتونات عشوائياً في جميع الإتجahات داخل الأنبوبة .

5 - مجموعة الفوتونات التي تتحرك في إتجاه محور الأنبوبة تصادف في طريقها لإحدى المرآتين العاكستين فترتدى 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 فتحتها على إطلاق فوتونات لها نفس طاقة وإتجاه الفوتونات المصطدم بها فيتضاعف بذلك عدد الفوتونات المتحركة داخل الأنبوبة بين المرأتين .

7 - تكرر هذه الخطوة عدة مرات وفي كل مرة يتضاعف عدد الفوتونات المتحركة بين المرأتين . وهكذا يتم تضخيم الإشعاع .

8 - عندما تبلغ شدة الفوتونات داخل الأنبوبة حدَّ معيناً ، ينفذ جزءاً منها من خلال المرأة شبه المنفذة وهو ما يسمى بـ " شعاع الليزر " . في حين تبقى باقي الفوتونات داخل الأنبوبة لتستمر عملية الإشعاع المستحدث وإنتاج الليزر .

9 - وبالنسبة لذرات النيون التي هبطت إلى مستوى 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 فتمدّها بالطاقة اللازمة لتنقل إلى مستوى الإثارة شبه المستقر مرة أخرى ... وهكذا دوريأً .

10 - بالنسبة لذرات الهيليوم التي فقدت طاقتها بالتصادم مع ذرات النيون وعادت إلى المستوى الأرضي ، فإنها تشار مرة أخرى بواسطة التفريغ الكهربائي داخل الأنبوبة ... وهكذا دوريأً .

<> تطبيقات على الليزر <>

يفطي ضوء الليزر مناطق عديدة من الطيف الكهرومغناطيسي بدأً من المنطقة تحت الحمراء فالمنطقة المرئية حتى المنطقة فوق البنفسجية .

يوجد حالياً أنواع مختلفة من الليزرات فمنها :

- (1) ما يُركِّز الضوء في منطقة صغيرة جداً بالدرجة التي تكفي لإسالة الحديد أو ما يكفي لثقب الماس .
- (2) ومنها ما يطلق طاقة كافية لتدمير الصواريخ والطائرات .

وفيمما يلي بعض التطبيقات الشائعة لأشعة الليزر :

1 - التصوير المسمى أو الـهولوجرافي :

يعتبر التصوير الهولوجرافي أو كما يسمى بالتصوير في الفراغ أو التصوير ثلاثي الأبعاد من التطبيقات المنشورة لأشعة الليزر . ففيه يتم تسجيل الطور بالإضافة إلى السعة لتكون الصورة الناتجة ثلاثة الأبعاد . في حين تكون الصورة الناتجة من التصوير المعتمد مستوى أو ذات بعدين فقط حيث يتم فيها تسجيل السعة للأشعة الضوئية فقط .

- فمن المعروف أن صورة جسم ما تتكون عن طريق تجميع الأشعة الضوئية التي تنعكس عن هذا الجسم حاملةً معها معلومات عنه إلى حيث تكون هذه الصورة (شبكة العين أو لوح فوتوجرافي حساس) . فتظهر هذه الصورة نتيجة اختلاف في الشدة الضوئية لأشعة المنعكسة من نقطة إلى أخرى .

- ولكن هل الشدة الضوئية هي كل ما تحمله هذه الأشعة من معلومات عن الجسم؟! ولبيان 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 ترك) سطح جسم ما تحمل " بالإضافة إلى الاختلاف فيما بينها في الشدة الضوئية " اختلافاً في طول المسار الضوئي وبمعنى آخر اختلافاً في الطور يساوي ($\text{فرق المسار} \times \frac{\lambda}{2\pi}$) .

وبالتالي فإن ما نحصل عليه من التصوير العادي من صور مستوى " ثنائية الأبعاد " يكون نتيجة فقد جزء من المعلومات التي تحملها موجات الضوء لأن اللوح الفوتوجرافي يقوم بتسجيل الاختلاف في الشدة الضوئية فقط .

- وفي عام 1948 اقترح الفيزيائي المجري " جابور " إمكانية الحصول على المعلومات المفقودة من الأشعة الضوئية المنعكسة عن الجسم بإستخدام " حزمة أخرى من الأشعة المتوازية لها نفس الطول الموجي " تسمى بـ " الأشعة المرجعية " . تلتقي هذه الأشعة بالأشعة المنعكسة عن الجسم ، والحاملة لمعلوماته ، على اللوح الفوتوجرافي فيحدث التداخل الضوئي بين حزمتي الأشعة .

وبعد تحميض اللوح الفوتوجرافي تظهر هدب التداخل الناتجة وهي تمثل صورة مشفرة لما يسمى بـ " الهولوجرام " وبإضافة الهولوجرام بأشعة ليزر لها نفس الطول الموجي والنظر خلاله دون أي عدسات ترى صورة ثلاثة الأبعاد للجسم .

ولا يمكن تحقيق ذلك إلا بإستخدام شعاع ضوئي فوتوناته متراقبة وهذا متوفّر 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 . وما لم 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 قدّيماً تستغرق وقتاً وجهداً كبيرين . إلا أن أشعة الليزر التي تستخدم الآن لهذا الغرض وفرت كلاماً من الجهد والوقت . فعملية الالتحام تم في أجزاء صغيرة من الثانية حيث تصوب حزمة رفيعة جداً من الليزر خلال إنسان العين إلى الجزء المصابة بالإنفصال أو التمزق فتعمل الطاقة الحرارية لأشعة الليزر على حدوث عملية الالتحام . وبذلك تتم حماية العين من إستمرار إنفصال 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 الألياف الضوئية في التشخيص والعلاج بواسطة " المناظير " .

3 - في الإتصالات :

حيث تستخدم أشعة الليزر والألياف الضوئية كبديل للكابلات الأرضية العادية .

4 - في الصناعة وخاصة الصناعات الدقيقة .

5 - في المجالات العسكرية

فتشتمل 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 بدمير 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 أن يتم تركيز الأشعة على أجزاء من الغلاف الخارجي له فتحترق ويتشوه شكلها فيفقد الصاروخ بذلك إنسابه الديناميكي في الهواء ويختل توازنه ويخرج عن مساره المرسوم . كما أنه من الممكن أن تُركز أشعة الليزر على الأجهزة الإلكترونية الحساسة الموجهة للصاروخ فتسخن درجة حرارتها وتفقد فاعليتها ويتعطى 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 فتعطيها 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 .

... ثم بحمد الله وتوفيقه تعالى ...



الفصل الخامس عشر

"الكمترنوبات الجينية"

إعداد الأستاذ /
رجب مصطفى

الوحدة الخامسة / الفصل الخامس عشر : "الإلكترونيات الحديثة"

الإلكترونيات الحديثة

❖ مقدمة :

- أصبحت الإلكترونيات والإتصالات 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 والإتصالات 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 . فمن المعروف أن هناك حالتان للإلكترون هما الإلكترون الحر والإلكترون المقيد . الإلكترون الحر كالموجود في أنبوبية التليفزيون يخضع لقوانين الفيزياء الكلاسيكية . أما الإلكترون المقيد فهو يخضع لقوانين الفيزياء الكميمية .
- 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 التناحر فيما بينها . وعليه ... فإن الذرة أو الجزيء في هذا الوضع تكون متزنة . وعندما تمتثل الذرات كمية من الطاقة الحرارية فإنها تبدأ بالتدبر حول مواضع إتزانها ولكن يحصل بينها فراغ (عبارة عن المسافات البينية بين كل ذرة والأخر) . 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 يعتبر مراجعة سريعة للفصول الثلاث السابقة "

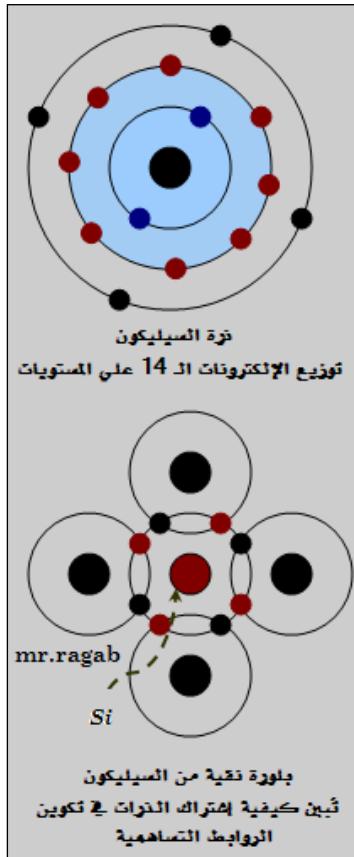
- ❖ كما بينا سابقاً ... فإن الإلكترون داخل الذرة يعتبر إلكتروناً مقيداً فهو لا يستطيع أن يغادرها من تلقاء نفسه بل يحتاج إلى طاقة خارجية لتحريره .. وهذه الطاقة تسمى بـ طاقة التأين (وهي كمية الطاقة اللازمة لخروج الإلكترون نهائياً من الذرة) أي أن سبب بقاء الإلكترون داخل الذرة هو أن طاقته داخل الذرة أقل من طاقته وهو حر ... ويسمى الفرق بين طاقة التأين 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 النزرة تحكمه قوانين الكم ... فإن احتمالية سقوط الإلكترون على النواة تساوي صفرًا وكذلك وجوده عند الملايينية ... مما يفسر بقاء الإلكترون مقيداً داخل النزرة وبالتالي سر استقرار النزرة .
- ولما كان الإلكترون يشغل مستوى معيناً من الطاقة ... فإنه لا يفقد الطاقة أو يمتلكها طالما بقي في هذا المستوى . أما عندما يتمتص الإلكترون كمية معينة من الطاقة فإنه ينتقل إلى مستوى أعلى (وتسمى عملية " الاستثارة ") . وإذا عاد إلى المستوى الأول فإنه يفقد الطاقة التي اكتسبها في صورة فوتون (وتسمى عملية " الاسترخاء ") .
- وبالنظر إلى توزيع الإلكترونات على مستويات الطاقة نجد أنه كلما زادت قيمة مستوى الطاقة فإن احتمالية وجود الإلكترون فيه تقل .

أشباه 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 . أمثل : الجermanium والسيليكون .
- ❖ وأشباه الموصلات منها ما هو شبه موصل نقي ومنها ما هو شبه موصل غير نقي .

أشباه الموصلات الندية " بلورات السيليكون "



- يعتبر السيليكون من العناصر المهمة في الكون فهو يدخل في تركيب الرمل وصخور القشرة الأرضية .
- ❖ تتركيب ذرة السيليكون من نواة موجبة يدور حولها 14 إلكتروناً في ثلاث مدارات في الترتيب التالي " الأول 2 إلكترون والثاني 8 إلكترونات والمدار الثالث والأخير فيحتوي على 4 إلكترونات " (الشكل المقابل) .
- أما في بلوره (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 ب 8 إلكترونات أي تكتمل القشرة أو المستوى الخارجي لكل منها .
- ❖ هنا ... ولابد أن نميز بين نوعين من الإلكترونات في ذرة السيليكون :
 - النوع الأول : هو الإلكترونات المستويات الداخلية . وهذه ترتبط بالنواة بشدة تحت تأثير جذب النواة لها .
 - أما النوع الثاني : فهو الإلكترونات المستوى الخارجي أو الإلكترونات 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 الإرتباط بذرات السيليكون ويصعب تحريرها ، فلا توجد الإلكترونات حرية 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 فتنطلق بعض الإلكترونات وتصبح "الإلكترونات حرة". ويترك مثل هذا الإلكترون ورائه مكاناً فارغاً في الرابطة المكسورة يعبر عنه بـ "الفجوة" التي كان الإلكترون يشغلها.

- ولأن الذرة متعادلة كهربائياً فإن غياب الإلكترون عن الذرة يعني ظهور شحنة موجبة ... وبالتالي فإن الفجوة تمثل شحنة موجبة.

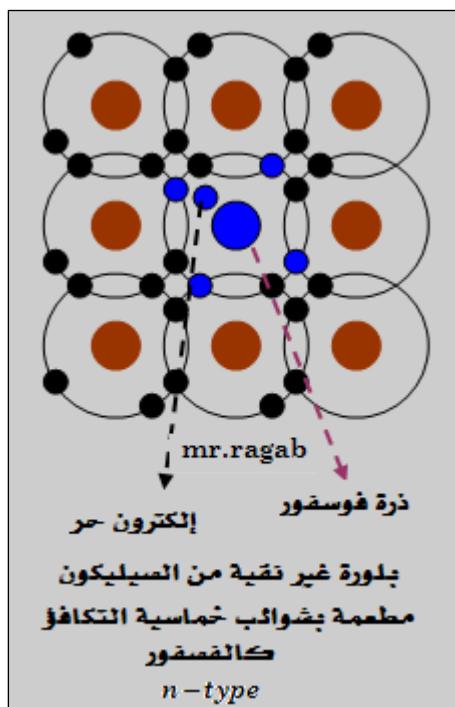
- ويلاحظ أن الذرة التي كسرت أحد روابطها لا تسمى "أيونًا" لأن الفجوة سرعان ما تقتصر على إلكتروناً آخر إما من رابطة مجاورة أو من الإلكترونات الحرة المنتشرة داخل البلورة فتعود الذرة كما كانت وتنتقل الفجوة إلى رابطة أخرى .. وهكذا . وكلما زادت درجة الحرارة أكثر كلما زاد عدد الإلكترونات الحرة وعليه يزداد عدد 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 عندما 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 حرقة عشوائية فإن الفجوات تتحرك أيضاً حرقة عشوائية وبالتالي نستنتج أن شبكات الموصلات حساسة جداً للحرارة وبمعنى آخر : أن التوصيل الكهربائي لشبكات الموصلات يزداد بزيادة درجة الحرارة .

إضافة الشوائب أو التطعيم

- من مميزات شبكات 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 الأنتيمون Sb (خماسية التكافؤ أي تحتوي على 5 إلكترونات في مستوى الطاقة الأخير) إلى بلورة ندية من السيليكون ، فإنها تحل محل بعض ذرات السيليكون . وبالتالي تشارك كل ذرة من ذرات الفوسفور (مثلاً) الخمسية بـ 4 إلكترونات " من أصل خمس إلكترونات " مع 4 إلكترونات من 4 ذرات سيليكون مجاورة لتكوين 4 روابط تساهمية (الشكل المقابل).

- عليه يصبح الإلكترون الخامس في ذرة الفوسفور ضعيف الإرتباط بها وبالتالي فإن أقل كمية من الطاقة تمكن أن تحرره من الذرة نهائياً (وتحول إلى أيون موجب) ويصبح الإلكترون حر يسهل انتقاله داخل البلورة من مكان لأخر .

- 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 الندية تزداد التوصيلية الكهربائية للبلورة نتيجة زيادة الإلكترونات الحرة بها .

- تسمى الذرة الشائبة وفي حالتنا هذه " ذرة الفسفور " بـ " الذرة المقطفية " لأنها مصدر الإلكترونات الحرة كما أنها اكتسبت بخروج الإلكترون شحنة موجبة (صارت آيون موجب) .

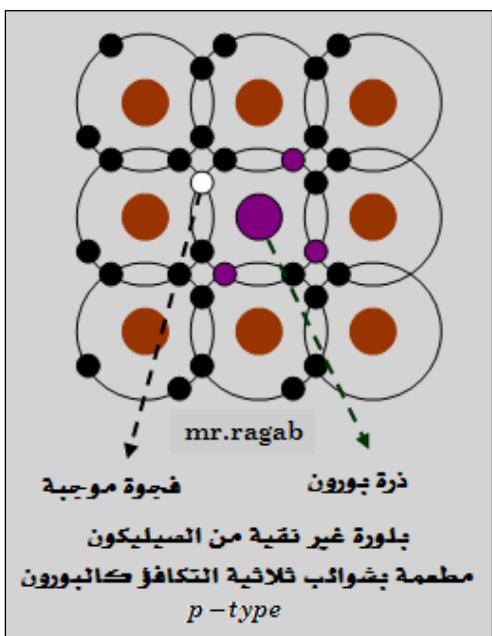
- وبالتالي فإن بلورة السيليكون المضاف إليها شوائب خماسية التكافؤ مثل ذرات الفسفور تسمى بـ "بلورة من النوع السالب" ويرمز لها بالرمز $n-type$ لأن تركيز الإلكترونات الحرة فيها يكون أكبر من تركيز الفجوات أو الشحنات الموجبة . بالإضافة إلى أن التوصيل الكهربائي يتم عن طريق حركة هذه الإلكترونات الزائدة والتي تسمى بـ "حاملات الشحنة السائدة" .
- وعند الإتزان الحراري تكون البلورة متعدلة كهربائياً 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) .



- ولكن تحافظ البلورة على تماسكها ... تقتصر ذرة الألومنيوم أحد الإلكترونات من إحدى الروابط المجاورة ليملأ هذه الفجوة ويترك في مكانه الأصلي "فجوة موجبة" وبالتالي تصبح ذرة الألومنيوم "آيوناً سالباً" لأنها إكتسبت إلكتروناً .

- وبالمثل تعمل كل فجوة موجبة على إقتناص إلكتروناً سالباً ... وعليه تتحرك الفجوات الموجبة داخل البلورة في عكس اتجاه الإلكترونات .

- تسمى الذرة الشائبة وفي حالتنا هذه "ذرة الألومنيوم" بـ "الذرة المستقبلة" لأنها مصدر الفجوات الموجبة كما أنها إكتسبت بإلتئاصن الإلكتروني شحنة سالبة (صارت آيون 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 متعدلة كهربائياً حيث يكون مجموع الشحنة الموجبة = مجموع الشحنة السالبة أي أن :

$$p = n + N_{Acceptor}$$

حيث $N_{Acceptor}$ هو تركيز الشوائب أو الذرات المستقبلة 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 التقرير نجد أنه في البلورة $n-type$ يكون :

$$\begin{aligned} n \gg p &\Rightarrow n \approx N_D \\ \Rightarrow p = n_i^2 / n &= n_i^2 / N_D \Leftrightarrow p = n_i^2 / N_D \end{aligned}$$

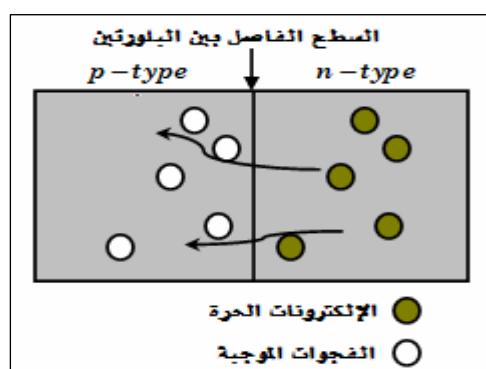
- أما بالنسبة للبلورة p -type يكون :

$$\begin{aligned} p \gg n &\Rightarrow p \approx N_A \\ \Rightarrow n = p / n_i^2 &= n_i^2 / N_A \Leftrightarrow n = n_i^2 / N_A \end{aligned}$$

المكونات أو النبائط الإلكترونية

- المكونات أو النبائط هي الوحدات التي تبني عليها كل الأنظمة الإلكترونية.
- ففي الأنظمة الإلكترونية يوجد الكثير من العناصر أو المكونات التي يتم تقسيمها إلى نوعين أساسين هما :
- ❖ **مكونات بسيطة** (وتعرف بالكمونات غير الفعالة) : مثل المقاومات والمكثفات والم ملفات الحثية .
- ❖ **مكونات معقدة** (وتعرف بالكمونات الفعالة) : مثل الثنائيات والترانزستور والدوائر المتكاملة ... وهذه تمثل العناصر الأساسية في أي دائرة إلكترونية .
- وبالإضافة إلى هذين النوعين يوجد كذلك نبائط متخصصة مثل النبائط الكهروضوئية ونبائط التحكم في التيار .
- ❖ وتميز أشباه الموصلات التي تصنف 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 .
- فمن طريقها يمكن قياس شدة الضوء أو درجة الحرارة أو الضغط أو الرطوبة أو حتى الإشعاع الذري أو التلوث الكيمياوي .

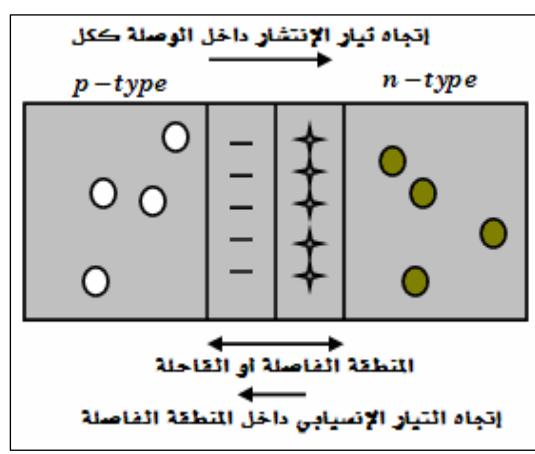
الثنائي أو الوصلة الثنائية أو الديايد Diode



- تكون الوصلة الثنائية أو الوصلة الموجبة / السالبة *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 الإلكترونات



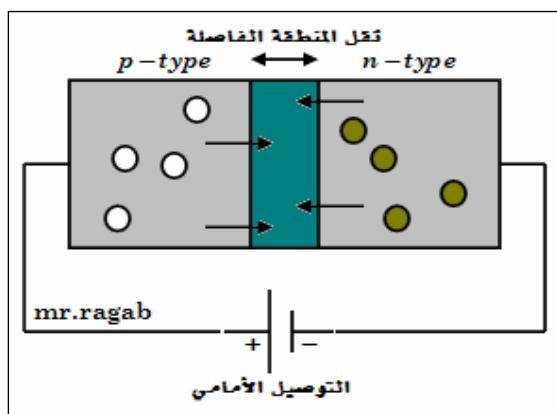
- ونتيجة لفقد البلورة السالبة بعض الإلكتروناتها فإنها تكتسب جهداً موجباً ، بينما تكتسب البلورة الموجبة جهداً سالباً لانتقال الإلكترونات إليها .

- و كنتيجةً 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 الانسبيسي " يكون اتجاهه في نفس اتجاه المجال وعكس إتجاه " تيار الإنتشار " المار في الوصلة ككل (حسب التعريف الإصطلاحي لإتجاه التيار أي من الطرف الموجب إلى الطرف السالب) (الشكل السابق) .

- و عند عدم وجود أي جهد خارجي ... نجد أنه تحدث حالة من الإستقرار توقف عملية إنتقال الشحنات بين البلورتين مما يضمن أن تبقى كلاً منها 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 والفحجوات " للداخل نتيجةً للتناقض الحادث بين :

"" الإلكترونات الحرة الموجودة في البلورة السالبة والقطب السالب للبطارية فتتحرك مقتربة من المنطقة الفاصلة .

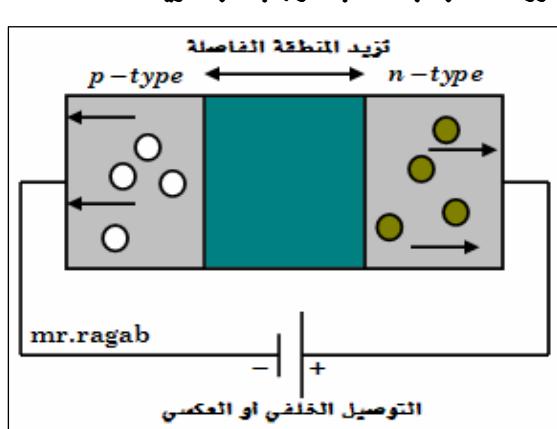
"" الفحجوات الموجبة الموجودة في البلورة الموجبة والقطب الموجب للبطارية فتتحرك مقتربة من المنطقة الفاصلة أيضاً .

" وبمعنى آخر : يكون المجال الكهربائي للبطارية عكس اتجاه المجال الداخلي في المنطقة الفاصلة فيضعه "

- وعليه ... تقل حتى تنعدم تقريباً المنطقة الفاصلة وبالتالي يمر تيار كبير نسبياً (حيث تكون مقاومة الوصلة الثانية صفيرة جداً) (الشكل المقابل) .

ويسمي التوصيل في هذه الحالة بـ " التوصيل أو الإنحياز الأمامي " ويسمي 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 والفحجوات " للخارج نتيجةً للتجاذب الحادث بين :

"" الإلكترونات الحرة الموجودة في البلورة السالبة والقطب الموجب للبطارية فتتحرك مبتعدة عن المنطقة الفاصلة .

"" الفحجوات الموجبة الموجودة في البلورة الموجبة والقطب السالب للبطارية فتتحرك مبتعدة عن المنطقة الفاصلة أيضاً .

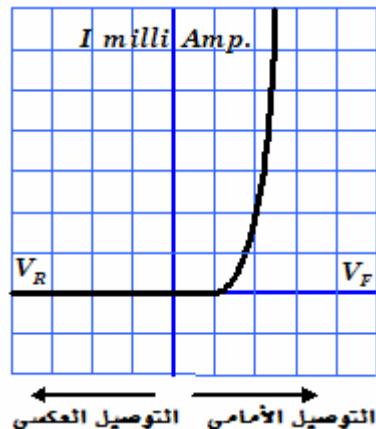
" وبمعنى آخر : يكون المجال الكهربائي للبطارية في نفس اتجاه المجال الداخلي في المنطقة الفاصلة فيقويه " .

- وعليه ... تزداد المنطقة الفاصلة وبالتالي يمر تيار صغير جداً (حيث تكون مقاومة الوصلة الثانية كبيرة جداً) .

ويسمي التوصيل في هذه الحالة بـ " التوصيل الخلفي أو العكسي " ويسمي التيار الضعيف المصاحب له بـ " التيار العكسي " .

❖ أي أن الوصلة الثانية تسمح بمرور التيار الكهربائي في الإتجاه الأمامي وتنعنه تقريباً في الإتجاه العكسي . ويمكن تشبيها بمفتاح يكون مغلقاً في الإتجاه الأمامي ومفتوحاً في الإتجاه العكسي (الشكل التالي) .

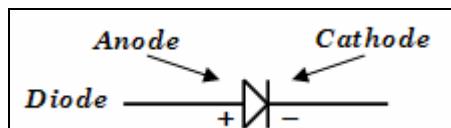
- ومما سبق نجد أنه يمكن التأكد من سلامة الوصلة الثانية بإستخدام "أومميتر" . إذ يجب أن يُعطى مقاومة صغيرة جداً في حالة التوصيل الأمامي ومقاومة كبيرة جداً في حالة التوصيل العكسي .



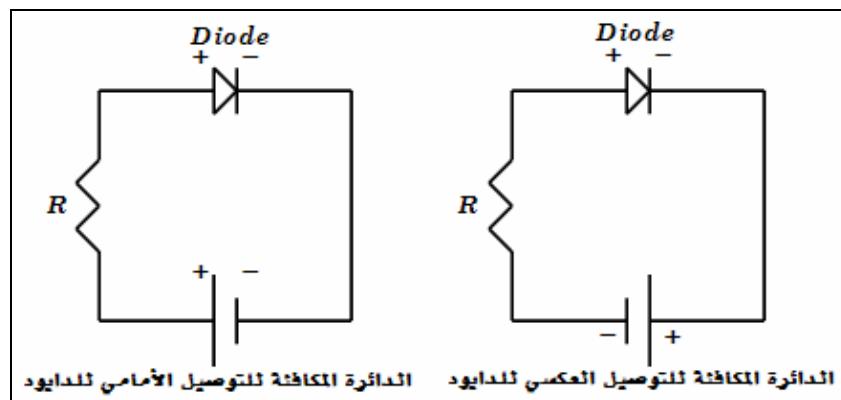
- وهذا السلوك يختلف تماماً عن المقاومة العاديّة ، إذ أنها توصل التيار بنفس القيمة إذا ما انعكس فرق الجهد .
- ❖ وللخصائص السابقة ... يقوم الثنائي أو الوصلة الثانية بدور مهم جداً في عملية تقويم "التيار المتردد" حيث تسمح بمرور التيار الكهربائي في النصف الأول من الدورة وتنمّنه في النصف الثاني منها أي أنه يعمل على تحويل التيار المتردد AC إلى تيار مستمر DC .

ويستفاد من هذه العملية في شحن بطاريات السيارات وأيضاً شحن التليفونات المحمولة .
 ❖ ملاحظات :

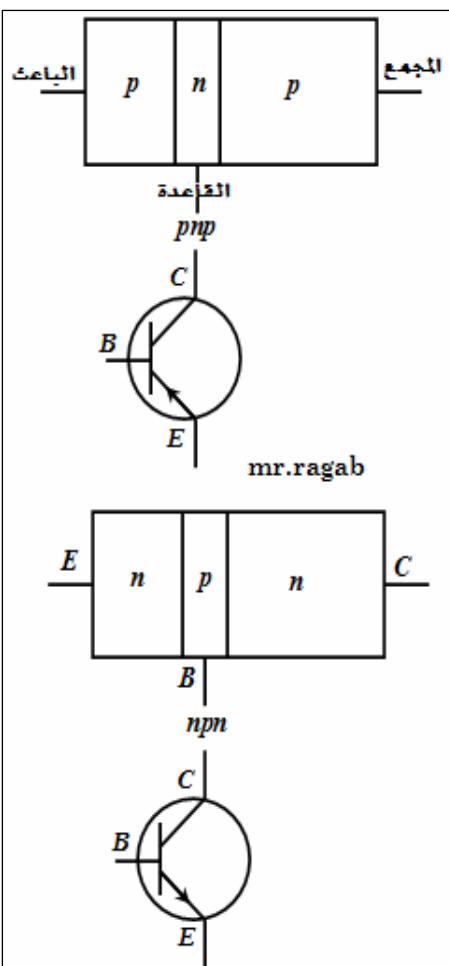
- يُرمز للتيار الأمامي بالرمز $I_{Forward}$. وللتيار الخلفي أو العكسي بالرمز $I_{Backward}$.
- ❖ وفرق الجهد الأمامي بالرمز $V_{Forward}$ والجهد العكسي بالرمز $V_{Backward}$ أو $V_{Reverse}$.
- والشكل التالي يوضح الرمز المكافئ للوصلة الثنائيّة أو كما تُسمى بـ "الدايود" .
- حيث يمثل الشكل الثالث البلورة الموجبة أو الأنود . ويمثل الخط العمودي البلورة السالبة أو الكاثود .



- والشكل التالي يوضح استخدام الرمز المكافئ للدايود في نوعي التوصيل :

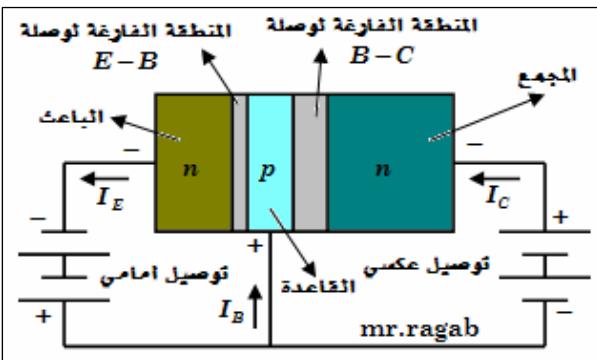


الترانزستور



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 صفرية) ، ووصلة القاعدة / المجمع موصلة توصيل عكسي (وبالتالي تكون مقاومتها كبيرة).

- وعليه تتدفق 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 " الالتام أو الاتحاد " .

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 ثُرَفَ بأنها النسبة بين تيار المجمع I_C وتيار الباعث I_E وقد تقارب أو تساوي تيار المجمع مع تيار الباعث .

في حين تُعطى النسبة بين تيار المجمع I_C وتيار القاعدة I_B أو β_e من العلاقة :

$$\beta_e = \frac{I_C}{I_B} \Leftrightarrow I_C = \beta_e I_B$$

من الشكل السابق ومن قانون كيرشوف ... نجد أن :

$$I_E = I_B + I_C \Rightarrow I_B = I_E - I_C$$

$$but \quad \beta_e = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow \beta_e = \frac{I_C}{I_E - I_C}$$

بالقسمة على I_E نحصل على :

$$\beta_e = \frac{I_C / I_E}{1 - I_C / I_E} = \frac{a_e}{1 - a_e} \Leftrightarrow \beta_e = \frac{a_e}{1 - a_e} \Rightarrow a_e = (1 - a_e) \beta_e$$

لكن :

$$I_C = \beta_e I_B \quad & \quad I_C = a_e I_E \Rightarrow \beta_e I_B = a_e I_E = (1 - a_e) \beta_e I_E$$

$$\Rightarrow I_B = (1 - a_e) I_E$$

ولأن سمة القاعدة " كما سبق وأن بینا " صغير جداً . يصبح تيار الباعث مساوياً تقريباً لتيار المجمع ... أي أن النسبة a_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 بمقدار β_e والتي تسمى بـ " تكبير التيار " . أي أنه إذا وضعت إشارة كهربائية صغيرة في تيار القاعدة فإن تأثيرها يظهر مكملاً في تيار المجمع . وهذه الفكرة الأساسية في عمل الترانزستور كمكثف وهو ما يسمى بـ " فعل الترانزستور " .

الترانزستور كمفتاح

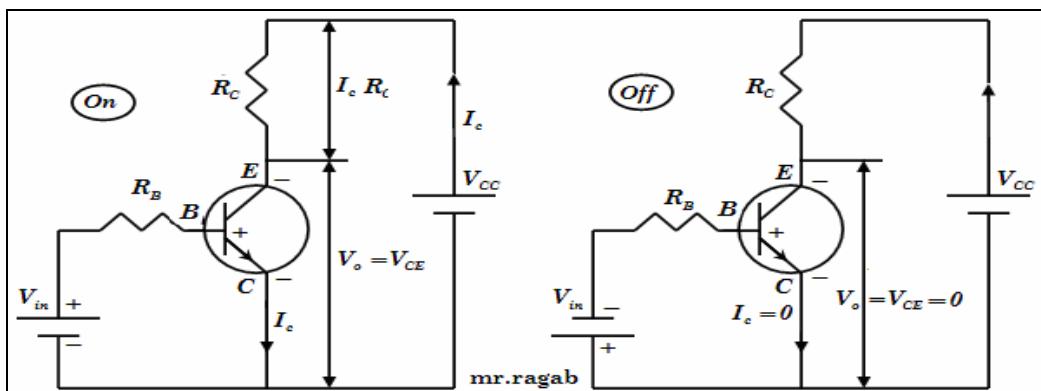
- في الشكل التالي ... نجد أنه في دائرة المجمع (الجزء الأيمن من أي شكل) يكون :

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C$$

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 $I_C = \beta_e I_B$.

- فاعتبار الشكل التالي ... وفيه القاعدة هي الدخل والمجمع هو الخرج والباعث مشترك بينهما ...



فإن سلوك الترانزستور يكون على النحو التالي :

1 - عندما يكون الدخل كبيراً فإن الخرج يكون صغير .

2 - عندما يكون الدخل صغيراً يكون الخرج كبير .

لذا يسمى الترانزستور في هذه الحالة بـ " العاكس " .

- فإذا أعطينا القاعدة جهداً موجباً (ويعني 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 (ويعني آخر : توصيل القاعدة توصيلاً عكسيأً " 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 بإستخدام أوميتير بنفس الكيفية مع الدياود (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 الاستقبال .. حيث تتحول الإشارة الكهرومغناطيسية إلى إشارة كهربية ثم إلى صوت وصورة .

و " الأجهزة الإلكترونية التي تتعامل مع الكميات الطبيعية (التي ترسل متصلة وتأخذ أي قيمة حسب حالتها كما أنها تتغير باستمرار مع الزمن) كما هي " فتسمى بـ " الأجهزة الإلكترونية التنازليه أو القياسية " .

- أما حديثاً فقد ظهر نوع جديد من الأجهزة تُعرف بـ " الأجهزة الإلكترونية الرقمية " كالآلات الحاسبة وأجهزة الكمبيوتر والتي تعتمد في عملها على " النظام الثنائي " والذي فيه تُحول الإشارة الكهربية إلى شفرة أساسها قيمتان فقط هما 1 و 0 (أي تتميز بنسبات منفصلة تُعبر عن حالتين فقط هما 1 و 0 أو " مضيء وغير مضيء " أو " حقيقي ووازن " أو " صحيح وخطأ " أو " عالي ومنخفض " أو " مغلق ومفتوح " وهكذا ...) . فمثلاً : يُعبر عن قيمة العدد 3 في النظام الثنائي بالرمز 11_2 (11) حيث يرمز الرقم 2 إلى النظام الثنائي . وهذه لا تقرأ أحد عشر ولكنها :

$$3 = 1 \times 2^0 + 1 \times 2^1$$

حيث $2^0, 2^1, 2^2$ هي مراتب الخانات في النظام الثنائي . فمثلاً 2^0 خانة الآحاد و 2^1 خانة العشرات و 2^2 خانة المئات ... وهكذا . أي أن مراتب الخانات في النظام الثنائي تمثل قوى العدد 2 .

- تماماً ... كما تمثل $10^0, 10^1, 10^2$ 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 الكهربية المتصلة إلى إشارات رقمية من مصدر الإرسال عن طريق جهاز محول تنازلي / رقمي أما عند المستقبل فيحدث العكس حيث تتحول الإشارات الرقمية إلى تنازليه بواسطة محول رقمي / تنازلي .

❖ ولكن ما الحكم من هذا التحويل !!

فالحكمة من ذلك هو أنه توجد في الطبيعة إشارات كهربية غير منتظمة وغير مفيدة تسمى بـ "الضوضاء الكهربية" مصدرها الحركة العشوائية للإلكترونات. تسبب هذه الحركة تياراً عشوائياً يحدث تداخلاً في الإشارات التي تحمل المعلومات وتشوشها. ويلاحظ ذلك في حالة محطة إذاعية أو تليفزيونية ضعيفة حيث تظهر كشوشة في الصوت أو انقطاع بياط وسوداء على الشاشة. هذه الضوضاء تضاف دائماً إلى الإشارات التي تحمل المعلومات ويصعب التخلص منها.

- ولكن في حالة الإلكترونيات الرقمية ... فإن المعلومة ليست في قيمة الإشارة" التي قد تضاف 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 اختراع الكمبيوتر المبني على الإلكترونيات الرقمية . فكل ما يدخل إلى الكمبيوتر من بيانات يتحول إلى شفرات ثنائية كذلك تجزأ الصور إلى عناصر صغيرة تسمى بـ "البكسيلز" وتحول أيضاً إلى شفرة ثنائية .
- وفي كلِّ يقوم الكمبيوتر بجميع العمليات الحسابية باستخدام ما يُعرف بـ "الجبر الثنائي أو جبر بول". كما يقوم بتخزين المعلومات في الذاكرة المؤقتة أو حتى الذاكرة المستديمة مثل القرص الصلب على شكل مغnetة في إتجاه معين "يمكن أن يعبر عنها بالرقم 0 " أو في شكل مغnetة في الإتجاه المضاد " ويُعبر عنها بالرقم 1 " .

البوابات المنطقية

- يعتمد الكثير من التطبيقات الحديثة للإلكترونيات على عناصر رقمية من دوائر إلكترونية يُطلق عليها "البوابات المنطقية" وهي تتحكم في إنساب المعلومات عبر النظام حيث أنها تفتح أو تغلق تبعاً للعمليات التي تحدث عند المدخل .
- ومن اسمها ... تستطيع هذه الدوائر أن تقوم بعمليات منطقية مثل النفي *NOT* والتواافق *AND* والإختيار *OR* والتي تعتمد بدورها على الجبر الثنائي أو الجبر البوولي .

- وعلى العموم ... يمكن تمثيل تلك العمليات عن طريق دائرة مكونة من مصباح كهربائي ومفتاح ومصدر جهد ... فيكون للمصباح حالتين فقط هما إما أن يكون مطفأ وسنزمه له بـ 0 أو أن يكون مضاء ورمزه 1 . كذلك يكون للمفتاح حالتين فقط أيضاً ... هما إما أن يكون مفتوح ويرمز له بـ 0 أو أن يكون مغلق ورمزه 1 .

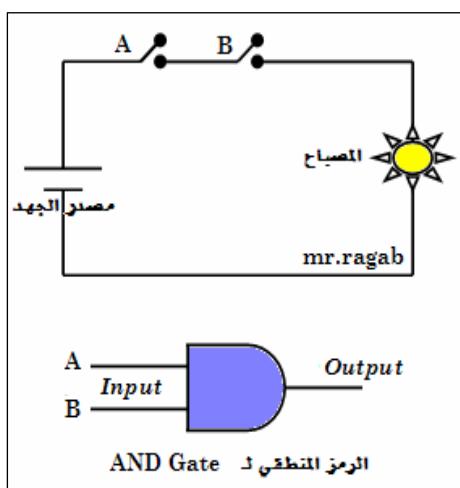
- ومن أهم هذه البوابات :

1 ♦ بوابة التواافق :

- بوابة *AND* لها مدخلان أو أكثر ولها مخرج واحد فقط . ويمكن تمثيلها بمفتاحين أو أكثر موصولة على التوالي في دائرة كهربية كما بالشكل المقابل :

- ويمكن تمثيل الحالات المختلفة للدائرة بالجدول التالي :

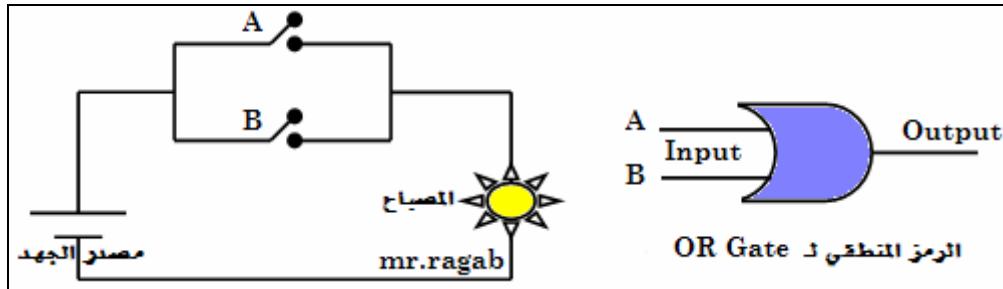
| <i>Input</i> | | <i>Output</i> | حالة المفاتيح | | حالة المصباح |
|--------------|----------|---------------|---------------|----------|--------------|
| <i>A</i> | <i>B</i> | | <i>A</i> | <i>B</i> | |
| 0 | 0 | 0 | مفتوح | مضاء | غير مضاء |
| 0 | 1 | 0 | مفتوح | مضاء | غير مضاء |
| 1 | 0 | 0 | مغلق | مضاء | غير مضاء |
| 1 | 1 | 1 | مغلق | مضاء | مضاء |



ومنه نجد أن المصباح لا يضئ إلا إذا كان كلاً من المصباحين مغلقين " 1 1 " . أي لا يوجد هناك خرج للدائرة إلا إذا اتفق الدخلان على نفس القيمة وهي 1 .

2 ♦ بوابة الإختيار : OR Gate

وهذه البوابة لها مدخلان أو أكثر ونها مخرج واحد فقط أيضاً، ويمكن تمثيلها بمفتاحين أو أكثر موصولة على التوازي في دائرة كهربائية كما بالشكل المقابل :



- ويمكن تمثيل الحالات المختلفة للدائرة بالجدول التالي :

| <i>Input</i> | | <i>Output</i> | 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 |

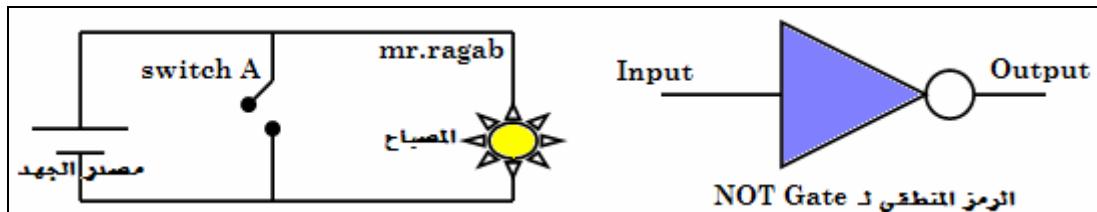
ومنه نجد أن المصباح يضاء عندما يكون أيٍ من المصباحين أو كلاهما مفتقراً " 1 " ، أي يلزم توافر أحد الدخلين على الأقل لنجعل على الخرج 1 .

3 ♦ بوابة النفي أو العكس : NOT Gate

- كما يبدو من اسمها ... فإن هذه البوابة تغير الدخل إلى عكسه ... فإذا كان الدخل " 1 " فإن الخرج يكون " 0 " والعكس صحيح .

| <i>Input</i> | <i>Output</i> | 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 وسرعة كبيرة جداً .

ويمكن تنفيذ هذه البوابات بإستخدام الترانزستور وفي هذه الحالة يعمل الترانزستور كمفتاح وليس كمكثف .

- 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 اختيار $OR\ Gate$ إذا كان لدينا زوج من الترانزستور موصلين على التوازي بحيث يكفي أن يصل 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 ... وأن يتم تخزين البيانات والمعلومات بصورة مستديمة على القرص الصلب فلا يتم محوها إلا بتعليمات المستخدم .

- وبينفس الكيفية يتم تخزين البيانات على الأقراص المدمجة CD ... فيتم تسجيلها بالرموز (0) و (1) بواسطة شعاع من الليزر يقوم بمحفر حضرة على قرص من البلاستيك (فيدل الرقم 1 على وجود حضرة والرقم 0 على عدم وجودها) وتسمى هذه العملية بـ " الكتابة " .

ولإسترجاع هذه المعلومات (عملية " القراءة ") تقوم قارئ الليزر بقراءة ما تم تسجيله سابقاً بواسطة شعاع آخر من الليزر بالإستدلال على المناطق (0) و (1) الموجودة بالقرص . ولا تختلف فكرة الـ DVD عن CD إلا بزيادة القدرة التخزينية .

- هذا ... وقد ظهرت كاميرات تصوير بالنظام الرقمي . وفيها تتحول الصور إلى إشارات رقمية يتم تداولها وإرسالها قطعة قطعة فيتم تسجيلها على شريط صغير ممفوظ ثم يتم تحميلها على الكمبيوتر .

وهذا النوع من الكاميرات تستعمل كوسيلة حديثة لتخزين ونقل الشحنات الكهربائية تسمى بالـ CCD والتي يكون وزنها خفيفاً بالإضافة إلى أنها أساس كاميرات الفيديو المحمولة وألات الفاكس وألات التصوير في التليفونات المحمولة الحديثة والتي يمكنها نقل الصور عبر الإنترنت بإستخدام خاصية البلوتوث .

الدوائر المتكاملة

- بينما سبقاً في بداية دراسة الدايدود ... أنه في الأنظمة الإلكترونية يوجد الكثير من العناصر أو المكونات التي يتم تقسيمها إلى نوعين أساسين هما :

❖ مكونات بسيطة (وتعرف بالكمونات غير الفعالة) : مثل المقاومات والمكثفات والملفات الحثية .

❖ مكونات معقدة (وتعرف بالكمونات الفعالة) : مثل الثنائيات والترانزستور والدوائر المتكاملة ... وهذه تمثل العناصر الأساسية في أي دائرة إلكترونية وهذه لها القدرة على التكبير عند دمجها في دوائر مناسبة .

وتحتوى " 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 أشدتها وكانت الحاجة ماسة لصنع دوائر إلكترونية صغيرة الحجم خفيفة الوزن اتجهت الأنظار لصناعة ما يُعرف بـ " الدوائر المتكاملة " أو " الشرائح الدقيقة " .

وتعتمد الفكرة الأساسية لهذه الدوائر " على تجميع كل المكونات المطلوبة فوق شريحة من السيليكون تحدد عليها أماكن تلك المكونات دون توصيلها منفصلة وذلك حسب وظيفة كل دائرة " .

- فمثلاً : إذا أردنا صنع دايدود $n-p$ من شريحة $p-n$ - $n-type$ فيكون المطلوب هو إنتشار ذرات ثلاثة كالبوروں 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) .

- وبينفس الكيفية يمكن تصنيع ترانزستور من النوع *npn* مثلاً ... عن طريق فتح ثغرة في المنطقة الموجبة والسمانح بانتشار درات البلورة السالبة خلالها وهكذا إلى أن يتم صنع الترانزستور المُراد .
- والمدهش في الأمر ... أن كل ذلك يتم على رقيقة من السيليكون بحيث تكرر 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 .
- ويدلاً 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 كثيرة .
وأيضاً ... دخلت الدوائر المتكاملة في مجال الطب ... فهي توجد في جميع أجهزة القياس والتخيص 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 أخترع 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 وإلي 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 وزنه وأيضاً تقليل تكلفته .
- كل هذه المتطلبات تتحقق بإستمرار وبمعدل نجاح عالي جداً " رغم أنها تبدو متعارضة " بفضل الإستغلال الأمثل لمفاهيم علوم الفيزياء والكيمياء والمواد والليزر والتقدم المستمر في تكنولوجيا التصنيع ذاتها .
- فماذا بعد ... إحتوا شريحة تبلغ مساحتها مساحة رأس الدبوس على مائة ترانزستور أو مايُعرف بـ " التكامل الصغير " ثم " التكامل المتوسط " (ألف ترانزستور لكل شريحة) . ومن بعده " التكامل الكبير " (10آلاف ترانزستور لكل شريحة) وبعده " التكامل متناهي الكبير " (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) ... 1119...1
- فإذا استمر التصغير على هذه النحو فإننا نقترب حتماً ويسراً إلى مستوى الذرة نفسها ... وعندما سيُخزن الرقمين 0 و 1 إما على شكل إلكترون في المستوى الأرضي والآخر في مستوى مُثار أو على شكل إلكترون ذو لف في إتجاه معين والأخر ذو لف في الإتجاه المعاكس ، فيما يُعرف بـ " علم الكمبيوتر الكمي " والذي يتمشى مع كل التطورات التي تحدث للعلم في الإتجاه الذي يبحث عن أدق تفاصيل الزمان والمكان الأمر الذي أدى إلى ظهور التقنيات الحديثة مثل " النانو والفمتو تكنولوجي " .

" ثم يَمْدُدُ اللَّهُ وَنُوفِيقُهُ ثُمَّ عَالَىٰ "

❖ وَأَخْرَجَنَا أَوْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ ❖

... نَسْأَلُكُمُ الدَّعَاءَ بِظَاهَرِ الْغَيْبِ ...

